

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

M. IMBERTY

Esthétique expérimentale : la méthode de comparaison par paires appliquée à l'étude de l'organisation perceptive de la phrase musicale chez l'enfant

Revue de statistique appliquée, tome 16, n° 2 (1968), p. 25-63

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1968__16_2_25_0

© Société française de statistique, 1968, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue de statistique appliquée » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

ESTHÉTIQUE EXPÉRIMENTALE :
LA MÉTHODE DE COMPARAISON
PAR PAIRES APPLIQUÉE
A L'ÉTUDE DE L'ORGANISATION
PERCEPTIVE DE LA PHRASE MUSICALE CHEZ L'ENFANT

M. IMBERTY

Assistant à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Paris-Nanterre

On sait que les problèmes de comparaison et de préférence sont parmi les plus complexes de la Psychologie de l'Art, tant du point de vue de l'élaboration expérimentale que du point de vue de l'interprétation statistique et psychologique des résultats. Les difficultés proviennent de ce que, d'une part, les jugements d'un même sujet varient au cours des différentes présentations d'un même objet ou d'une même oeuvre, et d'autre part, de ce qu'un même jugement peut s'appliquer à des formes ou des ensembles de formes très divers. En outre, il faut pouvoir faire la part de ce qui, dans les résultats, est imputable à la structure propre de l'objet jugé, et de ce qui trouve son origine dans le monde culturel et personnel du sujet, compte-tenu des fréquentations esthétiques de celui-ci. [6 - 17]

Ces difficultés sont encore accrues lorsqu'il s'agit de musique, la pièce ou le fragment soumis à appréciation exigeant de l'auditeur une mémorisation que la permanence du tableau ou de la sculpture devant le regard épargne au spectateur. En effet, celui-ci peut toujours fixer momentanément son attention sur telle ou telle partie du tableau, puis revenir à la perception de l'ensemble, effectuer toutes les comparaisons nécessaires entre les éléments qui remplissent l'espace délimité par la toile. Au contraire, la compréhension de l'oeuvre musicale suppose un certain exercice immédiat de la mémoire : chaque note ou chaque accord est riche de tout ce qui précède dans le décours temporel de l'oeuvre, et l'auditeur, s'il veut en saisir le sens, doit à tout instant relier ce qu'il entend à ce qu'il a déjà entendu. Il faut donc, si l'on veut expérimenter, choisir pour stimuli des fragments simples, de courte durée, limitant au maximum l'intervention de la mémoire, permettant de circonscrire de la façon la plus stricte l'apport culturel des sujets, et en multiplier les présentations, afin d'aborder avec une relative sécurité les phénomènes perceptifs à l'origine des jugements exprimés.

La méthode de comparaison par paires est ici particulièrement précieuse : outre la diversification des présentations (un même fragment musical entre en composition dans plusieurs paires et pour une même paire l'ordre des fragments peut être inversé), elle offre au sujet, à travers la comparaison exigée de lui, une plus grande variété de points de repère pour l'exercice du jugement que la présentation directe et isolée de chaque pièce de la série retenue pour l'expérience. D'une part, par la répétition du même item au cours de l'expérience, on compense les incertitudes de jugement, et d'autre part le classement des items obtenus en fin d'expérience prête à une interprétation statistique plus poussée.

C'est donc l'application de cette méthode à un problème particulier que nous exposons maintenant pour le lecteur.

On admet généralement qu'une oeuvre musicale est comparable à un discours ou à un poème, dans lequel les phrases s'enchaînent les unes aux autres, selon des lois plus ou moins complexes, variant avec les styles, les époques et les compositeurs. Mais chaque phrase apparaît, à l'analyse de l'oeuvre, comme un tout indissociable, parfaitement structuré, chaque phrase constitue une unité de sens, aisément reconnaissable à l'audition par des formules plus ou moins stéréotypées, les cadences. Ce sont ces formules qui donnent son sens à la phrase, indiquent si celle-ci est achevée - et l'impression produite fait que l'auditeur n'attend plus rien derrière elle -, ou seulement suspendue - l'impression produite est alors celle d'une interrogation ou d'un repos provisoire dans le déroulement de l'oeuvre. Mais dans les deux cas, la phrase musicale ne trouve son unité que par la présence de ces formules. [5]

Dans leur aspect, elles ont variés au cours de l'histoire, mais depuis la fin de la Renaissance, elles répondent toujours au même schéma structural, à savoir l'enchaînement des trois degrés principaux de la gamme et de leurs accords : IV°, V° et I° degrés, ou encore, pour employer les termes techniques Sous-Dominante, Dominante et Tonique. Afin d'éclairer ce propos, on peut reprendre l'analogie suggérée au début entre le langage articulé et le langage musical. On explicitera cette analogie sur un exemple simple, connu du lecteur.

Chacun en effet a en mémoire le thème de l'Ode à la Joie du final de la IX° Symphonie de Beethoven. Observons la correspondance toute simple entre les quatre premiers vers du poème de Schiller et la première phrase musicale de Beethoven. Les deux premiers vers constituent une interjection lancée à la Joie, indiquant que le discours qui va suivre s'adresse à elle considérée ici comme une personne :

"Freude, schöner Götterfunken,
Tochter aus Elysium," (1)

Les deux vers suivants énoncent la proposition qui s'adresse à l'être désigné dans l'interjection (donc dans les deux premiers vers) :

"Wir betreten feuertrunken,
Himmlische, dein Heiligtum" (1)

On remarque que les deux premiers vers constituent une unité de sens, mais que ce sens est incomplet : unité de sens parce que tous les mots désignent et personnifient l'idée de la joie, se rapportent à elle (et sont indépendants du verbe du troisième vers, "betreten") ; sens incomplet parce que l'interjection désigne le destinataire d'une proposition ou d'un discours non encore dit, mais que le lecteur attend. La voix qui lit le poème marque donc une simple pause sans baisser le ton. Les vers suivants constituent une unité à sens complet (ils possèdent un sens qui se suffit à lui-même) et énoncent le discours attendu à la suite de l'interjection des deux premiers vers, celle-ci étant d'ailleurs rappelée par un nouveau qualificatif attribué à la joie, "Himmlische".

(1) Joie, belle étoile des Dieux,
Fille de l'Elysée,

Nous pénétrons, ivres de feu,
O Divine, dans ton Sanctuaire.

Or la première phrase musicale de Beethoven se découpe tonalement de la même façon : le support harmonique de la mélodie, tantôt exprimé (comme dans l'introduction instrumentale), tantôt sous-entendu (comme dans l'exposition de ces quatre premiers vers), ménage une suspension à la dominante sur le mot "Elysium" (cadence incomplète, ou demi-cadence dont le sens musical est incomplet), et un repos sur la tonique au mot "Heiligtum" (cadence complète ou cadence parfaite dont le sens musical est lui-même complet. De plus, on remarque que les trois premiers vers s'achèvent sur la dominante, Beethoven indiquant ainsi la pause suspensive mais non conclusive qu'une lecture correcte doit ménager à la fin de chaque vers, pour chaque virgule, réservant la tonique pour le point après "Heiligtum".

On voit que l'articulation principale de la langue tonale classique est constituée par les deux degrés de Dominante et de Tonique. Toutes les formules cadentielles apparaissent comme des variations autour de l'un ou de l'autre et fonctionnent comme les signes du sens de la phrase musicale. Mais il convient de souligner que toute modification, soit de la mélodie, soit de l'harmonie au sein des formules engendre pour l'auditeur averti une modification du sens de la phrase. Ainsi, une cadence rompue au VI^e degré, où l'on a substitué à l'accord parfait terminal de tonique un accord du VI^e degré, amoindrit le sens conclusif de la cadence parfaite. De même, une demi-cadence, dont la mélodie présente un contour cadentiel par l'effet d'une conjonction, amoindrit la suspension inhérente à cette demi-cadence sans conjonction mélodique. (2)

En définitive, pour l'auditeur, l'impression produite et le sens accordé à la phrase entendue dépendent de la perception qu'il a de la formule cadentielle et des divers éléments qui la composent. Or en pre-

(1) Beethoven propose dans l'introduction orchestrale un accord de sixte sur un fa dièse à la basse et non l'accord parfait chiffré avec ré à la basse. Mais il s'agit en fait du même accord de tonique. Les chiffres indiquent, selon une convention bien établie, les accords que l'on écrit sur la basse donnée, et l'analyse harmonique se fait à partir de cette basse.

(2) Cf. ci-dessous p. 31

mier lieu, cadence parfaite et demi-cadence ne peuvent être ressenties comme conclusion ou comme suspension que si le sujet qui écoute saisit intuitivement la liaison syntactique entre Dominante et Tonique, autrement dit, que si, au niveau perceptif, une distinction (ou plus exactement une décentration) entre ces degrés est possible. Ensuite, les diverses nuances dans la conclusion ou la suspension apportées par les modifications mélodiques ou harmoniques de chaque cadence, ne peuvent être aperçues que si le sujet qui écoute distingue clairement mélodie et harmonie, autrement dit, que si une décentration perceptive s'opère entre la figure mélodique et le fond harmonique.

Dans le cadre d'une étude sur l'Acquisition des Structures Tonales chez l'Enfant (1), le problème était de savoir dans quelle mesure celui-ci perçoit cette double articulation des formes cadentielles, et quels mécanismes perceptifs sont à l'origine des interprétations abusives qu'il peut en donner.

I - L'EXPERIENCE

A - La méthode

Nous ne reviendrons pas sur les avantages des méthodes de comparaisons par paires. Mais on sait que plusieurs variantes sont possibles, dont les plus courantes sont le "pair - test", le test "duo - trio", le test "triangulaire". Dans les trois cas la comparaison ne porte jamais que sur deux items, mais dans les deux derniers cas, il y a deux présentations de l'un et une présentation de l'autre (2), ce qui, avec des fragments musicaux, constitue un inconvénient : lors d'un triplet tel que BAA dans le test triangulaire, le sujet risque de ne plus se souvenir de B lorsque la deuxième présentation de A a été faite, la durée d'audition étant alors trop longue pour permettre une comparaison efficace. On est donc contraint à s'en tenir au "pair - test" qui est le seul praticable dans le cas d'items se déroulant dans la durée ; encore faut-il que ceux-ci soient assez courts pour limiter au maximum l'intervention de la mémoire. De plus, le nombre d'items de la série expérimentale doit être très restreint, afin de ne pas rendre l'expérience trop longue par un nombre élevé de paires. Cette limitation du nombre d'items est plus importante dans le test triangulaire que dans le pair - test.

B - La série expérimentale

Une première difficulté était donc de présenter les formules cadentielles dans des phrases musicales courtes et suffisamment simples pour que les sujets les appréhendent en une unité : de nombreux travaux, parmi lesquels ceux de Fraisse et de Francès, ont montré que, si notre présent ne se réduit pas à l'instant actuellement vécu, il ne peut se définir que dans une durée limitée, telle qu'au-delà, en arrière, il n'y a plus que des événements passés qui ne concernent plus le sujet, et en avant, des événements avenir qui ne le concernent pas encore. Dans le domaine perceptif, l'importance de cette durée varie avec l'organisation

(1) Cf. IMBERTY (M.) [9]

(2) Cf. VESSEREAU (A.) [19]

des évènements perçus : un ensemble d'évènements successifs fortement liés est perçu en une unité, et c'est la durée de cette unité qui constitue ce que Fraisse appelle notre "présent psychologique" (1). Il fallait donc que nos phrases soient à la fois brèves et tonalement fortement structurées.

En outre les éléments mélodiques et harmoniques devaient être choisis de telle sorte que leur influence respective sur le jugement des sujets puisse être circonscrite.

Pour toutes ces raisons, nous avons retenu 6 fragments de deux mesures à quatre temps, écrits dans le style choral, et s'achevant par des formules cadentielles différentes. Le style choral permettait en effet d'éliminer toute influence mélodique ou rythmique incontrôlable ; une mélodie très soignée, plus indépendante de l'harmonie que la mélodie du choral, eût pu fléchir en sa faveur le jugement des sujets, et il eût été impossible de dire si la cause de ce phénomène était le mode spécifique d'organisation de la mélodie ou le rapport entre la mélodie et l'harmonie. Les accents rythmiques auraient pu aussi marquer ou masquer les structures tonales. Dans ces conditions, le choral convenait parfaitement, puisqu'il apparaît comme un enchaînement d'accords écrit selon les lois les plus strictes de l'harmonie classique. Sa mélodie demeure très dépendante des structures harmoniques, et l'influence de celle-ci sur la perception des cadences se réduit aux seuls mouvements ascendants ou descendants, ainsi qu'aux mouvements par conjonction ou par attraction.

Afin de minimiser encore l'importance des facteurs incontrôlables, nous avons conservé d'un fragment à l'autre le même début, et nous avons enregistré ces 6 fragments au piano, la mélodie étant soutenue par une voix de soprano : cette dernière disposition rendait l'expérience plus attrayante pour les enfants, et permettait de mettre en lumière l'influence mélodique résiduelle au niveau de la cadence.

Finalement, nous avons élaboré les 6 fragments suivants, s'achevant sur les cadences les plus usitées (cf. figure 2).

Dans notre texte, ces fragments seront désignés par les lettres qui les précèdent : A pour la cadence parfaite avec mélodie s'achevant sur la tonique ; B et C, deux demi-cadences, la première possédant une mélodie non cadentielle, achevée sur le II^e degré, et la seconde une mélodie cadentielle par conjonction, achevée sur la dominante (note fondamentale de l'accord) ; E, cadence rompue au VI^e degré mais conservant la mélodie-type de la cadence parfaite ; D et F, deux formes dérivées de E. On aurait pu introduire pour chaque formule une variante mélodique comme celle proposée pour la demi-cadence (B et C). Mais on aurait considérablement alourdi l'expérience : en fait les formules cadentielles retenues permettaient de savoir dans quelle mesure la mélodie influe sur l'appréhension du sens de la cadence, puisque de la cadence parfaite (A) aux cadences rompues aux VI^e et IV^e degrés (E et D) nous conservions la même mélodie. Cette identité mélodique allait-elle entraîner une confusion entre les harmonies (2) ?

Nous avons ainsi retenu 15 paires que nous avons rangées dans un ordre quelconque, en veillant toutefois à ce que le même fragment ne se

(1) FRAISSE (P.) [4] p. 84
FRANCES (R.) [5]

(2) Les variantes mélodiques de la cadence parfaite ont été envisagées dans une expérience à part. Cf. notre ouvrage déjà cité.

[L'harmonie est indiquée par son chiffrage]

A Cadence parfaite,
forme-type.

B Demi-cadence
(ligne mélodique non cadentielle)

C Demi-cadence
ligne mélodique cadentielle

conjunction
même harmonie qu'en B

D Cadence rompue au
IV^e degré.
(mélodie de la
Cadence parfaite A)

E Cadence rompue au
VI^e degré

même éprouve avec
(accusé final)

F Cadence "modale"
Seul le mouvement mélodique
descendant est modal. L'harmonie
n'est finale et s'achève sur un
II^e degré.

présente jamais plus de deux fois de suite, afin de varier l'intérêt et surtout d'éviter la prégnance d'une formule cadentielle sur les autres. Ces 15 paires ont été soumises à la contre-épreuve de l'inversion de l'ordre des fragments au sein de chaque paire.

C - Conduite de l'expérience

Nous avons présenté notre expérience à 43 garçons et 30 filles de Cours Moyen 2^{ème} année des écoles primaires, soit à des sujets âgés de 10 ans. Les expériences se sont déroulées en deux séries distinctes, séparées de trois semaines. La première série présentait les paires dans l'ordre "direct" (par ex. AB), et la seconde série les présentait dans l'ordre "inverse" (par ex. BA). La succession des paires au cours de chaque série restait inchangée. L'intervalle de temps choisi pour séparer les deux séries de présentation (3 semaines) était assez long pour permettre d'éviter les phénomènes de fausse reconnaissance et d'apprentissage. Afin de minimiser le rôle des facteurs incontrôlables tels que l'état individuel des sujets, l'atmosphère plus ou moins survoltée de la classe, etc..., les expériences ont eu lieu chaque fois aux mêmes heures de la journée et aux mêmes jours de la semaine, dans les mêmes conditions matérielles (1).

Nous avons donné à chaque sujet une feuille-réponse comprenant pour les 15 paires de chaque série, numérotées de 1 à 15, quatre possibilités de réponse : "1^o morceau achevé", "2^o morceau achevé", "Les deux morceaux achevés", "Aucun morceau achevé". Cette feuille-réponse appelle deux remarques : tout d'abord, on sait que la méthode normale eût été de ne retenir que les deux premières possibilités de réponse ; mais nous avons voulu, en introduisant les deux autres, éliminer autant que possible les réponses au hasard. Ensuite, on voit que les réponses demandées n'étaient pas des réponses préférentielles, mais des réponses d'identification. Autrement dit, le sujet avait pour chaque fragment une réponse à donner, "achevé" ou "inachevé". La comparaison l'aidait à juger chaque fragment en particulier, mais il n'avait ni à nuancer sa réponse en distinguant conclusion et suspension, ni à se prononcer sur un degré d'achèvement du fragment. L'interprétation du classement des 6 fragments devra donc se situer dans cette optique, et le rang d'un fragment n'indiquera pas son degré d'achèvement pour les sujets, mais seulement l'ordre de grandeur du nombre de jugements d'achèvement portés sur lui par les dits sujets.

Finalement les consignes étaient les suivantes : "Dans chaque paire, dire si c'est le premier morceau, ou le deuxième qui est achevé ; si ce sont les deux qui sont achevés, ou si aucun n'est achevé". (2) A la suite de ces consignes, nous avons donné des exemples à partir de mélodies simples, connues des enfants. A notre demande, ceux-ci ont placé leur feuille-réponse dans un cahier fermé sur elle, nous leur avons fait écouter les deux premiers fragments (la première paire) et, à notre signal, ils ont ouvert leur cahier, inscrit leur réponse par une croix placée dans la case correspondant au type de réponse qu'ils voulaient formuler, ont refermé leur cahier, et ainsi de suite tout au long de l'expérience.

L'audition de faisait à partir d'un magnétophone de bonne qualité commerciale, laissant la possibilité de contrôler de façon satisfaisante

(1) 14 h pour les garçons et 8 h 30 pour les filles, donc avant les heures de cours.

(2) Les consignes n'ont pas été dites dans ces termes aux enfants, mais tel en était le sens.

l'intensité du son. La bande magnétique était le résultat d'un montage : nous avons enregistré chaque fragment une seule fois, puis par copie, nous avons monté nos 15 paires dans l'ordre direct, et nos 15 paires dans l'ordre inverse. Entre chaque fragment d'une même paire, nous avons maintenu un intervalle de 5 secondes. Entre chaque paire, nous laissons aux sujets le temps nécessaire pour inscrire leur réponse en arrêtant le déroulement de la bande magnétique. (1)

II - DEPOUILLEMENT DES REPONSES ET EXPOSE DES METHODES STATISTIQUES

Finalement, dans cette expérience, chaque enfant a eu à comparer deux à deux 6 fragments musicaux - soit à effectuer 30 comparaisons, chaque comparaison étant faite, une fois dans l'ordre d'audition AB, une fois dans l'ordre BA (ces ordres appelés arbitrairement ordre "direct" et ordre "inverse"). Dans le cas général de t items, le nombre de comparaisons est $t(t-1)$, soit $t(t-1)/2$ dans chaque ordre.

Au cours de l'exposé, les diverses phases de l'expérience seront désignées comme suit :

G-D expérience garçons, ordre "direct"	soit $15 \times 43 = 645$ réponses
G-I " " " " "inverse"	soit $15 \times 43 = \frac{645}{1290}$ réponses au total
F-D expérience filles, ordre "direct"	soit $15 \times 35 = 525$ réponses
F-I " " " " "inverse"	soit $15 + 35 = \frac{525}{1050}$ réponses au total
soit un total général de 2340 réponses.	

Pour chaque comparaison les réponses sont codées en attribuant la note 1 au fragment considéré comme "achevé", la note 0 à l'autre ; lorsque le sujet juge équivalentes les deux formules cadentielles en présence (ou qu'il s'estime incapable de distinguer ces deux formules), la note 1/2 est attribuée à chaque fragment.

L'interprétation statistique des résultats présente plusieurs aspects ;

- Classement des fragments. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour classer les phrases musicales d'après leur "degré d'achèvement", tel qu'il était perçu par les sujets (2) :

Méthode des Matrices de Kendall ; [10 - 11]

Méthode de Thurstone (transformation des rangs de classement en écarts normaux). [15] Les autres méthodes classiques, celle de Scheffe et celle de Bradley - Terry ne sont pas utilisables dans le cas actuel : la méthode de Scheffe nécessite qu'une note, et non pas seulement un ordre soit donné dans chaque comparaison. La méthode de Bradley - Terry

(1) L'enregistrement et le montage des paires ont été réalisés avec le concours technique du Laboratoire de l'Institut de Musicologie de la Sorbonne.

(2) Cf. au sujet de cette expression notre remarque de la page précédente.

est théoriquement applicable, mais pour 6 items et plusieurs sujets, elle oblige à des calculs très longs.

L'analyse de la variance permet ensuite de tester l'influence de l'ordre d'audition des fragments dans chaque paire. On peut par ailleurs se demander si certains d'entre eux donnent lieu plus souvent que d'autres à indécision, ou à intersion de classement lorsque l'ordre d'audition change.

- Comparaisons concernant les sujets : comparaison des classements donnés par les garçons et par les filles ; comparaison entre garçons et filles, en ce qui concerne le nombre des indécisions (jugements d'équivalence), des incohérences et des interversions de classement ; classement des sujets entre eux d'après ces mêmes critères.

A - Matrices de Kendall

Pour un ordre de présentation donné (par exemple G-D) on additionne les notes (0, 1, ou 1/2) obtenues pour chacun des termes de chaque comparaison (dans une comparaison telle que A-B, le total des notes obtenues pour A et pour B en G-D est égal au total des sujets testés, soit ici 43).

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux (ou matrices carrées) tels que les suivants :

Tableaux I
Expériences G-D et G-I - Matrices des Notes

Ordre direct G-D							Ordre inverse G-I						
	A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
A	21,5	21,5	30,0	22,0	26,5	22,0		21,5	39,5	30,0	24,5	28,0	22,0
B	21,5	21,5	21,0	18,5	10,5	15,0		3,5	21,5	21,0	21,0	19,0	12,5
C	13,0	22,0	21,5	21,0	16,0	21,5		13,0	22,0	21,5	16,5	17,0	18,5
D	21,0	24,5	22,0	21,5	20,0	17,0		18,5	22,0	26,5	21,5	23,0	21,0
E	16,5	32,5	27,0	23,0	21,5	14,5		15,0	24,0	26,0	20,0	21,5	16,0
F	21,0	28,0	21,5	26,0	28,5	21,5		21,0	30,5	24,5	22,0	27,0	21,5

Tableaux II
Expériences F-D et F-I - Matrices des notes

Ordre direct F-D							Ordre inverse F-I						
	A	B	C	D	E	F		A	B	C	D	E	F
A	17,5	21,0	20,0	18,0	19,0	16,0		17,5	25,0	26,0	22,0	25,0	22,0
B	14,0	17,5	14,0	12,0	10,0	17,0		10,0	17,5	15,0	14,0	16,0	14,0
C	15,0	21,0	17,5	12,0	12,0	12,0		9,0	20,0	17,5	23,0	15,0	16,0
D	17,0	23,0	23,0	17,5	14,0	13,0		13,0	21,0	12,0	17,5	19,0	20,0
E	16,0	25,0	23,0	21,0	17,5	11,0		10,0	19,0	20,0	16,0	17,5	21,0
F	19,0	18,0	23,0	22,0	24,0	17,5		13,0	21,0	19,0	15,0	14,0	17,5

A l'intersection de la ligne A et de la colonne B on inscrit la note totale de A dans la comparaison (AB) ; à l'intersection de la ligne B et de la colonne A, on inscrit la note totale de B dans cette même comparaison. Le total de ces deux notes (inscrites symétriquement par rapport à la diagonale principale de la matrice) est naturellement égal à N (N étant le nombre de sujets testés).

Dans la diagonale principale (intersections AA, BB, ...) on inscrit N/2 ; ceci correspond à l'idée que la comparaison (hypothétique) d'un fragment avec lui-même se traduisait toujours par une indécision.

Les totaux des différentes lignes donnent un premier classement des thèmes ; on les désigne par "scores S1" des différents thèmes : dans le cas général de t thèmes ce total est égal à N t ²/2. (1) A titre de vérification, le total d'une ligne et le total d'une colonne correspondant à la même lettre donnent ensemble 6N (dans le cas général tN).

Le classement des thèmes selon les scores S1 du tableau précédent est ainsi, pour G-D toujours :

$$\left(\begin{array}{ll} \text{F} & 146,5 \\ \text{A} & 143,5 \\ \text{E} & 135,0 \\ \text{D} & 126,0 \\ \text{C} & 115,0 \\ \text{B} & 108,0 \end{array} \right.$$

Selon Kendall on "améliore" ou "affine" ces scores en opérant de la façon suivante.

On obtient le score S2 de A (par exemple) en ajoutant la moitié du score S1 des phrases musicales qui, dans leur comparaison avec A ont obtenu une note égale à celle de A (notamment la moitié du score de A lui-même) et le score de tous les phrases dont la note a été inférieure à celle de A.

Les scores S2 sont ainsi :

$$A - S2 = \frac{143,5}{2} + \frac{108}{2} + 115 + 126 + 135 + 146,5 = 648,25$$

$$B - S2 = \frac{143,5}{2} + \frac{108}{2} + 0 + 0 + 0 + 0 = 125,75$$

$$C - S2 = 0 + 108 + \frac{115}{2} + 0 + 0 + \frac{146,5}{2} = 238,75$$

$$D - S2 = 0 + 108 + 115 + \frac{126}{2} + 0 + 0 = 286,00$$

$$E - S2 = 0 + 108 + 115 + 126 + \frac{135}{2} + 0 = 416,50$$

$$F - S2 = 0 + 108 + \frac{115}{2} + 126 + 135 + \frac{146,5}{2} = 499,75$$

Par la même méthode on peut calculer les scores S3, S4 ... et l'on démontre que ce processus converge vers un classement stable (2).

(1) On vérifie facilement que le total des scores est égal à 18N (774 pour G-D par exemple).

(2) Cf. VESSERAU (A.) [19] p. 29-30.

Par le jeu des totalisations, les scores deviennent de plus en plus élevés. Afin de les comparer plus facilement entre eux et afin de permettre des comparaisons avec les classements donnés par d'autres méthodes on a appliqué aux scores une transformation linéaire ramenant, dans chaque série, leur moyenne à 0 et l'étendue totale (écart entre les scores extrêmes) à 10.

Tableaux III

Scores selon Kendall
(moyenne ramenée à 0 et étendue totale à 10).

G-D					G-I				G-(D+I)			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
A	+3,75	+5,34	+6,58	+7,05	+5,45	+5,34	+6,22	+6,80	+4,97	+5,27	+6,14	+6,67
F	+4,54	+2,50	+2,21	+1,92	+2,61	+2,90	+2,65	+2,25	+3,31	+2,43	+2,63	+2,21
D	-0,78	-1,59	-2,58	-2,86	+0,52	+0,73	+0,07	-0,63	+0,03	-0,20	-0,85	-1,23
E	+1,55	+0,90	-0,14	-0,63	-0,98	-1,26	-1,97	-2,24	-0,06	-0,20	-0,85	-1,23
C	-3,63	-2,50	-2,66	-2,54	-3,06	-3,05	-3,19	-2,97	-3,37	-3,07	-3,24	-3,09
B	-5,46	-4,66	-3,42	-2,95	-4,55	-4,66	-3,78	-3,20	-5,02	-4,73	-3,84	-3,33

F-D					F-I				F-(D+I)			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
A	+1,66	+2,98	+2,71	+2,23	+6,34	+5,18	+5,71	+5,96	+5,05	+5,16	+6,14	+6,66
F	+4,73	+5,23	+6,22	+6,80	+1,20	-1,08	-1,67	-1,75	+1,66	+2,92	+2,67	+2,23
E	+2,15	+0,88	+0,01	-0,62	-0,33	+0,86	+0,28	-0,21	+0,69	+0,99	-0,02	-0,60
D	+0,69	-1,23	-1,97	-2,24	-0,21	+0,89	+0,97	+0,71	+0,05	-2,13	-2,46	-2,48
C	-3,98	-3,10	-3,19	-2,98	-0,95	-1,04	-1,01	-0,68	-2,53	-2,13	-2,46	-2,48
B	-5,27	-4,77	-3,78	-3,20	-3,66	-4,82	-4,29	-4,04	-4,95	-4,84	-3,86	-3,34

Les scores "améliorés" ne modifient le classement dans l'expérience G qu'en G-D, et uniquement de S1 à S2. Les classements résultant de S4 sont

ordre direct : A F E C D B

ordre inverse : A F D E C B

ensemble : A F E D C B E et D étant exaequo

Les scores "améliorés" modifient assez profondément le classement dans les expériences F-D et F-I, de S1 à S2. Les classements résultants de S4 sont :

ordre direct : F A E D C B

ordre inverse : A D E C F B

ensemble : A F E D-C B, D et C étant exaequo.

Le classement final détache, chez les garçons comme chez les filles, A, F et E dans l'ordre, rejette C et B, et demeure fluctuant pour D (tantôt exaequo à E et tantôt à C).

B - Cohérence des classements

Les 15 comparaisons deux à deux (ordre d'audition fixé) contiennent 20 groupes de comparaisons trois à trois, appelés, selon la terminologie de Kendall, triades, à savoir :

A B C	B C D
A B D	B C E
A B E	B C F
A B F	B D E
A C D	B D F
A C E	B E F
A C F	C D E
A D E	C D F
A D F	C E F
A E F	D E F

(avec t items, le nombre de triades est $\frac{t(t-1)(t-2)}{6}$).

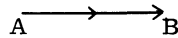
Une triade est cohérente, ou "non circulaire" lorsque les 3 comparaisons deux à deux qu'elle contient ont donné des réponses telles que :

$$A > B \quad B > C \quad A > C$$

Elle est non cohérente ou "circulaire" lorsque l'on a obtenu :

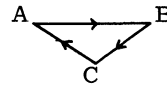
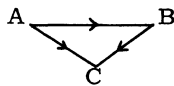
$$A > B \quad B > C \quad C > A$$

Il est commode de représenter les résultats par un hexagone dans lequel les lignes joignant deux à deux les sommets sont orientées suivant le résultat de la comparaison correspondante.

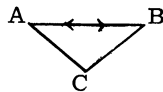


signifiant que A a été jugé "mieux achevé" que B.

Ainsi les triades apparaissent sous la forme de triangles appartenant à deux types :

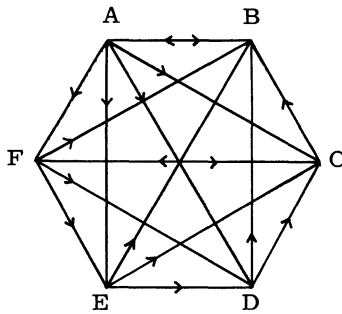


Un troisième type correspond au cas où une (ou plusieurs) comparaisons ont donné équivalence entre deux cadences, ce qu'on représente par :



L'hexagone relatif à l'expérience G-D, que l'on obtient immédiatement à partir de la matrice de Kendall, est le suivant :

Il y a 8 triades indifférentes :



A B C

A B D (A et B ayant
été équivalentes)

A B E

A B F

A C F

B C F (C et F ayant
été équivalentes)

C E F

C D F

Toutes les autres triades sont du type non circulaire (pas d'incohérence).

Finalement on obtient les tableaux suivants d'analyse de cohérence :

Tableaux IV

Analyse de cohérence - Triades de Kendall

	G-D	G-I	G(D+I)
Triades non circulaires (1)	12	20	16
" indifférentes (2)	8	0	4
" circulaires (3)	0	0	0
Total	20	20	20

	F-D	F-I	F(D+I)
Triades non circulaires (1)	20	18	16
" indifférentes (2)	0	0	4
" circulaires (3)	0	2	0

(1) Cohérence

(2) Triades incomplètes

(3) Incohérence

C - Méthode des écarts normaux (Thurstone)

On commence par transformer la matrice des notes de Kendall en matrice des proportions, par division par N. - On obtient les valeurs suivantes (expérience G-D où N = 43) :

	A	B	C	D	E	F
A	0,500	0,500	0,698	0,512	0,616	0,512
B	0,500	0,500	0,488	0,430	0,244	0,349
C	0,302	0,512	0,500	0,488	0,372	0,500
D	0,488	0,570	0,512	0,500	0,465	0,395
E	0,384	0,756	0,628	0,535	0,500	0,337
F	0,488	0,651	0,500	0,605	0,663	0,500

Les proportions p sont ensuite transformées en "écarts normaux S", par la relation :

$$p = \int_{-\infty}^s \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

(la correspondance p, S est obtenue immédiatement grâce aux tables de la loi normale). Le tableau des écarts normaux est le suivant :

	A	B	C	D	E	F	moyens S
A	0,000	0,000	+0,519	+0,030	+0,295	+0,030	+0,146
B	0,000	0,000	-0,030	-0,176	-0,693	-0,388	-0,214
C	-0,519	+0,030	0,000	-0,030	-0,327	0,000	-0,141
D	-0,030	+0,176	+0,030	0,000	-0,088	-0,266	-0,030
E	-0,295	+0,693	+0,327	+0,088	0,000	-0,421	+0,065
F	-0,030	-0,388	0,000	+0,266	+0,421	0,000	+0,174

La matrice est antisymétrique (les éléments symétriques par rapport à la diagonale principale sont égaux et de signe opposé).

Les moyennes par ligne S donnent le classement des thèmes. En amenant l'étendue totale à 10, on obtient :

Tableaux V

Ecarts normaux avec étendue égale à 10.

	G-D	G-I	G(D+I)
F	+4,49	+2,26	+4,99
A	+3,77	+5,38	+3,38
D	-0,77	+0,45	+0,39
E	+1,68	-0,84	-0,39
C	-3,64	-2,63	-3,34
B	-5,51	-4,62	-5,01

Les classement sont les suivants :

ordre direct : F A E D C B

ordre inverse : A F D E C B

ensemble : F A D E C B

	F-D	F-I	F(D+I)
A	+1,65	+6,43	+5,02
F	+4,73	-1,07	+1,54
E	+2,20	-0,36	+0,88
D	+0,67	-0,50	+0,02
C	-3,97	-0,93	-2,49
B	-5,27	-3,57	-4,97

Les classements sont les suivants :

ordre direct : F E A D C B

ordre inverse : A E D C F B

ensemble : A F E D C B

Ces classements sont évidemment les mêmes que ceux qui résultent des scores S_i des matrices de Kendall.

D - Analyse de la variance

Les méthodes précédentes traitent séparément les expériences en ordre direct et en ordre inverse ; elles aboutissent au classement des fragments musicaux par des scores (Kendall) ou des écarts normaux (Thurstone) - classement que nous appelons provisoirement classement selon le "degré d'achèvement" de ces fragments, mais elles ne permettent pas de tester si ces "degrés" sont significativement différents.

L'analyse de la variance, portant sur l'ensemble des résultats "directs" et "inverses", permet de tester la signification des différences obtenues entre les différents fragments, et aussi l'influence de l'ordre d'audition.

On sait que l'analyse de la variance suppose que les résultats analysés suivent des lois normales de même variance. Il ne saurait donc être question d'analyser directement les 1290 réponses de l'expérience G par exemple, qui ne prennent que les valeurs 0 ou 1.

Si l'on additionne ces réponses pour les 43 sujets on obtient un nombre qui, divisé par 43, représente la proportion des réponses "en faveur de A" et "en faveur de B" dans une comparaison telle que A B. On obtient ainsi 15 proportions pour l'ordre direct (ce sont les valeurs qui figurent au-dessus de la diagonale principale du tableau des proportions de la p.) et 15 proportions pour l'ordre inverse - ce sont ces 30 proportions que l'on peut se proposer d'analyser. Toutefois, comme il n'y a pas de "répétitions", une difficulté se présentera pour définir la variance résiduelle, base des tests de signification. En effet, aux 30 résultats on peut faire correspondre :

15 paramètres représentant les 15 comparaisons étudiées
15 " " " l'ordre d'audition dans chaque comparaison.

1/ Analyse de la variance des écarts normaux

Les tableaux ci-après donnent pour chaque ordre d'audition la valeur de l'"écart normal" du premier item de chaque comparaison (cet item est souligné) - dans la colonne "ordre direct" figurent donc les 15 écarts normaux inscrits au-dessus de la diagonale principale du tableau des écarts normaux (p. 38).

Si l'on affecte à chaque résultat un paramètre p représentant la paire comparée et un paramètre o représentant l'ordre d'audition :

soit 15 paramètres p_i et 15 paramètres o_i ($i = 1, 2, \dots, 15$), on aura :

$$\begin{aligned}x_i &= p_i + o_i & y_i &= p_i - o_i \\x_i + y_i &= 2 p_i \\x_i - y_i &= 2 o_i\end{aligned}$$

Tableaux VI

Ecart normal selon l'ordre d'audition
(L'écart normal est celui du 1° item de la paire-lettre soulignée)

Expérience G

i	Compara- raisons	ordre direct (x_i)	ordre inverse (y_i)	Total ($x_i + y_i$)	Différence ($x_i - y_i$)
1	<u>AB</u>	0,000	+1,398	+1,398	-1,398
2	<u>AC</u>	+0,519	+0,519	+1,038	0,000
3	<u>AD</u>	+0,030	+0,176	+0,206	-0,146
4	<u>AE</u>	+0,295	+0,388	+0,623	-0,093
5	<u>AF</u>	+0,030	+0,030	+0,060	0,000
6	<u>BC</u>	-0,030	-0,030	-0,060	0,000
7	<u>BD</u>	-0,176	-0,030	-0,206	-0,146
8	<u>BE</u>	-0,693	-0,146	-0,839	-0,547
9	<u>BF</u>	-0,388	-0,550	-0,938	+0,162
10	<u>CD</u>	-0,030	-0,295	-0,325	+0,265
11	<u>CE</u>	-0,327	-0,266	-0,593	-0,061
12	<u>CF</u>	0,000	-0,176	-0,176	+0,176
13	<u>DE</u>	-0,088	+0,088	0,000	-0,176
14	<u>DF</u>	-0,266	-0,030	-0,296	-0,236
15	<u>EF</u>	-0,421	-0,327	-0,748	-0,094
Total		-1,545	+0,749	-0,796	-2,294

Expérience F

i	Compara- raisons	ordre direct (x_i)	ordre inverse (y_i)	Total ($x_i + y_i$)	Différence ($x_i - y_i$)
1	<u>AB</u>	+0,253	+0,568	+0,821	-0,315
2	<u>AC</u>	+0,181	+0,656	+0,837	-0,475
3	<u>AD</u>	+0,038	+0,329	+0,367	-0,391
4	<u>AE</u>	+0,108	+0,568	+0,676	-0,460
5	<u>AF</u>	-0,105	+0,329	+0,224	-0,434
6	<u>BC</u>	-0,253	-0,179	-0,432	-0,074
7	<u>BD</u>	-0,404	-0,253	-0,657	-0,151
8	<u>BE</u>	-0,565	-0,105	-0,670	-0,460
9	<u>BF</u>	-0,035	-0,253	-0,288	+0,218
10	<u>CD</u>	-0,404	+0,407	+0,003	-0,811
11	<u>CE</u>	-0,404	-0,179	-0,583	-0,225
12	<u>CF</u>	-0,404	-0,105	-0,509	-0,299
13	<u>DE</u>	-0,253	+0,108	-0,145	-0,361
14	<u>DF</u>	-0,327	+0,182	-0,145	-0,509
15	<u>EF</u>	-0,452	+0,253	-0,201	-0,199
Total		-3,026	+2,326	-0,700	-5,352

Les expressions $(x_i + y_i)$ et $(x_i - y_i)$ étant évidemment orthogonales, on a :

$$\Sigma x_i^2 + \Sigma y_i^2 = \frac{1}{2} \Sigma (x_i + y_i)^2 + \frac{1}{2} \Sigma (x_i - y_i)^2$$

ou encore, S_T désignant la somme des carrés des 30 résultats :

$$S_T = \frac{1}{2} \Sigma (x_i + y_i)^2 + \frac{1}{2} \Sigma (x_i - y_i)^2 = 2\Sigma p_i^2 + 2\Sigma o_i^2$$

S_T qui comporte 30 degrés de liberté, se trouve décomposé en :

$S_P = \frac{1}{2} \Sigma (x_i + y_i)^2$ = somme des carrés imputable aux comparaisons (quel que soit l'effet de l'ordre) = 15 degrés de liberté.

$S_0 = \frac{1}{2} \Sigma (x_i - y_i)^2$ = somme des carrés imputable à l'ordre (quelle que soit la valeur du paramètre comparaison) = 15 degrés de liberté.

Pour pouvoir effectuer des tests, la décomposition doit être poussée plus loin.

Soient

$$X = \Sigma x_i \quad \text{et} \quad Y = \Sigma y_i$$

S_P peut se décomposer en :

$S_{P_1} = \frac{(X + Y)^2}{30}$ qui représentent l'écart par rapport à zéro de la moyenne de tous les résultats - avec 1 degré de liberté (effet moyen "comparaison").

$S_{P_2} = S_P - S_{P_1}$ qui représente les écarts entre les comparaisons - avec 14 degrés de liberté. De même S_0 se décompose en :

$S_{O_1} = \frac{(X - Y)^2}{30}$ qui représente l'écart par rapport à zéro de la moyenne des paramètres d'ordre - avec 1 degré de liberté (effet moyen "ordre").

$S_{O_2} = S_0 - S_{O_1}$ qui représente les écarts entre les paramètres d'ordre - avec 14 degrés de liberté.

C'est cette dernière quantité que l'on adoptera comme "somme des carrés résiduelle S'' ". - Elle représente la somme des carrés de résultats dépouillée :

- des effets comparaisons
- de l'effet ordre supposé le même pour toutes les comparaisons.

L'équation d'analyse de la variance s'écrit ainsi :

$$S_T = S_{P_1} + [S_P - S_{P_1}] + S_{O_1} + S_R \quad (S_R = S_0 - S_{O_1})$$

$$30 = 1 + 14 + 1 + 14 \quad \text{degrés de liberté}$$

On obtient finalement les tableaux d'analyse suivants :

Tableaux VII
Analyse de variance des écarts normaux

Expérience G

	Somme des carrés	degrés de liberté	carré moyen	F	
Effet moyen comparaison S_{P_1}	0,02112	1	0,02112	1	
Écarts entre comparaison S_{P_2}	3,13365	14	0,22383	2,87	Significatif à 5 %
Effet total comparaison S_P	3,15477	15			
Effet moyen ordre S_{O_1}	0,17541	1	0,17541	2,25	Non significatif
Résidu (écarts entre ordres) S_{O_2}	1,09038	14	0,07788	-	
Effet total ordre S_O	1,26579	15		-	
Total	4,42056	30	-	-	

Expérience F

	Somme des carrés	degrés de liberté	carré moyen	F	
Effet moyen comparaison S_{P_1}	0,01776	1	0,01776	1	Significatif à moins de 1 %
Écarts entre comparaison S_{P_2}	1,91226	14	0,13659	4,28	
Effet total comparaison S_P	1,93002	15			
Effet moyen ordre S_{O_1}	0,96553	1	0,93553	30,27	Significatif à moins de 1 %
Résidu (écarts entre ordres) S_{O_2}	0,44660	14	0,03190	-	-
Effet total ordre S_O	1,41213	15			
Total	3,34215	30			

Ainsi, chez les garçons, l'effet de l'ordre influençant de la même façon toutes les comparaisons se révèle non significatif (il peut y avoir des effets d'ordre particuliers aux différentes comparaisons, mais on ne peut les tester, puisqu'ils constituent le terme résiduel de l'analyse). Par contre, les écarts entre comparaisons apparaissent significatifs.

Chez les filles, les écarts entre comparaisons sont bien significatifs, mais l'effet global de l'ordre est lui aussi significatif. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène.

En fait, ce qu'il faut savoir, c'est s'il existe des différences entre les fragments musicaux, dont les degrés d'achèvement sont estimés en formant les sommes algébriques des résultats obtenus pour les comparaisons (colonne total des tableaux VI) les coefficients étant donnés par le tableau ci-après :

	AB	AC	AD	AE	AF	BC	BD	BE	BF	CD	CE	CF	DE	DF	EF
A	+1	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	-1	0	0	0	0	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	0
C	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	+1	+1	+1	0	0	0
D	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	+1	+1	0
E	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	+1
F	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	-1

On obtient ainsi

Expérience G : A = + 3,385

F = + 2,098

D = + 0,029

E = + 0,001

C = - 2,072

B = - 3,441

Total = 0,000

Expérience F : A = + 2,925

F = + 0,947

E = + 0,493

D = - 0,003

C = - 1,494

B = - 2,868

Total = 0,000

Considérons une différence telle que A-F. C'est la différence entre :

10 résultats A (5 directs et 5 inverses)

10 résultats F (")

Deux résultats A sont égaux et de signe opposé à deux résultats F (couples AF). La variance d'un résultat étant désignée par σ^2 , celle de la différence A-F est $24 \sigma^2$. σ^2 est estimé par s^2 variance résiduelle trouvée égale à 0,07788 avec 14 degrés de liberté dans l'expérience G, et à 0,03190 avec 14 degrés de liberté dans l'expérience F. On a donc :

$$\text{Var } (A-F)_G = 0,07788 \times 24 = 1,8692$$

et l'écart-type :

$$\text{E. T. } (A-F)_G = \sqrt{1,8692} = 1,37$$

$$\text{Var } (A-F)_F = 0,03190 \times 24 = 0,76560$$

$$\text{E. T. } (A-F)_F = \sqrt{0,76560} = 0,87$$

Pour 14 degrés de liberté, la valeur de t correspondant au seuil de signification de 5 % est $t = 2,145$. La différence (A-F) et toute autre différence entre deux items quelconques est donc significative (au seuil de $P = .05$) si elle atteint,

pour l'expérience G : $2,145 \times 1,37 = 2,9$

pour l'expérience F : $2,145 \times 0,87 = 1,88$

On constate qu'il est possible de constituer 3 groupes dont le classement peut être considéré comme significatif, à un niveau voisin de 5 %.

En modifiant proportionnellement les notes de façon à obtenir comme précédemment une étendue totale à 10, on obtient les tableaux suivants :

Tableaux VIII

Classement et significativité des fragments musicaux. Ecart normal

Expérience G

	Totaux par fragment	Totaux transformés (étendue égale à 10).
1 { A F	+ 3,385 + 2,098	+ 4,96 + 3,07
2 { D E	+ 0,029 + 0,001	+ 0,05 0,00
3 { C B	- 2,072 - 3,441	- 3,04 - 5,04

Expérience F

	Totaux par fragment	Totaux transformés (étendue égale à 10).
1 A	+ 2,925	+ 5,05
2 { F E D	+ 0,947 + 0,493 - 0,003	+ 1,63 + 0,85 0,00
3 { C B	- 1,494 - 2,868	- 2,58 - 4,95

Le classement est sensiblement le même dans les deux expériences, mais la cadence parfaite (A) se dégage plus nettement des autres formules cadentielles chez les filles que chez les garçons.

2/ Analyse par la transformation arc sin $\sqrt{p}$

Les proportions p , données à titre d'exemple pour l'expérience G à la page 37 sont considérées comme des variables binomiales correspondant à $N = 43$ répétitions ($N = 35$ répétitions pour l'expérience F) ; elles peuvent être assimilées à des variables normales, mais de variances différentes $\frac{\pi(1-\pi)}{N}$ (π désignant la proportion vraie dont p est une estimation).

On sait que la transformation :

$$z = \text{arc sin } \sqrt{p}$$

donne une variable de variance indépendante de p, égale à $1/4N$, soit ici pour l'expérience G

$$\frac{1}{4 \times 43} = 0,0058$$

et pour l'expérience F

$$\frac{1}{4 \times 35} = 0,00714$$

On effectuera donc cette transformation (la correspondance z, p est donnée dans les tables de Hald) [8] sur les proportions de choix en faveur de chacun des fragments de chaque paire, dans les deux ordres d'audition ; on construira ensuite des tableaux analogues aux tableaux VI (Tableaux IX ci-après). L'analyse de la variance (Tableaux X) s'effectue de la même façon, mais on peut tester tous les termes de la décomposition par comparaison avec la variance résiduelle $1/4N$; le test utilise alors la loi du χ^2 - avec le nombre de degrés de liberté du carré moyen testé - puisque la variance résiduelle est ici considérée comme une valeur certaine.

Tableaux IX

Valeurs $z = \arcsin \sqrt{p}$ suivant l'ordre d'audition

Expérience G

	Ordre direct	Ordre inverse
<u>AB</u>	0,7854	1,2822
<u>AC</u>	0,9890	0,9890
<u>AD</u>	0,7974	0,8556
<u>AE</u>	0,9024	0,9388
<u>AF</u>	0,7974	0,7974
<u>BC</u>	0,7734	0,7734
<u>BD</u>	0,7151	0,7734
<u>BE</u>	0,5166	0,7272
<u>BF</u>	0,6320	0,5698
<u>CD</u>	0,7734	0,6683
<u>CE</u>	0,6559	0,6796
<u>CF</u>	0,7854	0,7151
<u>DE</u>	0,7503	0,8204
<u>DF</u>	0,6796	0,7734
<u>EF</u>	0,6193	0,6559

Expérience F

	Ordre direct	Ordre inverse
<u>AB</u>	0,866	0,546
<u>AC</u>	0,858	0,546
<u>AD</u>	0,800	0,858
<u>AE</u>	0,828	0,316
<u>AF</u>	0,743	0,829
<u>BC</u>	0,685	0,700
<u>BD</u>	0,526	0,655
<u>BE</u>	0,554	0,655
<u>BF</u>	0,771	0,729
<u>CD</u>	0,626	0,785
<u>CE</u>	0,626	0,670
<u>CF</u>	0,626	0,685
<u>DE</u>	0,685	0,757
<u>DF</u>	0,656	0,757
<u>EF</u>	0,596	0,743

(La valeur de z est celle du premier terme de la paire - lettre soulignée. Afin de pas alourdir le texte, on n'a pas fait figurer ni les totaux $(x_1 + y_1)$, ni les différences $(x_1 - y_1)$ qui s'obtiennent facilement).

Tableaux X

Analyse de la variance sur les valeurs $z = \arcsin \sqrt{p}$ Expérience G

	Somme des carrés	Degrès de liberté	Carré moyen	F
Effet moyen comparaisons	17,9291	1	-	
Ecarts entre "	0,4563	14	0,0326	5,62***
Effet total comparaisons	18,3854	15	-	-
Effet moyen ordre	0,0239	1	0,0239	4,12**
Ecarts entre ordres	0,1435	14	0,0102	1,76**
Effet total ordre	0,1674	15	-	-
Total	18,5528	30	-	-
Variance σ^2 d'un résultat	-	∞	0,0058	-

*** Significatif à moins de 1 % ** Significatif à 5 %

Expérience F

	Somme des carrés	Degrès de liberté		
Effet moyen comparaisons	16,43836	1	-	
Ecarts entre "	0,27443	14	0,01960	2,74***
Effet total comparaisons	16,71279	15	-	-
Effet moyen ordre	0,03710	1	0,03710	5,19**
Ecarts entre ordre	0,01723	14	0,00123	0,17
Effet total ordre	0,05433	15	-	-
Total	16,76712	30	-	-
Variance σ^2 d'un résultat	-	∞	0,00714	-

*** Significatif à moins de 1 % ** Significatif à moins de 5 %

Cette analyse confirme et renforce la "signification" des différences entre comparaisons - mais, en plus, dans l'expérience G l'effet de l'ordre apparaît significatif, et cet effet est significativement différent d'une comparaison à une autre. Dans l'expérience F, l'effet de l'ordre paraît au contraire également réparti sur toutes les paires.

Pour le classement final des fragments, on doit remarquer que si la valeur $z = \arcsin \sqrt{p}$ s'applique au fragment A dans la comparaison AB, la valeur $z = \arcsin \sqrt{1-p} = \pi/2 - z$ s'applique au fragment B dans cette même comparaison. Le "degré d'achèvement" des différents fragments s'estime donc au moyen de combinaisons linéaires des valeurs z (en prenant pour valeur z de A, la somme $(x_1 + y_1)$ des valeurs de chaque ordre dans les tableaux IX), les coefficients + 1 et - 1 figurant dans le

tableau de la page 43 étant modifiés comme suit (π étant ici 3,1416...) :

Là où figure +1 on prend la valeur z elle-même

Là où figure -1 on prend la valeur $\pi/2 - z$

On obtient ainsi (pour l'expérience G) :

A = 9,1346
F = 8,6827
D = 7,8653
E = 7,8504
C = 7,0361
B = 6,5549
Total 47,1240

(on vérifie facilement que ce total est égal à 15π).

La variance d'une différence telle que A-F est ici $24\sigma^2 = 24 \times 0,0058$ soit 0,1395 et cette différence est significative au seuil 5 % si elle dépasse $2\sqrt{0,1395} = 0,74$.

Les 3 groupes A-F ; D-E ; C-B se séparent donc de façon très significative. Après transformation proportionnelle des notes de façon à obtenir une étendue égale 10, on obtient le classement suivant :

Tableaux XI

Classement et significativité des fragments musicaux. Valeurs $z = \arcsin\sqrt{p}$

Expérience G

	Totaux par fragment	Totaux transformés (moyenne 0, étendue 10)
1 A	9,1346	+4,97
F	8,6827	+3,21
2 D	7,8653	+0,04
E	7,8504	+0,01
3 C	7,0361	-3,17
B	6,5549	-5,04

Expérience F

	Totaux par fragment	Totaux transformés (moyenne 0, étendue 10)
1 {A	8,6100	+3,95
{F	8,5730	+3,73
{E	8,2044	+1,83
{D	7,9298	+0,40
2 {C	7,1122	-3,86
{B	6,6946	-6,05

Dans l'expérience G, le classement est identique à celui obtenu par les écarts normaux. Dans l'expérience F, on ne peut distinguer que deux groupes différant de façon significative.

E - Indécisions et interversions dans les comparaisons

On compte ici le nombre (ou la fréquence) des "ex aequo" dans les comparaisons.

Au total pour l'expérience G :

dans l'ordre d'audition dit "direct" on trouve :

228 ex aequo sur $15 \times 43 = 645$ comparaisons soit 35,3 % et dans l'ordre d'audition dit "inverse"

269 ex aequo sur également 645 comparaisons, soit 41,7 %

Ces pourcentages sont significativement différents : ceci incite à penser que les deux expériences ne se sont pas déroulées de façon absolument identique, à moins que ce phénomène soit une conséquence de l'inversion de l'ordre d'audition dans chaque paire. Nous retrouverons ce problème plus bas.

Ceci est confirmé par le dénombrement des ex aequo dans les 15 comparaisons de fragments :

Nombre d'ex-aequo, Expérience G

	Ordre direct D	Ordre inverse I	Total
AB	5	3	10
AC	8	18	26
AD	24	21	45
AE	21	24	45
AF	14	20	34
BC	28	20	48
BD	11	16	27
BE	13	28	41
BF	12	13	25
CD	4	9	13
CE	12	14	26
CF	11	13	24
DE	26	26	52
DF	22	18	40
EF	17	24	41
Total	228	269	497
%	35,3 %	41,7 %	38,5 %

Pour l'expérience F on obtient :

dans l'ordre direct 173 sur 525 réponses soit 32,2 %

" inverse 183 " " soit 34,9 %

Le nombre d'ex-aequo est comparable d'une sous expérience à l'autre.

En totalisant le nombre des ex-aequo pour les 5 comparaisons où chaque fragments est engagé, on obtient ce qui suit :

Tableaux XII

Nombre d'ex-aequo par fragment

Expérience G

	Ordre direct	Ordre inverse	Total	%
C	53	74	137	31,9
B	69	82	151	35,1
A	72	88	160	37,2
F	76	88	164	38,1
D	87	90	177	41,2
E	89	116	205	47,7

sur 215 réponses dans chaque ordre, soit 430 réponses au total.

Expérience F

	Ordre direct	Ordre inverse	Total	%
C	44	52	96	27,4
F	51	56	107	30,6
A	60	53	113	32,3
B	52	64	116	33,1
D	72	68	140	40,0
E	67	73	140	40,0

sur 175 réponses dans chaque ordre, soit 350 réponses au total.

Dans les deux expériences, les fragments ayant donné le plus d'ex-aequo sont D et E, "intermédiaires" dans le classement selon le "degré d'achèvement". En outre, chez les garçons, ce sont C et B, fragments systématiquement rejetés qui ont donné le moins d'ex-aequo. Ces résultats sont donc cohérents avec ceux obtenus dans le classement selon le "degré d'achèvement" des fragments.

On peut enfin essayer de classer les fragments suivant le nombre d'interversions de classement lorsqu'on change l'ordre d'audition. - Pour cela, on ne doit retenir, dans chaque comparaison, que celles qui n'ont donné lieu à ex-aequo dans aucun des deux ordres (réponses complètes) - et classer ces réponses suivant qu'il y a intervention de classement ou non. On obtient ainsi les nombres figurant à la page suivante (Expérience G).

Le nombre de réponses complètes est au total de 262 sur $43 \times 15 = 645$, soit 40 % environ. Le nombre des réponses "sans intervention" (57,3 %) est significativement plus élevé que le nombre des réponses "avec intervention" (42,7 %) ce qui confirme que dans l'ensemble, les différences entre fragments sont perçues.

De la même manière, on trouve que chez les filles le nombre de réponses complètes est de 240 sur $35 \times 15 = 525$, soit environ 45 %. Le nombre des réponses "sans intervention" (62,1 %) est significativement plus élevé que le nombre des réponses "avec intervention" (37,9 %).

En groupant les résultats par fragment (c'est-à-dire en totalisant les résultats des 5 comparaisons où chaque fragment est engagé) on obtient les tableaux XIII.

Expérience G

	Nb. de réponses complètes	Nombre de avec intervention	réponses sans intervention
AB	34	18	16
AC	21	18	3
AD	12	7	5
AE	8	4	4
AF	18	10	8
BC	10	4	6
BD	17	10	7
BE	10	9	1
BF	22	13	9
CD	31	15	16
CE	22	12	10
CF	24	10	14
DE	5	2	3
DF	12	6	6
EF	16	12	4
Total	262	150	112

Tableaux XIII

Réponses complètes et réponses complètes sans intervention

Expérience G

	Réponses complètes	
	Nombre	%
C	108	50,2
B	93	43,2
A	93	43,2
F	92	42,8
D	77	35,8
E	61	28,4

	Réponses complètes sans intervention	
	Nombre	%
	59	54,6
	54	58,1
	57	61,3
	51	55,4
	40	52,0
	39	63,9

Expérience F

	Réponses complètes	
	Nombre	%
C	90	51,4
F	88	50,3
A	85	48,6
B	86	49,1
D	70	40,0
E	61	34,9

	Réponses complètes sans intervention	
	Nombre	%
	63	70,0
	54	61,4
	61	71,8
	58	67,4
	39	55,7
	33	54,1

Dans les tableaux des réponses complètes, les pourcentages s'appliquent uniformément à $43 \times 5 = 215$ questions posées pour l'expérience G, et à $35 \times 5 = 175$ questions posées pour l'expérience F. Dans un cas comme dans l'autre, et de façon significative, ce sont D et E qui ont entraîné le plus d'interventions. Dans les tableaux de réponses sans in-

terversion, les pourcentages s'appliquent à des nombres de réponses variables, les nombres de réponses complètes. Ces pourcentages ne diffèrent par suffisamment pour permettre un classement significatif des fragments.

F - Classement des sujets

On peut se proposer de classer les sujets d'après les mêmes critères que les fragments, c'est-à-dire : nombre d'ex-aequo, de réponses complètes, de réponses complètes sans interversion. Toutefois le classement est plus délicat car, pour chaque sujet, on ne dispose que de 15 réponses dans chaque sens - 30 réponses au total.

La répartition des 43 garçons d'après le nombre d'ex-aequo (sur les 30 réponses) est la suivante :

Nombre d'ex aequo	Nombre de sujets
6	3
7	3
8	2
9	3
10	4
11	5
12	4
13	4
14	8
15	6
16	-
17	-
18	1
Total	43

Le nombre total d'ex aequo est de 497 sur $43 \times 30 = 1290$ réponses, soit 38 %. La répartition constatée est nettement plus étalée que celle qui résulterait d'une loi binomiale $[0,38 + 0,62]^{30}$.

On peut donc dire qu'il y a des différences significatives entre sujets.

On a adopté uniformément, pour classer les sujets d'après ce critère, la règle empirique suivante :

moins de 9 ex aequo : % faible (F)
 de 9 à 14 : % moyen (M)
 plus de 14 : % élevé (E)

soit dans le cas actuel :

F = 8 sujets
 M = 28 "
 E = 8 "

Le nombre de réponses complètes pour un même sujet est faible (dans l'expérience 2G, 10 au maximum) - et naturellement le nombre de réponses sans interversion (réponses "cohérentes") encore plus faible, ce qui rend malaisé le classement des sujets d'après leur cohérence.

La règle suivant a été adoptée :

Soit n le nombre de réponses complètes, x le nombre de réponses non cohérentes ($0 \leq x \leq n$) et P la probabilité d'obtenir 0, 1, 2 ... x réponses non cohérentes dans l'hypothèse où les réponses sont données au hasard ($p = 1/2$).

$$P(x) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=0}^{i=x} C_n^i$$

Si $P \leq 0,01$	les jugments seront dits très cohérents	(T. C.)
$0,01 < P \leq 0,05$	"	cohérents (C.)
$0,05 < P \leq 0,10$	"	assez cohérents (A. C.)
$0,10 < P \leq 0,25$	"	de cohérence douteuse (C. D.)
$P > 0,25$	non cohérents	(N. C.)

Cette règle conduit au tableau de correspondance ci-après :

		Nombre de réponses n, complètes												
Nombre de réponses non cohérentes	Nombre de réponses cohérentes	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	n	CD	CD	AC	C	C	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC
1	n-1	-	-	-	CD	CD	AC	C	C	C	TC	TC	TC	TC
2	n-2	-	-	-	-	-	-	CD	CD	AC	C	C	C	C
3	n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CD	AC	AC	C
4	n-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CD	CD

Le classement des sujets d'après les ex-aequo et la cohérence est le suivant :

Classement des sujets

Expérience G

Ex-aequo \ Cohérence	TC	C	AC	CD	NC	Total
	TC	C	AC	CD	NC	Total
F	1	-	-	1	6	8
M	-	-	-	5	23	28
E	-	-	1	2	4	7
Total	1	-	1	8	33	43

Expérience F

Ex-aequo \ Cohérence	TC	C	AC	CD	NC	Total
	TC	C	AC	CD	NC	Total
F	-	-	-	1	7	8
M	-	2	1	3	18	24
E	-	-	-	-	3	3
Total	-	2	1	4	28	35

Dans l'ensemble, les sujets pris individuellement ne sont pas cohérents dans leurs comparaisons. Mais les résultats concernant les groupes G et F sont cohérents quant au classement des fragments (les triades de Kendall n'apparaissent pas incohérentes). Nous verrons ce qu'il faut en penser dans l'interprétation psychologique.

III - COMPARAISON DES METHODES STATISTIQUES ET SYNTHESE DES RESULTATS

A - Méthode des matrices de Kendall

Le rassemblement des résultats dans la "matrice des notes" est immédiat. Il donne très simplement, par les scores S1 un classement des fragments. Mais ce classement n'est pas susceptible d'une interprétation statistique.

Le calcul des "scores améliorés" S2, S3, qui ne demande que des calculs élémentaires, est séduisant, mais nous paraît peu adapté au contexte expérimental présenté ici. Comme le rappelle Vessereau à la suite de Gridgeman : "Si l'on considère que les produits (ici les fragments musicaux) peuvent être caractérisés par des paramètres susceptibles d'une interprétation probabiliste, la matrice initiale constitue un échantillon "au hasard" des matrices susceptibles d'apparaître par répétition des épreuves, et il n'y a pas de raison de chercher à l'améliorer par telle ou telle manipulation des données" (1).

A vrai dire, Kendall propose, par sa méthode de sommation des scores, une possibilité de correction, souvent souhaitable, des anomalies du classement initial : par exemple, dans l'expérience G, la comparaison A-F donne dans les deux ordres d'audition un résultat en faveur de A. Or, dans le classement G-D, F arrive en tête ; autrement dit l'ordre ne reflète pas la comparaison A-F. Mais dans le cas d'objets esthétiques, où la comparaison entraîne toujours une certaine modification du sens des termes comparés, le classement d'un fragment musical traduit l'effet moyen de toutes les comparaisons où il est engagé, et non l'effet particulier d'une comparaison. Ainsi F peut se trouver désavantagé par rapport à A dans la comparaison A-F, mais être beaucoup plus favorisé que A dans les autres comparaisons avec B, C, D et E. Autrement dit, chaque comparaison constitue pour les fragments entre lesquels elle a lieu un contexte qui peut modifier momentanément le sens de l'un ou de l'autre ; et nous verrons que pour cette raison certaines comparaisons ne se sont faites que partiellement à cause d'assimilations perceptives dues à la nature même des deux fragments particuliers mis en présence. D'ailleurs l'analyse de la variance montre que l'effet de comparaison ne se répartit pas de façon égale sur les 15 paires, et modifier le classement reviendrait à ne juger chaque fragment qu'à travers les effets particuliers à chaque comparaison et non à le situer globalement par rapport aux autres.

D'autre part, les scores de Kendall ne donnent qu'un classement, et on doit se garder de les interpréter comme des mesures du "degré d'achèvement" des fragments, c'est-à-dire de la prégnance des différentes formules cadentielles. Les valeurs obtenues pour les scores deviennent de plus en plus élevées lorsqu'on poursuit les réarrangements

(1) VESSEREAU (A.) [19] p. 31-32 et [7], On consultera également [1]

successifs, et il devient nécessaire, si on veut malgré tout les comparer, de les ramener à une même échelle.

Par contre la méthode de Kendall permet, par une représentation polygonale très simple, et par l'intermédiaire des "triades" de repérer les "incohérences" du classement.

B - Ecart normal

La transformation de la matrice des notes de Kendall en matrice des "écarts normaux", demande quelques calculs et l'aide d'une table de la loi normale.

Elle a l'avantage de transformer les rangs de classement en mesures (supposant la validité du modèle utilisé). Mais ces mesures ne sont pas susceptibles d'une interprétation statistique directe.

C - Analyse de la variance

On a proposé deux méthodes d'analyse statistique des résultats (analyse de variance) :

- l'une utilise les écarts normaux

- l'autre part de la matrice des proportions (résultant de la matrice des notes de Kendall) les proportions p étant ensuite transformées selon $z = \arcsin \sqrt{p}$.

Dans les deux méthodes on interprète l'ensemble des résultats "ordre direct" et "ordre inverse" (pour une même catégorie de sujets, garçons ou filles), ce qui permet entre autres, d'effectuer des tests sur l'influence de l'ordre d'audition des thèmes.

Dans la première méthode, on fait l'hypothèse que si l'ordre a une influence, celle-ci est la même pour toutes les comparaisons ; les écarts constatés par rapport à cette hypothèse sont considérés comme ayant un caractère aléatoire ; ils contribuent à former dans l'équation d'analyse de la variance la "somme des carrés résiduelle" (ou interaction ordre comparaisons) qui permet de tester :

- l'effet moyen de l'ordre d'audition

- l'existence de différences entre les comparaisons des fragments

Dans la 2e méthode, la variance de chaque valeur $x = \arcsin \sqrt{p}$ est prise égale à $1/4 N$ (N étant le nombre de sujets). Il est alors possible de tester, non seulement les deux effets précédents, mais en plus l'existence d'une interaction éventuelle entre ordre et comparaisons.

Dans les deux méthodes, on peut calculer la précision (écart-type) de la mesure retenue pour chaque fragment, et par suite définir les formules cadentiellles qui diffèrent de façon significative par leur prégnance.

On retiendra que la deuxième méthode est la plus riche d'information.

D - Indécision et interversions dans le classement des thèmes

Les statistiques simples décrites aux § II-E apportent un complément d'information sur le classement des fragments.

E - Comparaison des sujets

Il s'agit là encore de statistiques simples (§ II-F), permettant d'aborder un autre problème : celui de l'aptitude des enfants à distinguer les fragments musicaux, présentés dans l'expérience.

F - Synthèse des résultats

De l'ensemble de ces analyses statistiques, on retiendra les faits suivants :

1/ Le classement des formules cadentielles n'est pas continu : des différences significatives apparaissent entre elles

2/ Les deux demi-cadences B et C sont toujours significativement rejetées par les garçons et par les filles : elles n'ont donc pas pour eux un sens conclusif. La demi-cadence C (à mélodie cadentielle) précède toujours B dans le classement. L'influence de la mélodie est donc nette, puisque les deux formules ne diffèrent que par la mélodie.

3/ On note dans les sous-expériences (G-D, G-I, F-D, F-I) d'importantes fluctuations du rang de D, une plus grande constance du rang de E.

On synthétisera ces trois résultats dans les tableaux suivants :

Classements

Garçons	Ordre direct (D)		Ordre inverse (I)		(D + I)	
	S1	E. N	S1	E. N	S1	E. N
	F	+4,49	A	+5,38	A	+3,38
	A	+3,77	F	+2,26	F	+4,99
	E	+1,68	D	+0,45	D	+0,39
	D	-0,77	E	-0,84	E	-0,39
	C	-3,64	C	-2,63	C	-3,34
	B	-5,51	B	-4,62	B	-5,01

Filles	F	+4,73	A	+6,43	A	+5,02
	E	+2,20	E	-0,36	F	+1,54
	A	+1,65	D	-0,50	E	+0,88
	D	+0,67	C	-0,93	D	+0,02
	C	-3,97	F	-1,07	C	-2,49
	B	-5,27	B	-3,57	B	-4,97

S1 = classement suivant les scores S1 (matrices de Kendall)
E. N = écarts normaux (moyenne 0, étendue égale à 10).

Significativité des classements (ensemble des deux ordres)

Garçons (1)			Filles(1)		
1	{ A	+4,97	1	{ A	+3,95
	{ F	+3,21		{ F	+3,73
2	{ D	+0,04		{ E	+1,83
	{ E	+0,01		{ D	+0,40
3	{ C	-3,17	2	{ C	-3,86
	{ B	-5,04		{ B	-6,05

(1) les notes résultent de la transformation $x = \arcsin \sqrt{p}$

4/ D'une façon générale, l'effet de l'ordre est significatif. Mais tandis que chez les filles cet effet est également réparti sur toutes les paires, il diffère significativement d'une paire à l'autre chez les garçons. (Cf. Tableaux X, p. 46)

5/ L'analyse de cohérence révèle que l'ensemble des jugements est cohérent, mais tend à confirmer les fluctuations de D dans le classement. On trouve en effet le tableau suivant :

	Garçons			Filles		
	D	I	D+I	D	I	D+I
Triades cohérentes	12	20	16	20	18	16
" indifférentes	8	0	4	0	0	4
" non cohérentes	0	0	0	0	2	0
Total	20	20	20	20	20	20

Dans (G D+I) on relève 4 triades indifférentes dues à l'égalité de D et de E

Dans (F D+I) on relève 4 triades indifférentes dues à l'égalité de D et de C.

6/ L'analyse des ex-aequo (jugements d'équivalence des fragments impliqués dans une paire) indique que ce sont D et E (cadences rompues aux IV° et VI° degrés) qui donnent les plus grandes proportions d'ex-aequo. (Cf. Tableaux XII, p. 30)

7/ De la même manière, ce sont ces fragments qui donnent la plus petite proportion de réponses complètes. (Cf. Tableaux XIII, p. 31)

8/ Le classement des sujets en fonction du nombre d'ex-aequo et de la cohérence de leur classement (maintien du même classement dans les deux ordres d'audition) montre que la plupart des sujets sont sensibles à l'effet de l'ordre.

IV - INTERPRETATION PSYCHOLOGIQUE

L'interprétation psychologique des résultats que nous venons de présenter portera sur quatre points.

A - Distinction perceptive entre tonique et dominante

Il est clair que dans l'ensemble les sujets ont parfaitement distingué les deux demi-cadences B et C des autres formules cadentielles, puisqu'ils les ont significativement considérées comme inachevées. Ce résultat n'a rien apparemment pour nous surprendre : il est conforme aux règles de la syntaxe tonale classique, telle que nous l'avons décrite en commençant cet essai, à travers l'exemple de l'Ode à la Joie. Les demi-cadences B et C s'achèvent sur un accord de dominante et cet accord appelle normalement sa résolution sur un accord de tonique ; dominante et tonique sont les degrés préférentiels du système classique, et ils sont hiérarchisés, le premier appelant nécessairement le second. Les sujets ont donc perçu cette hiérarchie au sein des formules cadentielles, cellules premières des phrases musicales. On peut donc dire que la perception musicale de l'enfant de 10 ans s'articule sur les degrés préférentiels du système qui lui est expérimentalement soumis.

Toutefois, une question vient à l'esprit : si l'enfant de 10 ans saisit intuitivement la relation dominante - tonique - qui n'est d'ailleurs pas la seule relation explicitée dans la syntaxe tonale -, en est-il de même pour un enfant de 6 ans ou un enfant de 8 ans ? La présente expérience ne pouvait être conduite avec des sujets plus jeunes à cause de sa longueur, mais nous avons néanmoins pu montrer, dans une présentation simple de fragments musicaux du type de ceux proposés ici, que l'enfant de 8 ans, s'il reconnaît les degrés de tonique et de dominante, hésite encore beaucoup sur le sens à donner à la dominante ; qu'entre 6 et 8 ans, ces mêmes degrés sont reconnus mais nullement hiérarchisés, et qu'à 6 ans l'enfant ne les distingue pas de l'ensemble sonore qui lui est proposé (à la limite, tout fragment, quelle que soit sa fin, lui paraît achevé) (1). Ces résultats montrent avec clarté place qu'il faut donner à l'articulation dominante - tonique dans le développement perceptif musical de l'enfant. La distinction perceptive que nous révèle la présente expérience n'est en fait que l'aboutissement d'une maturation lente et progressive, caractérisée par une adéquation toujours meilleure des mécanismes perceptifs individuels aux formes musicales perçues. C'est ce qu'on pourrait appeler, en reprenant l'un des thèmes chers à Piaget, l'équilibration progressive, par le jeu complexe des assimilations et des accommodations, des structures d'échanges entre le sujet percevant et le monde musical perçu.

La différenciation dominante - tonique s'inscrit donc dans une hypothèse génétique que nous retrouverons au plan de la perception des relations entre harmonie et mélodie.

B - Le rôle de la mélodie dans la perception des cadences

Le second fait livré par l'expérience est l'influence de la mélodie sur la perception du sens des cadences. Cette influence s'exerce dans deux directions apparemment opposées et contradictoires : dans le cas de A, D, E et F, elle tend à faciliter l'assimilation des quatre formes entre elles, qui prennent, à des degrés divers, la même signification d'achèvement ; dans le cas de B et C, elle tend à les différencier, C précédant toujours B dans le classement. On pourrait bien sûr invoquer l'identité de la mélodie dans les formes A, D et E, les mélodies différentes dans les formes B et C. Mais outre qu'il resterait à expliquer

(1) Cf. notre ouvrage [9].

l'équivalence de A et de F (respectivement cadence parfaite et cadence modale), dont les mélodies ne sont pas identiques, il faudrait savoir pourquoi l'identité d'harmonie entre B et C, les différences d'harmonie entre A, D, E et F ne produisent pas des effets similaires, en sens opposé. En réalité, cette influence mélodique prépondérante indique clairement quelles fonctions sont remplies respectivement par la mélodie et l'harmonie dans l'ensemble sonore : la mélodie est perçue comme figure, tandis que l'harmonie est perçue comme fond, la figure déterminant le sens du fond tout en le rejetant à l'arrière plan, le donnant à la perception comme un tout indifférencié, simple lieu d'existence de la figure. Ce fond harmonique n'est qu'accompagnement, mais n'a pas pour les sujets de spécificité propre. Cette structuration est particulièrement nette dans l'expérience où, en toute rigueur tonale, F, D et E eussent dû engendrer un sentiment d'inachèvement marqué. Mais les jugements que les sujets ont porté sur l'ensemble mélodie-harmonie ont traduit le sentiment d'achèvement que pouvait donner la mélodie seule, privée de son fond harmonique, avec mouvement descendant pour F, avec finale sur la note tonique en D et E.

Nous touchons là un aspect fondamental de la perception musicale chez l'enfant : cette perception est d'abord mélodique. Elle s'applique à suivre le déroulement linéaire de la mélodie avant de saisir l'organisation harmonique sous-jacente, et nous avons pu montrer, dans des recherches sur la perception des consonances, que de trois versions harmonisées d'une même mélodie, c'est la plus simple, la moins recherchée qui est préférée des sujets parce que l'harmonie reste entièrement soumise à la mélodie⁽¹⁾.

Mais en réalité, l'organisation en figure et fond du champ perceptif n'est pas une donnée première, elle n'est que la conséquence de ce que Piaget appelle "la structure probabiliste des lois perceptives" (2). L'équilibre structurel que les Psychologues de la Forme appellent la "bonne forme" n'est pas l'effet de la prépondérance de certains éléments au sein de la totalité, mais cette prépondérance découle directement de la structuration imposée par les mécanismes perceptifs. Ou si l'on préfère, les rapports entretenus par la figure et le fond ne sont pas déterminés par les fonctions respectives de chacun d'eux au sein de l'ensemble, mais par l'activité perceptive du sujet. Car celle-ci, comme le note justement Piaget, n'effectue pas toutes les centrations (ou fixations) possibles par lesquelles un objet ou une forme est théoriquement appréhendé, mais seulement quelques unes qui organisent l'ensemble perçu. Tout se passe comme si la perception se contentait d'approches "statistiques" du réel, ne retenant que certains éléments et négligeant les autres ; de sorte qu'elle privilégie dans chaque accord la note la plus aisément repérable (la plus élevée), et l'ensemble de ces notes prend le sens de figure mélodique. Dès lors, l'harmonie ne joue plus aucun rôle dans les assimilations : c'est ainsi que pour F, les centrations ayant été plus nombreuses sur la mélodie que sur l'harmonie, la structuration modale a été favorisée, et l'harmonie tonale est restée sans effet sur la perception des sujets. Pour que l'harmonie fût perçue, pour qu'elle ait eu une influence déterminante sur le sens de la cadence, il aurait fallu que l'activité perceptive opère une décentration entre mélodie et harmonie, c'est-à-dire

(1) Cf. notre ouvrage déjà cité, [9] chap. V

(2) Cf. PIAGET (J.) [13] Chap. II

que l'effet des centrations ait été compensé par des trajets plus souples entre la figure et le fond.

En définitive, la mélodie joue un rôle déterminant dans la perception du sens des cadences, et les assimilations de formes notées dans l'expérience présente procèdent de cette "suraudition" mélodique.

C - Equivalences perceptives et perception de l'harmonie

Ces assimilations de formes (en particulier des quatre cadences A, F, E et D) ne se font pas au niveau de la structure, mais au niveau de la signification. Ce qu'en définitive révèle cette expérience, c'est leur caractère fonctionnel ; en effet, A, F, D et E ne sont pas rigoureusement équivalentes dans les classements terminaux - surtout chez les garçons. Mais la méthode de comparaison par paires a permis le contrôle efficace des effets d'ordre et de comparaison pour chaque paire tout au long de l'expérience. Nous avons noté en effet que les écarts entre comparaisons pour chaque paire, sont toujours significatifs ; en outre, les écarts entre ordres, c'est-à-dire les effets de l'ordre d'une comparaison à l'autre sont significatifs chez les garçons (chez les filles, l'absence de significativité vient de ce que les résultats sont moins différenciés)⁽¹⁾. Qu'est-ce à dire, sinon que, dans le premier cas, certaines paires ont donné lieu à un grand nombre de jugements d'équivalence, ou que les jugements en faveur de l'un ou de l'autre des fragments de la paires se sont répartis plus également que dans les autres paires (effet de comparaison faible) ; sinon que, dans le second cas, l'effet de l'ordre a été plus marqué dans les comparaisons où les jugements étaient plus indécis ? Or toutes les paires pour lesquelles nous avons relevé des inversions ou des ex-aequo sont des paires qui comprennent D ou E.

L'examen des scores pour chaque sous-expérience le montre clairement : dans presque tous les cas⁽²⁾ la faiblesse de l'effet de comparaison (scores égaux pour chaque fragment de la paire ou peu distants l'un de l'autre) ne se manifeste que dans les comparaisons où D et E sont impliqués avec A ou F. Autrement dit, l'effet de comparaison a toujours été très marqué (et l'effet de l'ordre minime) chaque fois que B ou C étaient présentés avec l'un quelconque des autres fragments. La classement final suggère que A et F, cadence parfaite et cadence "modale", ont la même signification et jouent le même rôle dans les comparaisons par paires. D et E ont aussi la même signification (celle d'achèvement), mais ne sont pas équivalentes à la cadence parfaite. Ou plutôt, elles sont bien assimilées à une terminaison sur un 1^{er} degré, puisqu'elles sont préférées aux demi-cadences, mais la cadence parfaite leur est préférée lorsqu'elle est comparée à elles.

Ainsi, A, F, E et D ont bien fonction de cadence parfaite - achèvent la phrase musicale - et sont assimilées en tant que formes fonctionnellement équivalentes. Mais dans le cas des deux dernières (D et E), les résultats statistiques montrent en outre que le nombre des jugements d'équivalence (ex-aequo) est beaucoup plus important que pour les autres cadences, et d'importantes fluctuations de rang de classement, ainsi que

(1) Cf. Tableaux d'analyse de la variance, Tableaux X, p. 46

(2) Afin de ne pas alourdir le texte, nous nous contentons de renvoyer le lecteur aux matrices de Kendall (p. 33), où l'on compare, pour une paire telle que AB, les scores de A et de B. Deux cas paraissent douteux : A = B (GD) et F C (FI).

des incohérences apparaissent pour D d'une sous-expérience à l'autre. Il faut donc admettre que dans ces cas, l'harmonie a été ressentie par les sujets, sans influencer cependant sur le sens conclusif qu'ils ont attribué aux fragments (si l'harmonie avait influé sur le sens des cadences, des comparaisons telles que BD ou BE eussent abouti au rejet des deux formules⁽¹⁾). L'harmonie est donc perçue, mais "en retour", derrière la mélodie, à travers elle, non comme élément constitutif de la forme. Elle est une sorte de double de la mélodie, plus ou moins ajusté, et ses rapports avec elle ne sont pas spécifiques. On pourrait voir dans le cas de D et E une amorce de décentration perceptive entre la figure et le fond, qui rendrait aux formes mises en cause une part de leur originalité. Mais ce phénomène reste à 10 ans encore peu net, et seul le sentiment vague et confus apparaît, que n'importe quelle mélodie ne peut être liée à n'importe quelle harmonie. Il n'y a pas en fait de dissociation réelle entre les deux plans, il n'y a pas de perception de l'harmonie proprement dite même à cet âge. L'harmonie modifie seulement la structuration perceptive de l'ensemble, nuance le sens de la mélodie, mais n'est pas comprise comme fondement de la syntaxe tonale.

D - Assimilation et accommodations : la genèse du schème cadentiel

Il faut maintenant chercher un lien entre ces trois faits : différenciation dominante - tonique à 10 ans, prépondérance de la mélodie dans la perception des formes cadentielles, assimilations fonctionnelles dues à cette prépondérance. Or rappelons-nous que la différenciation dominante-tonique n'est que l'aboutissement d'une lente maturation, que jusqu'à 8 ans demi-cadence et cadence parfaite ont même signification pour les sujets, celle d'achèvement de la phrase musicale. Il est donc clair que le processus d'assimilation fonctionnelle que nous venons de décrire au niveau de la perception des rapports entre harmonie et mélodie, s'exerce également au niveau de la perception de l'articulation syntactique.

En effet, la fin de la phrase est signifiée à 8 ans par des formules très différentes qui n'ont en commun ni mélodie, ni harmonie, mais seulement la prégnance (d'origine culturelle) de leur degré terminal : tonique pour la cadence parfaite, dominante pour la demi-cadence. C'est donc cette prégnance, émotionnellement ressentie, qui devient l'unique critère de l'achèvement, et sur elle, le canevas d'une conduit perceptive est constitué. Dès lors, toute forme suscitant sensation de force ou d'équilibre, se détachant du continuum sonore d'une manière quelconque, est interprétée comme faisant "fonction de finale". A 6 ans, le phénomène est encore plus marqué, puisqu'un simple appui rythmique sur n'importe quel degré suffit à engendrer le sentiment d'achèvement chez les sujets. Le canevas de conduite perceptive qui se constitue à partir d'une telle motivation est un schème d'activité perceptive, et nous l'appellerons schème cadentiel.

Ainsi, toutes les assimilations liées à une identité de signification sont des assimilations à un même schème d'ensemble, et c'est un tel schème que nous observons à l'oeuvre dans les assimilations à la cadence parfaite des formes F, D et E, à 10 ans. Il en est de même à 8 ans, où, en tant que formes équivalentes de la cadence à sens conclusif, toutes

 (1) Cette remarque prend tout son sens si l'on se souvient d'une autre remarque faite plus haut (p. 31) : les réponses demandées aux sujets étaient des réponses d'identification, non des réponses de préférence.

les formules cadentielles sur dominante ou sur tonique sont assimilées au schème cadentiel.

Il faut donc admettre l'existence d'un tel schème, il faut aussi en décrire la genèse par un processus inverse de celui de l'assimilation. On sait que cet ajustement des schèmes au monde extérieur sur lequel s'exerce l'activité propre du sujet est décrit par Piaget sous le nom d'accommodation. L'accommodation consiste ici en une différenciation de plus en plus fine des formes d'abord confondues sous une même signification. Tout se passe comme si les formes assimilables au schème cadentiel étaient d'abord très nombreuses, le schème étant lui-même très flou à 6 ans ; puis comme si, ce schème se modifiant sous la pression des formes perçues et initialement assimilées, à 8 ans, seules les formes cadentielles sur tonique et sur dominante étaient conclusives ; comme si à 10 ans enfin, seules les formes cadentielles à mélodie conclusives sur tonique étaient retenues comme ponctuation finale de la phrase musicale. Ce processus accommodateur consiste donc en une modification systématique de la structure du schème, en vue d'une meilleure adaptation perceptive du sujet à l'objet qu'il perçoit.

Or nous avons vu que les assimilations ont leur source dans la suraudition mélodique. De la même manière, entre 6 et 8 ans, il faut, pour qu'une cadence soit conclusive, que la mélodie soit terminée indifféremment sur une tonique ou sur une dominante ; à 10 ans, il faut qu'elle soit terminée sur une tonique uniquement. Ainsi, à un stade donné, tant que les mélodies sont conclusives et de forme identique ou voisine, il n'y a pas de perception propre de l'harmonie, la mélodie étant le signe de l'identité des formes. Mais lorsqu'une mélodie paraît au sujet radicalement différente de celles jugées jusqu'ici conclusives, cette nouveauté entraîne une reconnaissance de la forme tout entière, et de même que la mélodie conclusive était le signe d'une harmonie conclusive, de même, la mélodie non conclusive devient le signe d'une harmonie non conclusive. En effet, dans les demi-cadences B et C, l'élément absent (présent dans les formes équivalentes assimilées au schème cadentiel à 10 ans) est la tonique mélodique. Si bien qu'en l'absence d'une forme mélodique reconnaissable et assimilable au schème cadentiel, la mélodie devient en quelque sorte un "indice de différenciation" (Piaget) qui permet alors de reconnaître la spécificité du degré de dominante. Celui-ci devient le degré sur lequel il est impossible de mettre une mélodie qui soit achevée, et la demi-cadence appelle dès lors une résolution sur le I^{er} degré. Cette réduction du domaine d'assimilation du schème cadentiel est le corollaire d'une accommodation de ce schème aux structures du système tonal classique, accommodation qui traduit un phénomène évident d'acculturation.

Conclusion

Or ce que représente cette décentration entre dominante et tonique, c'est avant tout une orientation temporelle de la perception telle qu'après la dominante l'oreille attend la tonique comme aboutissement nécessaire et logique de la phrase musicale. A 10 ans, semble être reconnue, quoiqu'encore intuitivement, la relation syntactique de base du langage tonal telle que nous l'avons présentée à travers l'exemple de l'Ode à la Joie. S'il est clair que cette hiérarchisation des I^{er} et V^{er} degrés n'est possible que parce que l'activité perceptive de l'enfant est parvenue à une mobilité suffisante, il est clair également que cette décentration traduit aussi un apprentissage du phénomène culturel de la tonalité. L'âge de

10 ans semble bien le niveau d'adéquation de la perception musicale de l'enfant au système tonal classique. Comme le note J. Chailley, le sujet est alors "perméable aux enchaînements syntactiques d'accords normaux"(1) d'orientation générale dominante - tonique. Ceci explique d'ailleurs le rôle déterminant de la mélodie dans l'apparition de cette relation sur le plan psychologique. Outre le fait que les centrations perceptives sont plus nombreuses sur la mélodie que sur l'harmonie qui l'accompagne, la mélodie, parce qu'elle est succession de sons, fournit le prétexte le plus immédiat à cette orientation. Il y a une sorte d'adéquation originaire entre la structure tonale (en tant que celle-ci impose la nécessité d'une succession ordonnée de certains degrés) et l'essence de la mélodie qui est, comme eût dit Bergson, "durée". L'harmonie au contraire suppose une perception "verticale", calquée sur l'espace et qui n'est naturellement pas celle que propose la mélodie et que suggère l'organisation syntactique des degrés du système tonal. En tant que telle, l'harmonie n'est pas perçue et elle apparaît comme une "mélodie" d'accords, très confusément sentie, dont la seule règle est celle que lui édicte la mélodie. Si bien que la compréhension de l'harmonie suppose la compréhension de la mélodie, et la décentration observée entre dominante et tonique est d'abord mélodique parce que d'ordre temporel. Et toute la pensée musicale de l'enfant consiste à passer de la perception d'un temps musical fait d'instants hétérogènes, extérieurs les uns aux autres, dont l'appréhension consiste en autant de centrations qu'il y a d'instants dans la mélodie, à l'organisation d'une durée homogène dans laquelle les événements musicaux, mis en relation, deviennent de véritables "symboles temporels" (Francès)(2). A ce moment, comme le note Fraisse sur un plan plus général, "l'enfant devient capable de passer d'une intuition à l'autre dans une composition réversible qui implique la compréhension des rapports entre la sériation des événements et leurs durées". (3) Autrement dit, l'activité perceptive laisserait place peu à peu à la réversibilité des structures opératoires de l'intelligence. Mais Fraisse situe ce passage à l'âge scolaire, entre 7 et 8 ans. Or pour nous, la compréhension du premier rapport tonal se situe à 10 ans.

Il y aurait donc un certain retard de la perception musicale par rapport à l'évolution mentale en général. Le classement des sujets(4) montre que dans l'ensemble l'expérience est restée difficile pour eux, bien que les résultats du groupe soient cohérents. Cette cohérence manifeste la validité des résultats obtenus et permet d'attribuer l'incohérence individuelle, au mode encore élémentaire dont l'enfant perçoit la musique. Ce retard de la perception musicale est imputable, croyons-nous, au fait que l'enfant n'est jamais en contact avec la musique, comme il l'est avec le monde des images et du mouvement physique. "Si le début de la scolarité proprement dite marque un tournant décisif dans le développement mental"(5), on pressent ici le gros handicap que représente l'absence d'éducation musicale dans l'enseignement primaire, ou le peu de temps qui lui est consacré. C'est cette déficience que l'on souhaiterait un jour voir comblée.

(1) Chailley (J.) [2] p. 46

(2) Francès (R.) [5] p. 181

(3) Fraisse (P.) [4] p. 264

(4) Cf. ci-dessus p. 32-33

(5) Piaget (J.) Le développement mental IN Six Etudes de Psychologie, Genève Gonthier, 1964

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BLISS C.I., GREENWOOD M.L. and WHITE E.S. - Biometrics, 1956, XII, 381-402.
- [2] CHAILLEY J. - Niveaux psychologiques dans l'assimilation du langage musical. Festschrift Walter Wiora, Barenreiter, 1967, 46
- [3] FRAISSE P. - Les structures rythmiques, Paris, Erasme, 1956.
- [4] FRAISSE P. - Psychologie du Temps, Paris, Presses Universitaires de France, 1957.
- [5] FRANCÈS R. - La perception de la musique, Paris, Vrin, 1958.
- [6] FRANCÈS R. - Psychologie de l'Esthétique, Paris, Presses Universitaires de France, 1967.
- [7] GRIDGEMAN N.T. - Biometrics, 1963, XIX, 213-227.
- [8] HALD A. - Statistical Tables and Formulas, London, J. Vibey & Sons.
- [9] IMBERTY M. - L'Acquisition des Structures Tonales chez l'Enfant, Paris, Klincksieck, (sous presses)
- [10] KENDALL M.G. - Rank correlation methods, London, Griffin, 1955
- [11] KENDALL M.G. - Biometrics, 1955, XI, 43-62.
- [12] MOSTELLER F. - Psychometrika, 1951, XVI, 3-9 et 203-218.
- [13] PIAGET J. - La Psychologie de l'Intelligence, Paris, A. Colin, 1967, 5^e éd.
- [14] PIAGET J. - Le rôle de la notion d'équilibre dans l'explication en psychologie. Acta Psychol., 1959, in Six études de Psychologie, Gonthier, Genève, 1964.
- [15] THURSTONE L.L. - A law of comparative judgment, Psychol. Rev., 1927, XXXIV, 273-286.
- [16] THURSTONE L.L. - The effects of selection in Factor Analysis, Psychometrika, 1945, X, 165-198.
- [17] VALENTINE C.W. - The experimental psychology of beauty, London, Methuen Coldt, 1962.
- [18] VESSEREAU A. - Methodes statistiques en Biologie et en Agronomie, Paris, J.B. Baillière, 1960.
- [19] VESSEREAU A. - Les méthodes statistiques appliquées au test des caractères organoleptiques, Rev. Stat. Appl., 1965, XIII, n° 3, 7-38.