

**QUELQUES ASPECTS DE LA PERCEPTION DE LA HAUTEUR
ET DU TIMBRE DANS UN CONTEXTE MUSICAL**

Michèle CASTELLENGO

**Laboratoire d'Acoustique Musicale, Université Paris
VI et CNRS, URA 868.
UPMC - Tour 66 - 4, place Jussieu - 75005 Paris**

RESUME

La sensation de hauteur, qui joue un rôle capital dans la musique, fait appel à un ensemble d'attitudes perceptives diverses et complémentaires. Nous en évoquerons les divers aspects à l'aide de plusieurs exemples sonores. C'est ainsi que dans le cas des sons musicaux, riches et complexes, timbre et hauteur sont interdépendants. L'identification de la source joue un rôle dans l'appréciation de la justesse et la composition spectrale interfère avec la sensation de hauteur fondamentale. A propos des sons non périodiques nous évoquerons les rôles du modèle harmonique et de la tessiture d'écoute des sons musicaux. Enfin le cas particulier de la pratique vocale montrera l'importance du contexte temporel ainsi que du contexte musical, pour l'interprétation de la hauteur perçue des sons vibrés.

L'exposé qui suit rassemble un certain nombre de réflexions et d'expériences auditives accumulées au cours de mon expérience de recherche et d'enseignement de l'acoustique musicale. Issues de la réalité musicale, beaucoup d'entre elles sont intrigantes, voire paradoxales au regard des données classiques de la psychoacoustique. Aujourd'hui où les recherches sur la perception auditive sont en plein essor, il semble que la

richesse et la complexité de l'expérience auditive des musiciens doit être prise en compte si l'on veut établir une théorie satisfaisante de la perception. Bien que nous soyons encore loin du compte, quelques éléments nouveaux permettent de mettre un peu de cohérence dans une collection de faits d'apparence hétérogène.

J'ai donc choisi de partir de ces faits sonores et de vous les donner à entendre. Et puisqu'il s'agit de la commémoration du laboratoire d'acoustique de Marseille, permettez-moi de dédier cette conférence à la mémoire de François Canac qui possédait une remarquable écoute musicale, et qui a manifesté en son temps beaucoup d'estime pour les idées d'Emile Leipp.

Le matériau sonore de la musique est d'une grande complexité acoustique, tant sur le plan spectral que dans son évolution temporelle. Les instruments de musique traditionnels, au nombre desquels nous comptons l'appareil vocal, permettent, sur la base de quelques actions musculaires fines et élaborées de produire une très grande variété de sons et de les transformer rapidement. Tous les essais de synthèse ont montré l'importance de la complexité et de la vie temporelle des sons "intéressants" au sens de la théorie de l'information. "C'est donc - dit Mersenne - la variété qui rend le son agréable"

C'est à l'écoute des matériaux sonores naturels et de ceux produits par les instruments que s'est élaborée la perception humaine et que se sont structurées et diversifiées, au cours de la pratique musicale, les notions de timbre et de hauteur dont nous voulons parler plus particulièrement.

Dès les premières heures de la vie, l'enfant plongé dans un monde sonore complexe doit, pour s'y retrouver, faire l'apprentissage du timbre, au sens de l'identification des sources, voix et bruits, auxquelles s'associeront peu à peu des significations diverses. Cette aptitude fondamentale de reconnaissance des formes, qui fait appel à un processus psychologique global et rapide, est la conduite perceptive la plus fréquente et la plus répandue parmi les êtres vivants. Il semblerait même que, le plus souvent, elle précède et conditionne l'appréciation de la hauteur musicale. Prenons quelques exemples.

On sait que le seuil différentiel de hauteur de l'oreille est de l'ordre du 1/25ème de demi-ton, dans la tessiture 200 à 1000 Hz et pour un niveau d'écoute suffisant. Or l'expérience montre que nous sommes capables de mettre en oeuvre cette capacité, ou de

l'occulter selon la source sonore. A l'écoute d'une mélodie jouée sur un violon ou sur une flûte un auditeur peut porter un jugement très fin sur la justesse de jeu. Pourtant l'analyse acoustique révèle un grand nombre de fluctuations de fréquence se produisant au moment du transitoire d'attaque, ou dues à des instabilités diverses (souffle, archet). Celles-ci, identifiées comme étant inhérentes au mode de production du son, sont en quelque sorte ignorées des auditeurs qui n'en font pas état. Le cas le plus extrême est peut-être celui de la voix chantée et plus particulièrement du vibrato. A l'inverse, nous sommes d'une sévérité extrême quand à la régularité de défilement d'un appareil de reproduction de musique d'orgue ou de clavecin où les moindres fluctuations, que nous savons étrangères à la source, sont inacceptables.

Un autre exemple est celui de la mémorisation du diapason. A propos de l'étude de l'aptitude appelée "oreille absolue", beaucoup d'auteurs ont signalé les liens qui existent entre la mémorisation des hauteurs et celle des timbres. On peut observer plusieurs cas de musiciens doués d'oreille absolue et qui, conduits à pratiquer des instruments à des diapasons différents, parviennent assez facilement à changer de référence en fonction du timbre des instruments. Ils pourront ainsi entendre le piano au diapason 440 Hz et le clavecin au diapason 415 Hz.

Ces exemples tendent à montrer que dans l'écoute musicale, la reconnaissance de la source musicale serait un préalable à l'identification et à l'appréciation de la hauteur.

Classiquement, la notion de hauteur perçue renvoie immédiatement à celle de fréquence fondamentale, et donc implicitement aux sons périodiques. Mais nous savons maintenant qu'il faut tenir compte de la composition spectrale des sons, laquelle donne lieu également à une sensation de hauteur, pouvant entrer en conflit avec celle de la hauteur fondamentale, et même s'y substituer. Prenons comme exemple l'écoute de quelques notes graves jouées au contrebasson. Si quelques auditeurs perçoivent le début d'une gamme chromatique, ce qui est effectivement joué, beaucoup d'autres entendent une mélodie tout à fait différente, dont on peut interpréter le contour en observant les variations spectrales des formants de cet instrument. Dans cet exemple, les changements de sonorité des notes successives induisent une perception mélodique d'autant plus aisément que la hauteur fondamentale est basse (de l'ordre de 30Hz), et

que ces changements formantiques sont situés dans la bonne zone d'écoute musicale, entre 100 et 1000 Hz. Les interactions entre hauteur fondamentale et hauteur spectrale sont fréquentes en musique. Elles interviennent dans l'appréciation de la justesse d'une note donnée jouée sur un instrument selon différents doigtés et donc avec différentes sonorités. Elle jouent également un rôle dans l'impression d'abaissement du diapason provoqué par le filtrage des composantes aiguës lorsque des instruments sont disposés dans les coulisses, effet que nous avons constaté lors d'une étude à l'Opéra de Paris avec E. Leipp.

A l'inverse, le fait que de légères différences de diapason induisent des changements dans la perception de la sonorité ne semble pas avoir été étudié. Prenons le cas d'une musique d'orgue enregistrée à 2 mois de distance, dans des conditions de prise de son strictement reproductibles, mais avec un abaissement du diapason. L'instrument a perdu son éclat : il paraît terne, sourd. Un réajustement du diapason par variation de la vitesse du magnétophone suffit à montrer que les qualités sonores de l'orgue ne sont pas changées. Cet effet entre toujours en ligne de compte lorsque l'on compare la sonorité d'instruments à des diapasons différents et il est d'autant plus marqué que le son est riche en harmoniques

Beaucoup de sons non périodiques donnent une ou plusieurs sensations de hauteur dont l'interprétation fait appel à un grand nombre d'aspects de la perception auditive. Le cas des cloches est intéressant à cet égard.

Un cloche bien accordée donne la sensation d'un accord harmonieux dans lequel un musicien repère facilement 4 à 5 sons. Il est plus difficile de dire quelle est la "note" musicale de la cloche, et dans quelle octave elle se situe. Du fait de la structure particulière de cet instrument, les 8 partiels graves les plus intenses sont voisins, mais avec des écarts de justesse souvent importants, de la série type suivante. En désignant par Do1 le premier partiel, on trouve successivement Do2, Mib2, Sol2, Do3, Mi3, Sol3 et Do4. Dans un tel ensemble on pourrait s'attendre à ce que la hauteur perçue s'accorde avec celle du premier partiel, puisque 4 autres partiels sont voisins de ses harmoniques. Il semble que la tierce mineure du partiel 3 soit un obstacle majeur à cette identification. L'expérience montre, et plusieurs études l'ont confirmé, que la "note au coup" donnée par la cloche ne correspond pas à une fréquence précise. Elle se situe dans l'octave

du deuxième partiel, mais l'appréciation de sa justesse est, à une octave près, celle du partiel 5. On observe également que les cloches graves donnent très nettement la sensation d'une deuxième note au coup, à la quarte aiguë de la première. Celle-ci est due à un ensemble de partiels supérieurs s'ajustant assez bien selon la série harmonique de cette quarte. L'effet disparaît lorsqu'on transpose le son à l'octave aiguë ou lorsqu'il s'agit de petites cloches, car ce groupe de partiels sort de la zone d'écoute musicale. Nous citerons pour terminer l'emploi étonnant d'une même cloche, frappée en deux endroits différents, pour donner deux notes successives. Le point de frappe du marteau produisant le deuxième son favorise la production de trois partiels assimilables aux harmoniques 2, 3 et 4 de la tierce mineure, sans relancer les partiels ordinaires de la cloche. Bien que ceux-ci continuent à résonner avec force, la surprise auditive d'une nouvelle structure accordale attire l'attention de l'auditeur. A chaque nouveau coup, seuls les partiels relancés apportent une information nouvelle produisant ainsi l'alternance des deux fondamentales, au point que l'on croirait entendre deux cloches successives.

Une des pratiques les plus courantes en musique : le vibrato, pose plusieurs problèmes de perception de la hauteur, surtout dans le cas de la voix chantée. En effet, le vibrato vocal est essentiellement une modulation de la fréquence fondamentale, accompagnée de modulations annexes de l'intensité et de la sonorité. Plusieurs auteurs ont confirmé le fait que la vitesse de modulation esthétiquement désirable se situe entre 5 et 8 Hz et que l'amplitude totale de cette modulation est de l'ordre du demi-ton, soit 6% de la fréquence. La hauteur perçue d'une note stable ainsi modulée est assimilable à la fréquence moyenne du son vibré : celle du son dépourvu de vibrato. Mais qu'en est-il des sons brefs, tels qu'on les rencontre dans les transitions ascendantes ou descendantes, et à fortiori des sons isolés dont la durée est inférieure à un cycle de vibrato ?

La figure 1 montre l'analyse sonographique d'une gamme rapide chantée. Les deux sons extrêmes, Do³ et Sol⁴ sont d'une durée suffisante pour être bien identifiables mais il est plus difficile de situer avec précision les sons intermédiaires. Par comparaison avec la même gamme jouée au piano, on constate qu'ils sont constitués chacun d'un cycle de vibrato, et que chaque cycle s'enchaîne au suivant dans un mouvement ascendant.

Pour étudier finement la hauteur perçue de notes brèves vibrées, de durée inférieure à un cycle de

vibrato, nous avons eu recours à la synthèse vocale. Des expériences d'ajustement avec des sons vocaux non vibrés ont montré que la perception était mieux définie pour les formes présentant un maximum, et que par ailleurs la phase finale de la modulation avait une forte incidence sur la hauteur perçue.

Une expérience réalisée fortuitement va nous permettre de montrer l'importance du contexte musical dans la perception des notes courtes vibrées. A l'écoute du bref exemple de la figure 2 la plupart des auditeurs entendent trois notes distinctes descendant chromatiquement. Mais le même passage replacé dans le contexte musical d'origine ne donne plus à entendre que deux sons à intervalle d'un ton. Que s'est-il passé ? Insérée entre des notes plus longues, dont la durée est de l'ordre de la seconde, la note brève est sémantiquement ignorée sur le plan mélodique. Elle est perçue comme un élément stylistique de transition : ici un portando. Lors de transitions liées portant sur un grand intervalle vocal nous avons observé sur plusieurs analyses la présence de notes intermédiaires - non perçues comme telles - qui, chez les grands interprètes ont une hauteur bien définie, issue du contexte harmonique du passage musical. Les expériences de synthèse que nous avons réalisées, ont confirmé l'importance de ces transitions, pour le naturel et la qualité du timbre de la voix.

Le dernier exemple auquel nous ferons appel est celui du trille : un des fleurons de l'art vocal dans la technique du bel canto. On sait que le trille, très répandu dans la pratique instrumentale, consiste dans l'alternance rapide de deux sons conjoints à intervalle d'une seconde, majeure ou mineure. Tous les auteurs des traités de chant s'accordent sur la beauté du trille vocal et sur les difficultés de sa réalisation. Ils mettent en garde l'élève qui devra travailler lentement, puis de plus en plus vite l'alternance des deux sons du trille afin de bien faire entendre deux "notes" distinctes et non pas un grand vibrato. Nous avons fait un grand nombre d'analyses de trilles réalisés par plusieurs chanteuses renommées. L'ornement est généralement constitué de trois parties dont le déroulement mélodique est représenté figure 3 Le trille proprement dit présente l'aspect d'un vibrato très large et légèrement plus rapide que le vibrato normal de la chanteuse. Il est précédé par la préparation, c'est à dire l'énoncé des deux notes constituantes du trille chantées dans un mouvement modéré et avec un vibrato

d'amplitude réduite, puis suivi d'une terminaison variant selon le contexte mélodique et harmonique.

Pourquoi le "vibrato" du trille ne donne-t-il pas la sensation d'une hauteur moyenne mais bien de deux notes alternées ? En mesurant la largeur de l'intervalle couvert par le trille, nous avons constaté qu'il n'y a pas de différence significative entre un trille mineur et un trille majeur, et que certains trilles ont même la largeur d'un vibrato ordinaire. Par ailleurs, un trille privé de sa préparation est plutôt perçu comme une note vibrée avec ampleur. Il semblerait donc que la perception effective des deux "notes" du trille vocal soit le résultat d'un apprentissage. La préparation agit comme un signal annonçant le caractère du trille, et la terminaison vient confirmer son rôle cadentiel.

Nous avons tenté à l'aide des exemples sur lesquels nous nous sommes arrêtés, de montrer la complexité des éléments mis en jeu dans la perception de la hauteur des sons musicaux. Il est difficile pour ceux-ci de séparer nettement ce qu'il faut attribuer à la hauteur ou à la sonorité, ces deux sensations interférant au niveau spectral. L'interaction est particulièrement nette dans le cas des sons "ambigus" : les sons mal situés dans la zone d'audition ou non-périodiques ; pour ces derniers le "modèle harmonique" joue un rôle déterminant. Dans tous les cas, l'organisation de la séquence temporelle doit être prise en compte. L'écoute musicale active est une attitude dynamique faisant intervenir les événements acoustiques du passé immédiat pour parier à chaque instant sur les sons à venir. Elle fait appel à des niveaux d'organisation perceptive élaborés, qu'il s'agisse d'apprécier la justesse d'un intervalle en sons purs ou celle d'un trille vocal.

BIBLIOGRAPHIE

- Castellengo M., Richard G., d'Alessandro C., *Study of vocal pitch vibrato perception using synthesis*, C.R. du 13^e I.C.A., Belgrade, 1989.
- Castellengo M., *Sons multiphoniques aux instruments à vent*, Paris, Ircam, Rapport de recherche N°34, 1982.
- Colas D., Castellengo M., *L'exécution du trille vocal au 19^eème siècle; confrontation de la littérature des traités de chant et de l'analyse acoustique*, à paraître dans *La Revue de Musicologie*, Paris.
- Demany L., *La perception de la hauteur tonale*, dans *Psychoacoustique et perception auditive*, Paris, Inserm/Editions Médicales internationales, 1989, 43-81
- Leipp E., *Acoustique et musique*, Paris, Masson, 1971

- Mersenne M., *L'harmonie universelle*, Paris, Chez Sébastien Cramoisy, 1636, Edition Facsimilé du CNRS, Paris, 1965.
- Moles A., *Théorie de l'information et perception esthétique*, Paris, Flammarion, 1958.
- Risset J.C., Musical acoustics, in Carterette E. et Frideman M.P. (Ed.), *Handbook of perception*, New York, Academic Press, 1978, IV, 521-564.
- Scharf B., Spectral specificity in auditory detection : the effect of listening on hearing, *Journal of the Acoustical Society of Japan*, (E) 10, 6, 1989, p.309-317.
- Schouten J.F., Hart J.'T., The strike note of bells (1965) in Rossing Th éd., *Acoustics of bells*, New York, Van Nostrand, 1984, 245-255.
- Seashore C.E., *Psychology of music*, New York, Mc Graw Hill, 1938.
- Schonle J.I., Horan K.E., The pitch of vibrato tones, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1980, 67, 246-252.
- Sundberg J., Perception of synthetic singing, *Speech Transmission Laboratory, Quartely Progress and Status Report*, 1979, 1, 1-48.
- Ward W.D., Burns, Absolute Pitch, in Deutsch D.(éd), *The psychology of music*, New York, Academic Press, 1982, 431-451

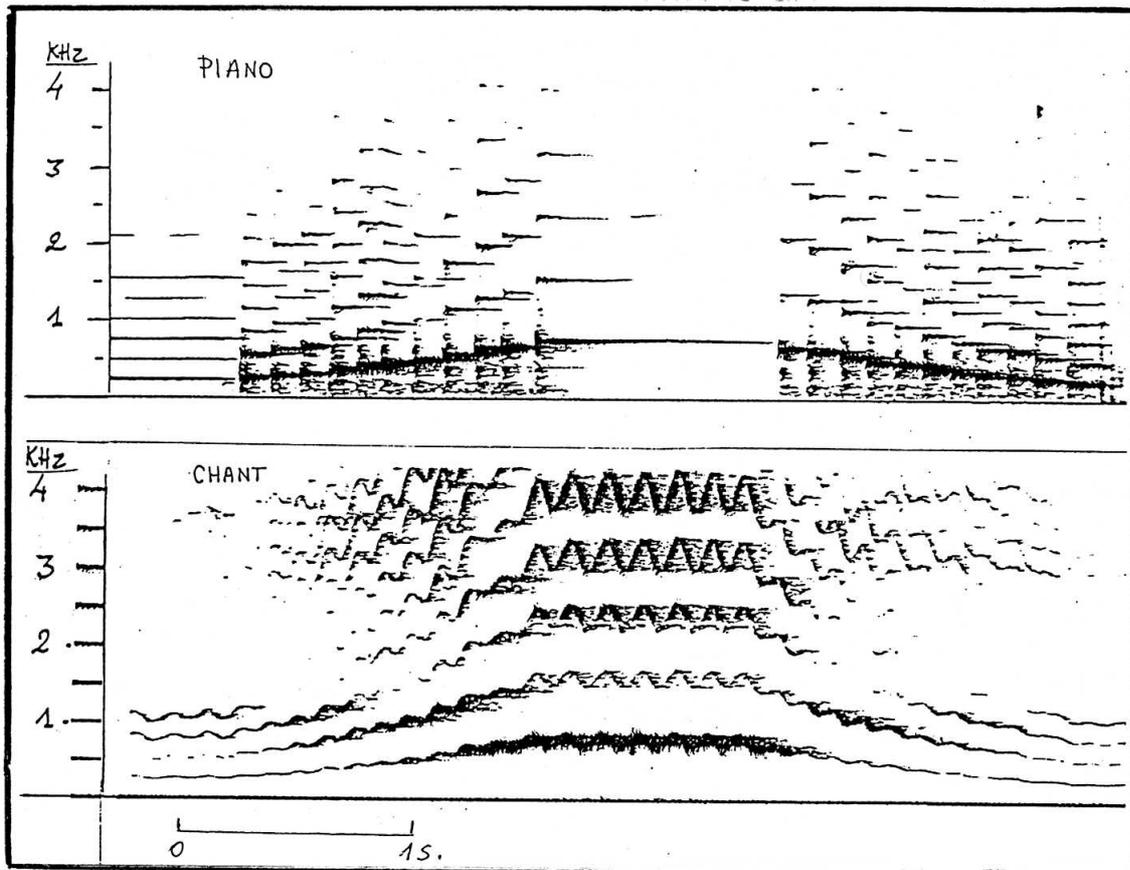


fig 1.

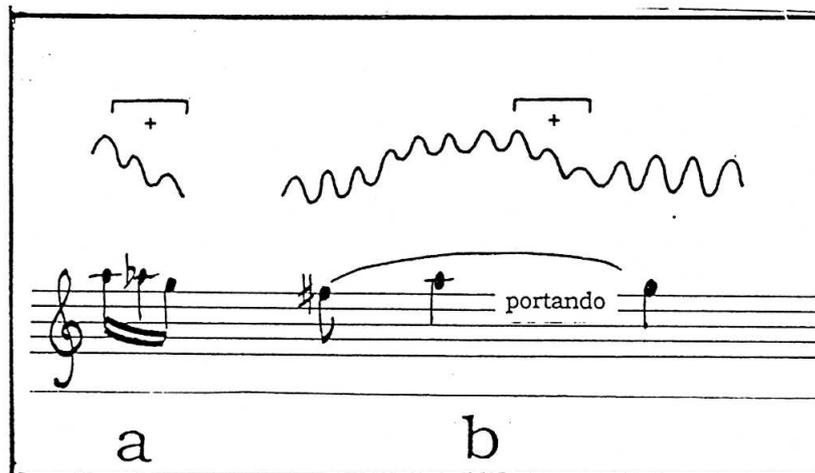


fig 2.

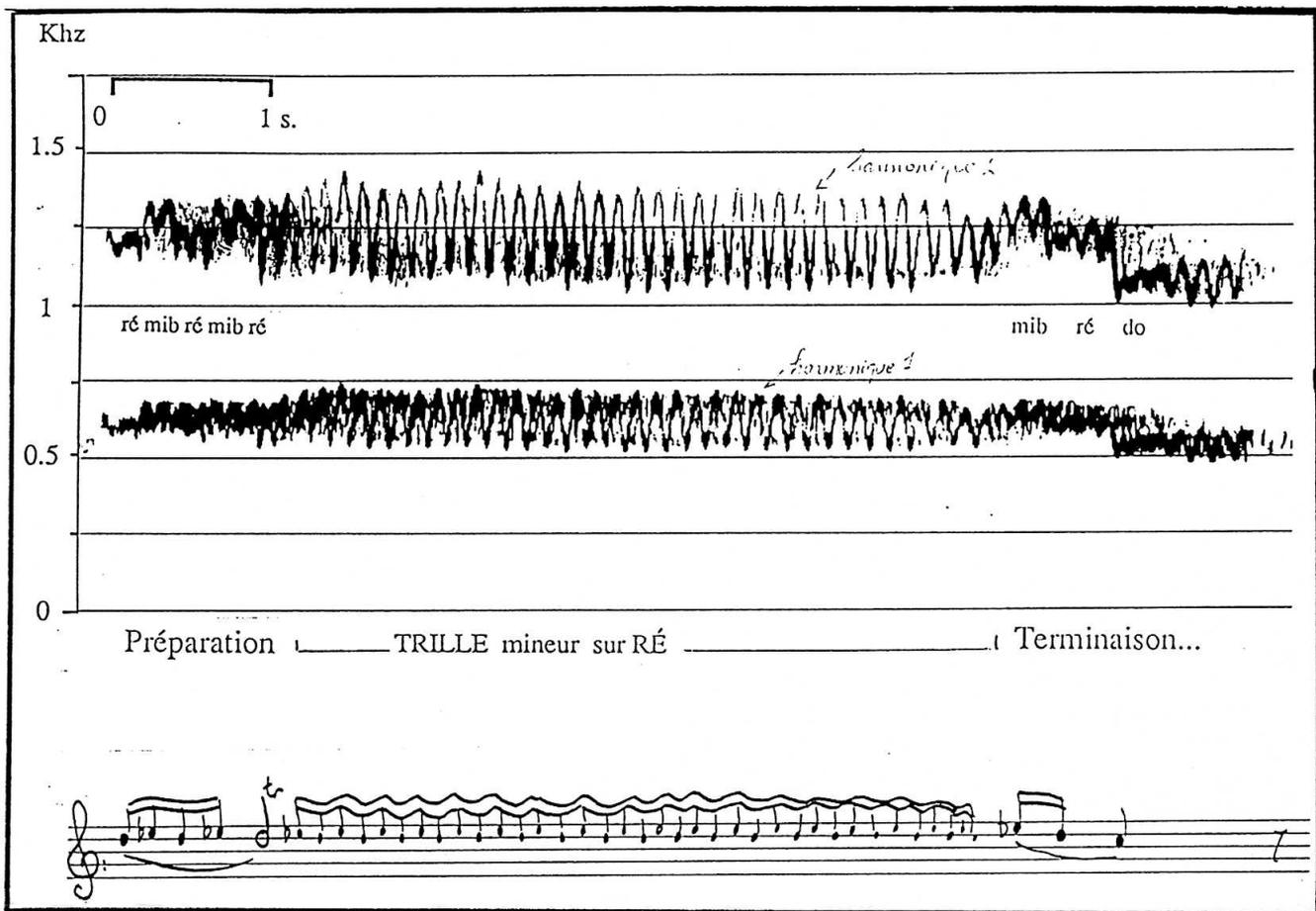


fig. 3

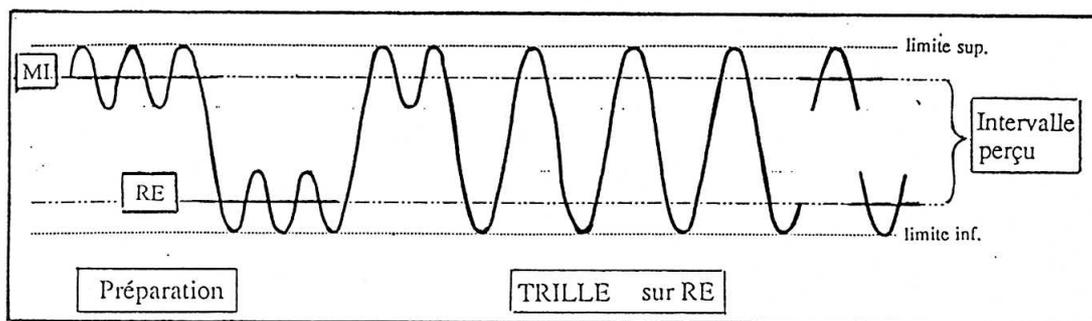


fig 4.