

Congrès : "fisica, musica, matematica"- Locarno, 1999
Conférence plénière -Jeudi 4/11/1999

HAUTEUR ET TIMBRE DES SONS MUSICAUX

MICHÈLE CASTELLENGO

Résumé

Dans l'univers des sons complexes de la musique, la seule mesure de la fréquence ne correspond que rarement à la sensation de hauteur. La composition spectrale des sons, leur situation dans la tessiture - grave ou aiguë - et le degré d'inharmonicité interviennent à divers titres et doivent être pris en compte pour éclairer bien des paradoxes de l'accordage des instruments de musique. Quant au timbre musical, les plus récentes recherches attestent qu'on doit aborder l'étude de cette notion sous un double aspect; d'une part les caractéristiques acoustiques - transitoires, spectre- qui caractérisent une source donnée parmi d'autres et nous permettent de la reconnaître; d'autre part les spécificités sonores sur la base desquelles nous pouvons qualifier les sons en termes de "couleurs timbrales". Le déroulement de la conférence s'appuiera sur un grand nombre d'exemples sonores.

1 - UNE ACOUSTIQUE DES SONS RÉELS

1.1 LE SON ET LA MUSIQUE

Si la musique se définit par l'ensemble des règles qui régissent l'agencement successif et simultané des sons pris dans leurs proportions de hauteur, de durée, de sonorité, le son est, in fine, le support matériel de la musique. A l'époque médiévale, les savants théorisent la "musica", discipline spéculative enseignée aux côtés de l'arithmétique, la géométrie et l'astronomie, alors que les exécutants, confrontés à la réalité matérielle des instruments de musique produisent le "cantus", nécessairement imparfait, entaché "d'erreurs " aux yeux des premiers. Il en perdure, aujourd'hui encore, l'idée que des rapports numériques entiers sont plus "vrais" ou plus "parfaits" que telle mesure d'intervalle mesurée dans le signal musical joué.

Le renouveau de l'acoustique musicale et l'intérêt que cette matière trouve aujourd'hui auprès des musiciens tient au fait que nous pouvons maintenant expérimenter sur les sons complexes produits par les instruments de musique, et que nous commençons à bien connaître les ressorts de la perception auditive.

1.2 DE LA MUSICA À L'ACOUSTIQUE

L'étude du son comme phénomène physique se développe au 17^{ème} siècle avec Mersenne (1636) et donne lieu, avec les efforts de Sauveur (1701) au premier étalon objectif de mesure du son musical : l'échomètre. Cette règle, présentée à l'Académie des Sciences, permet de trouver un son fixe de référence, un tempo et les proportions des intervalles de plusieurs systèmes d'accordage. Mais elle reste confinée dans le cabinet des curiosités.

Il faut attendre le début du 19^{ème} siècle, la sirène de Cagniard de Latour, les expériences de H. von Helmholtz pour voir s'établir les relations physiques entre la hauteur des sons et le nombre des vibrations sonores, l'intensité des sons et l'amplitude du mouvement vibratoire, la sonorité (timbre musical) et la composition harmonique du mouvement. Précisons que seule l'étude de sons stables, périodiques, est possible. La matérialisation du son : flammes, tracés de noir de fumée, et enfin la gravure d'une cire donnent la possibilité d'observer le tracé complexe des sons de parole, des bruits. Le son devient un "objet" d'étude scientifique qu'on capte, qu'on observe, qu'on mesure. Avec le développement au 20^{ème} siècle des équipements électroacoustiques d'enregistrement et d'analyse du son et de la synthèse analogique puis numérique, l'acousticien peut enfin faire le lien entre le matériau de la musique et sa perception par les auditeurs.

1.3 MISE EN GARDE : DU SIMPLE AU COMPLEXE , PEUT-ON DIVISER LES DIFFICULTÉS ?

Les premiers expérimentateurs de la perception sonore, sont des ingénieurs électriciens disposant de générateurs de sons stables. La perception de la hauteur et de l'intensité sont étudiées au moyen de sons purs. On pose que le timbre est ce qui différencie deux sons de même hauteur et de même intensité.

Cette approche paramétrique, psychophysique, qui assimile l'auditeur à un récepteur que l'on teste sur chacune des dimensions d'un signal bien défini : le son périodique, pose comme hypothèse implicite que la perception de sons plus complexes s'explique par l'accumulation des résultats obtenus avec des sons élémentaires.

La psychophysique fournit actuellement l'essentiel des données sur la perception humaine que l'on trouve dans les manuels de psychologie expérimentale et a permis en outre de mettre en oeuvre d'importants algorithmes de réduction pour l'enregistrement des données sonores. Elle ne donne pourtant qu'une information très partielle sur la perception des sons musicaux qui mettent en jeu des niveaux cognitifs beaucoup plus complexes.

A cela deux explications :

1/ le matériau donné à entendre dans les expériences de psychophysique - **le son** - est fort différent de celui que nous entendons dans notre vie quotidienne.

2/ l'auditeur humain est placé dans des situations expérimentales de métrologie auditive, alors que dans la réalité pratique il apprend à reconnaître des sources sonores, à les catégoriser, puis à les différencier qualitativement, les échelles qualitatives ainsi acquises n'ayant de sens que pour une classe de son bien identifiée!

2 - SENSATION DE HAUTEUR ET "TIMBRE" DES SONS

La sensation de hauteur des sons périodiques est assez bien représentée par la fréquence fondamentale. Nous montrerons à l'aide de quelques exemples que cette assertion n'est valide que pour des sons périodiques, de classe timbrale similaire, situés dans une zone de fréquence optimale correspondant pratiquement à la tessiture des voix humaines (hommes et femmes)

2.1 PREMIER PARADOXE : CHERCHEZ L'UNISSON

Écoutons deux sons familiers, l'un vocal, l'autre sifflé, dont la hauteur fondamentale est bien définie. Le son sifflé étant présenté à différentes octaves, il s'agit de réaliser l'unisson entre les deux sons.

Bien que la tâche soit assez aisée pour des musiciens, on note beaucoup d'erreurs dans les résultats. Nous devons donc conclure que, pour ces deux sons, la sensation de hauteur ne se résume pas à l'appréciation de la fréquence.

De fait, comme il s'agit de sons produits par deux sources différentes, l'appariement se fait en tenant compte de l'impression globale aiguë ou grave de chaque son. La voix est émise dans le " haut " de sa tessiture et le sifflet dans le "bas" ce qui trouble l'auditeur, et montre que la reconnaissance des sons l'emporte sur la mesure de la fréquence fondamentale. Il semblerait que l'apprentissage de la hauteur intègre plusieurs dimensions dont le timbre.

2.2 DEUXIÈME PARADOXE: UN SON ET DEUX HAUTEURS

L'expérience porte sur l'audition d'une mélodie jouée au contrebasson, dans son registre grave : entre 30 et 40 Hz. Lorsqu'on fait entendre l'extrait à des musiciens de bon niveau, on constate deux sortes de réponses. Une partie des auditeurs transcrit la mélodie correspondant à la hauteur fondamentale; l'autre partie des auditeurs transcrit une mélodie beaucoup plus aiguë correspondant aux maxima du spectre évoluant entre 200-700 Hz.

La tessiture des sons, proche de la limite de fusion temporelle, et leur composition spectrale : peu d'énergie dans les premiers harmoniques et une enveloppe spectrale avec des formants situés dans la zone d'écoute musicale (de 100 Hz à 1000Hz) expliquent le recours, selon les auditeurs, à un des deux types d'écoute : hauteur tonale ou hauteur spectrale.

Cet effet peut être exploité de façon très frappante pour produire des sons ambigus dont la hauteur monte et descend simultanément....

2.3 DES SONS INHARMONIQUES

Le "modèle harmonique", dont la voix humaine est le représentant le plus ancien et le plus universellement répandu est d'une haute prégnance perceptive. Sur cette base, la musique occidentale a développé une grande diversité de sources sonores aptes à produire des sons entretenus périodiques. La musique utilise tout de même des sons non entretenus. Les structures excitées : corde raide ou tube, produisent des partiels dont les intervalles peuvent avoir quelque analogie avec la série harmonique. De tels sons déclenchent une sensation de hauteur fondamentale, quelquefois difficile à expliquer.

Prenons l'exemple de la cloche tube.

L'instrument donne bien la sensation d'une hauteur musicale mais...dont l'ambiguïté apparaît rapidement dès que l'on s'avise de jouer une mélodie incluant des sons à intervalles distants. On peut expliquer la perception mélodique particulière de ces sons en tenant compte à la fois de la structure spectrale et de la position des fréquences dominantes par rapport à la " zone d'écoute musicale " : de 60 à 1000 Herz environ.

3 - SENSATION DE TIMBRE

La notion de timbre est double. Dans les travaux d'Helmholtz, nécessairement limités à des sons entretenus périodiques, seule la composition spectrale pouvait être prise en compte. Elle permet d'analyser les changements de "sonorité ou couleur sonore", liés aux amplitudes relatives des harmoniques. Bien qu'il s'agisse d'un

élément primordial de l'appréciation des sons, et plus particulièrement des sons musicaux, on sait maintenant que les paramètres acoustiques responsables de l'identification des sons ont une importance déterminante dans la notion de timbre.

3.1 QUALIFIEUR OU IDENTIFICATEUR ?

Donnons à entendre un son méconnaissable avec comme consigne de le qualifier (son clair, rond, riche etc). Les auditeurs sont troublés et leur première préoccupation est de rechercher l'identité du son : quelle source l'a produit ? comment ? De même que l'appréciation d'une couleur ne peut être dissociée du matériau ou de l'objet qui nous la renvoie, il semble bien que la qualification d'une sonorité timbrale n'a de sens que pour des sons s'inscrivant dans une famille reconnue. Cette constatation est confirmée par l'expérience suivante.

3.2 SON " RICHE " DE FLÛTE ET SON " PAUVRE " DE SAXOPHONE

Si nous pouvons produire sur une flûte d'abord, puis sur un saxophone, deux sons ayant le même spectre, le second paraîtra plus " pauvre ". En effet, par la connaissance que nous avons des instruments à anche, nous " attendons " du saxophone un spectre plus riche en harmoniques que pour la flûte. L'appréciation qualitative du timbre, au sens musical de la sonorité, de tous les sons d'un instrument donné, demande une grande expérience. Luthiers et instrumentistes développent ainsi une capacité de différenciation qu'ils savent traduire en termes de la langue mais...qu'eux seuls comprennent. L'acousticien confronté aux analyses spectrales est souvent perplexe d'autant que les termes employés " clair, riche ", n'ont pas le même sens pour des sons d'instruments différents.

3.3 TIMBRE ET HAUTEUR SONORE : DU GRAVE A L'AIGU

Pour un même instrument la sonorité produite dans une nuance d'intensité donnée semble homogène du grave à l'aigu, alors que le contenu spectral et la nature de l'attaque changent considérablement. Selon les types d'instruments les modifications proviennent soit des changements de régime de fonctionnement (vents) soit de variations dans la zone d'excitation de la structure (cordes). Il est troublant de comparer un son grave et un son aigu du même instrument, ramenés à la même fréquence par transposition.

3.4 TIMBRE ET ACCORDAGE DES INSTRUMENTS

Beaucoup de recherches sur l'accordage des instruments de musique ne prennent en compte que la mesure de la fréquence fondamentale et fondent l'étude de l'accord sur des rapports numériques " idéaux " alors que la sensation de hauteur ressentie par

les musiciens prend en compte la qualité timbrale de l'instrument et la tessiture. Renversons la proposition : les échelles mélodiques et les systèmes d'accord que l'on découvre dans les différentes cultures musicales se sont développés en tenant compte implicitement de la structure acoustique des sons. C'est ainsi que les " tempéraments inégaux " ont pu se développer sur des instruments à spectre riche et stable (clavecin, orgue) mais perdent leur intérêt perceptif sur le piano : instrument à cordes multiples et à sons inharmoniques. De façon extrême, les échelles pentatoniques pratiquées sur des xylophones par les musiciens africains, combinent la hauteur spectrale et la couleur sonore.

CONCLUSION

Je ne puis admettre sans réserve la différence que l'on a coutume d'établir entre couleur sonore (timbre) et hauteur sonore. C'est en effet par sa couleur sonore - dont une dimension est la hauteur - que le son se signale. Arnold SCHOENBERG, Traité d'harmonie; (1^oéd.1911)

Cette remarque de Schoenberg trouve bien sa place en conclusion de notre présentation. Pour prétendre rendre compte de la perception humaine en contexte musical, il nous faut pratiquer l'acoustique en expérimentant avec les sons réels. Le chercheur doit maîtriser l'analyse et la synthèse sonore qui lui permettront de bien connaître le matériau SON. Il doit surtout conduire, avec l'aide de psychologues et de linguistes, des expériences de perception qui lui permettront d'identifier les paramètres du son pertinents pour l'auditeur. En situation réelle, tout son est significatif d'un événement qui s'est produit. Le sujet cherche à lui attribuer un sens. C'est l'écoute causale qui intervient en premier. Principalement focalisée sur les premiers événements du son elle nous renseigne sur le mode d'excitation et la réponse de la structure. L'écoute des qualités de sonorité et de hauteur musicale, objet même de l'écoute musicale, fait appel à des processus beaucoup plus complexes qui s'affinent et se développent avec l'expérience musicale.