

COLLOQUE

QUALITE ACOUSTIQUE DES LIEUX D'ECOUTE

C.N.R.S. - E.R.A. 537

UNIVERSITE P. & M. CURIE - I.M.T.A.

O

O O

O

*Paris - 13,14,15,16 Octobre 1981*

DONNEES SUR LA STRUCTURE ACOUSTIQUE  
DES SONS INSTRUMENTAUX ET VOCAUX

-----  
Michèle CASTELLENGO

Laboratoire d'Acoustique  
Université Paris 6

INTRODUCTION

L'acousticien qui se préoccupe de la qualité des lieux d'écoute devrait connaître la morphologie acoustique des signaux susceptibles d'y être émis. Etant averti du contenu, il aurait ainsi toutes les chances d'aménager au mieux le contenant.

Nous disposons maintenant des moyens d'analyse suffisants dans tous les domaines : spectral, dynamique, temporel. Or l'étude des instruments de musique traditionnels réserve bien des surprises : ils ont été conçus par, et pour des êtres humains dont l'oreille est un appareil "aberrant" du point de vue physique, doublée d'un "centre de traitement de l'information" (I) dont le fonctionnement semble fort différent de ce que l'on réalise aujourd'hui en informatique.

Pour interpréter le jugement d'un auditeur dans une salle d'écoute, il faudrait connaître les particularités de son ouïe, son passé acoustique, ses habitudes auditives. Un auditeur quelconque (non spécialisé), un musicien professionnel, un preneur de son, écoutent chacun de leur côté, des parties fort différentes du message acoustique : leurs références mémorisées, leurs intérêts auditifs n'ont pas grand chose en commun.

Les données qui font l'objet de cet exposé ne sont donc qu'un tout petit maillon de la chaîne de communication des messages acoustiques.

Du point de vue qui nous préoccupe les signaux acoustique se divisent en deux catégories : les sons instrumentaux (avec ou sans amplification électrique) et les sons vocaux. Les premiers servent de matériaux dans les domaines de la mélodie, du rythme et du timbre. Les sons vocaux doivent en plus satisfaire à des exigences d'intelligibilité.

CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES SONS INSTRUMENTAUX

I) Le contenu spectral

On peut classer les instruments de musique selon leur tessiture. Il existe des tableaux donnant pour chacun d'eux la fréquence inférieure et

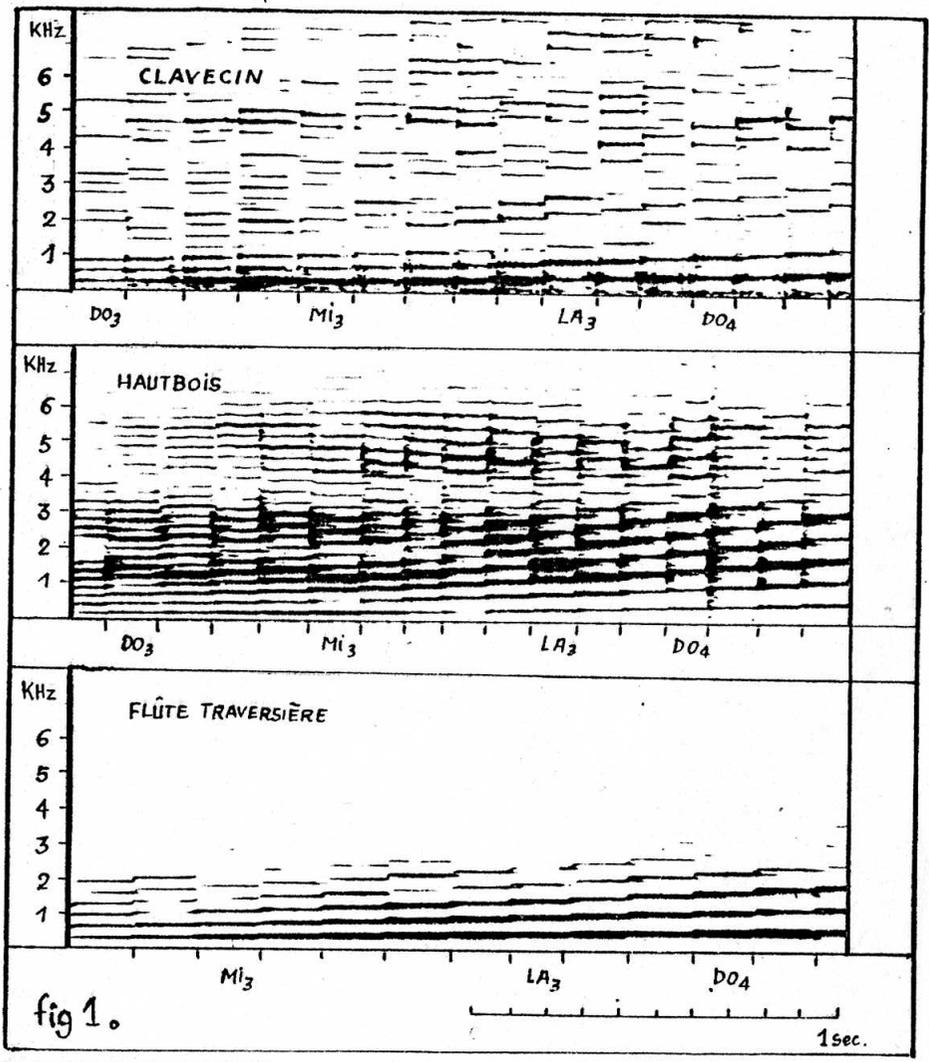


fig 1.

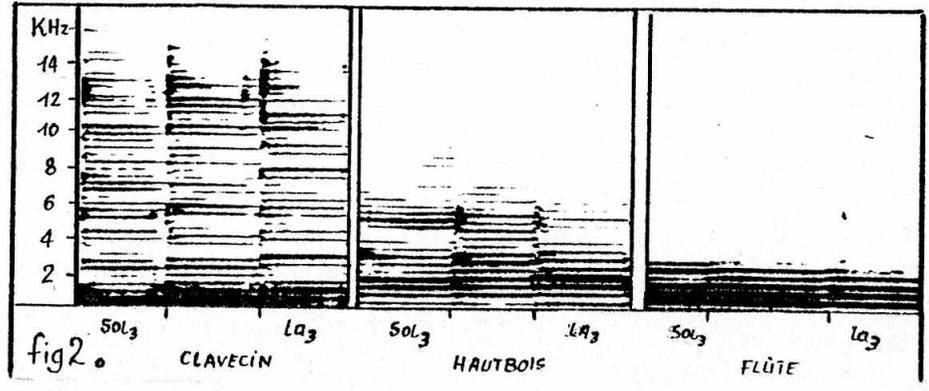


fig 2.

et la fréquence supérieure des sons qu'ils émettent, mais il s'agit de la fréquence des notes fondamentales et pas nécessairement de fréquences existant effectivement. Dans une même tessiture, le contenu fréquentiel réel peut varier grandement selon le type d'instrument.

Prenons pour exemple une gamme chromatique jouée de DO<sub>3</sub> à DO<sub>4</sub>, successivement sur un clavecin, un hautbois et une flûte traversière. Les enregistrements sont faits à 1m de l'instrument, dans une pièce peu réverbérante. La figure 1 illustre trois allures typiques:

- la flûte, (ceci est caractéristique des tuyaux à bouche) concentre l'énergie dans les premiers harmoniques. C'est peut-être le seul instrument pour lequel les tableaux de fréquences sont utilisables.
- le hautbois montre un plus grand nombre d'harmoniques. L'énergie est rassemblée dans une zone formantique située entre 1000 et 3000 Hz ce qui rend l'instrument très efficace perceptivement. On peut dire que la zone spectrale la plus intense est indépendante de la note jouée.
- le clavecin est un cas extrême. Il comporte un très grand nombre d'harmoniques sur lesquels l'énergie est assez régulièrement répartie. Pour un son de 500 Hz (DO<sub>4</sub>) il se passe des phénomènes non négligeables vers 14000 Hz !

La figure 2 montre quelques notes de chaque instrument dans une échelle de fréquence de 0 à 16000 Hz. Les différences sont encore plus manifestes.

L'émergence des différents instruments dans un ensemble orchestral dépend directement de leur contenu spectral.

2 ) Le cas particulier des sons très graves.

La sensibilité de l'oreille diminuant très rapidement vers les basses fréquences, les instruments traditionnels mécaniques nous font entendre le grave à travers les harmoniques aigus.

Sur la figure 3 on voit l'analyse d'une mélodie jouée au basson ; on notera que la région de plus grande intensité est située autour de 500 Hz pour des notes dont la fréquence est comprise entre 80 et 300 Hz. Il en est de même pour la voix. Une "basse" nous fait entendre des sons de 100 et 200 Hz à travers les harmoniques situés dans la zone de 2000 Hz. Nous y reviendrons plus loin.

Parmi les instruments traditionnels l'orgue fait exception car il a toujours disposé de gros moyens énergétiques : anciennement les souffleurs humains et aujourd'hui le moteur. Les tuyaux à bouche de l'orgue, bourdons flûtes de 16 et 32 pieds émettent réellement des fréquences de 60, voire 40 Hz pouvant exciter les modes propres du local. Il en est de même des instruments utilisant l'amplification électrique et des musiques électro-

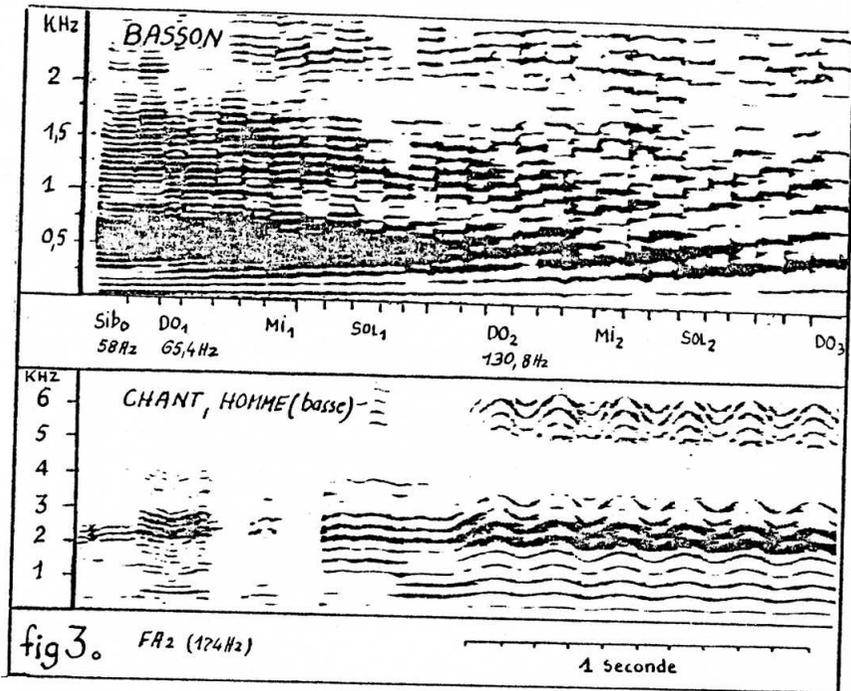


fig 3. FA2 (174Hz)

acoustiques sur bande magnétique, dont la diffusion peut poser de nouveaux problèmes à l'acousticien.

3) L'allure dynamique.

Les instruments se répartissent en quatre catégories.

1. Sons de percussion à amortissement rapide (percussions sèches, bois)
2. Sons de percussions à amortissement lent (percussions de métaux)
3. Sons à vibration entretenue avec résonance propre se produisant à l'arrêt de l'entretien (instruments à cordes)
4. Sons à vibration entretenue sans résonance propre (presque tous les instruments à vent)

Les qualités musicales des sons de type 1 et 4 sont largement tributaires de celles du lieu d'écoute. Ils sont favorisés par une réverbération de quelques secondes dans la bonne zone; flûtistes, chanteurs n'ont aucun plaisir à jouer dans une salle sèche. Nous y sommes tellement habitués que nous oublions souvent que le jugement de qualité que nous pouvons porter sur la sonorité de ces instruments fait intervenir en grande partie le local d'écoute. Il en est de même de la catégorie 3, bien que les cordes libres puissent jouer un rôle notable dans l'extinction, surtout pour l'exécutant (harpe, clavecin).

Les instruments de la 2ème catégorie s'accoutument d'un local plus sec voire du plein air (cloches, carillon.)

4) Les transitoires d'attaque.

Il s'agit là d'un point important dans la reconnaissance du timbre des instruments. Ces bruits de faible intensité ne doivent pas être trop absorbés ni déformés dans leur déroulement temporel. Certains ingénieurs du son pratiquant une prise de son rapprochée nous ont habitués à les entendre distinctement, au point que les auditeurs sont souvent déroutés à l'écoute directe dans une salle.

Il n'est pas possible d'entrer ici dans le détail. Selon les types d'instruments il s'agit de bruits d'impact couvrant tout le spectre (battes dures sur bois ou métal) ou localisé dans les aigus (métal contre métal) ou dans le grave (batte molle sur peau, table d'harmonie du piano, cavité de la guitare); de bruits de souffle ou de grattement.

Tous ces bruits sont largement utilisés dans la musique contemporaine où il faut souvent une écoute très fine.

Pour d'autres instruments, surtout les instruments à vent, c'est le décalage entre les composantes qui est important et ne doit pas être trop déformé depuis son émission jusqu'à l'oreille de l'auditeur.

PROBLEMES SPECIFIQUES A LA VOIX

1) Intelligibilité du message parlé

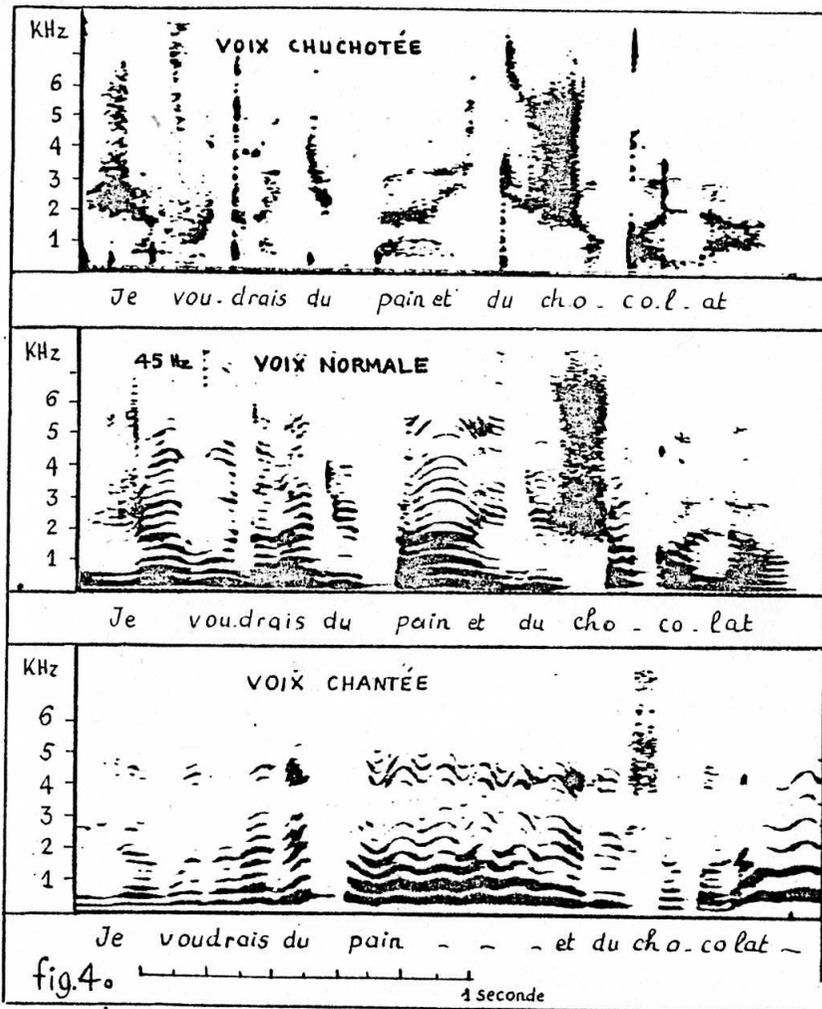
La partie sémantique du message que doit transmettre un locuteur est contenue dans les formes acoustiques visibles sur les analyses sonographi-ques (Fig.4).

Dans la voix chuchotée ces formes sont créées par des bruits d'écoulement dont les fréquences et leurs variations traduisent les modifications de l'appareil phonatoire.

Dans la voix normale les formes sont dessinées par les variations for- mantiques du son des cordes vocales, associées aux bruits des consonnes plosives et fricatives.

Dans le chant, ces derniers s'estompent au profit du son harmonique que le chanteur cherche à favoriser au maximum. Des bruits, il ne reste le plus souvent pour seule trace que l'interruption du son harmonique. La salle d'audition est un maillon important dans la transmission du mes- sage et peut agir sur celui-ci de différentes façons : par filtrage, par brouillage dû à la réverbération ou aux échos.

Mais en dernier lieu, l'intelligibilité du message reçu par l'auditeur



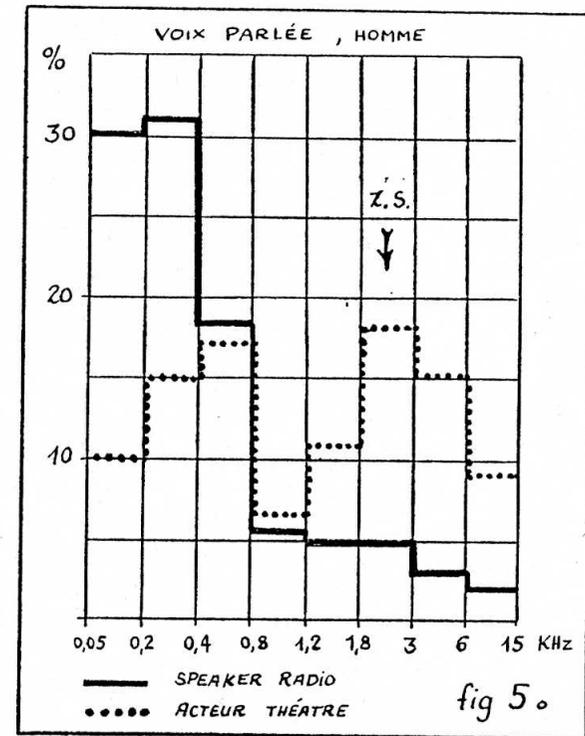
dépend beaucoup de l'originalité qu'il présente pour celui-ci. Les variabilités individuelles interviennent alors grandement.

## 2) Portée et place de la voix

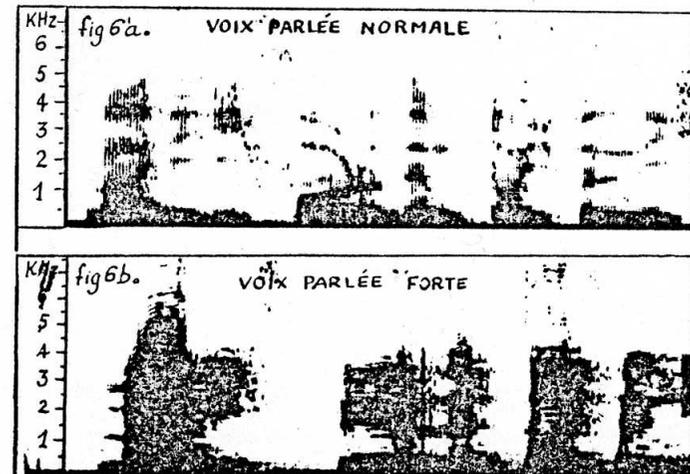
Aujourd'hui tout individu peut se faire entendre d'une foule...à l'aide d'un micro. Il n'en était pas de même autrefois où orateurs, acteurs, chanteurs devaient posséder des qualités particulières pour "passer" dans une grande salle.

Sur la figure 5, comparons la voix d'un speaker radiophonique et celle d'un acteur professionnel analysée à l'IDS (2). Pour le premier, l'énergie est concentrée dans la bande 50-200 Hz, alors que pour le second, le maxi-

mum d'intensité spectrale se situe dans la bande 1500 - 3000 Hz, la plus efficace pour l'oreille.



Un chanteur professionnel peut "placer" sa voix à volonté, et passer de la voix radiophonique à la voix de théâtre (fig. 6a et 6b).



Tous les chanteurs d'Opéra possèdent un formant intense, quasi fixe, dans la zone sensible de l'oreille. Ils peuvent ainsi produire le maximum d'intensité avec le minimum d'effort. Ce formant est caractéristique du timbre de la voix des chanteurs d'opéra.

3) Conflit entre la place de la voix et l'intelligibilité

Comparons les figures 7a et 7b. Il s'agit de glissandi couvrant 2 octaves, sur les trois voyelles OU,A,I, émises respectivement par un individu non chanteur, et par un chanteur professionnel.

Le premier s'applique à produire le timbre de chaque voyelle sur toute l'étendue, au détriment des qualités musicales de la voix. On remarque en particulier les sauts et rupture de timbre au changement de registre.

Le second émet avec facilité un glissando homogène en timbre et en intensité. On est frappé par la prédominance du formant situé pour ce chanteur autour de 2500 Hz. Par contre, les formants caractéristiques des voyelles sont estompés. Dans l'aigu en particulier, la perception des voyelles est ambiguë.

4) Tessiture et intelligibilité

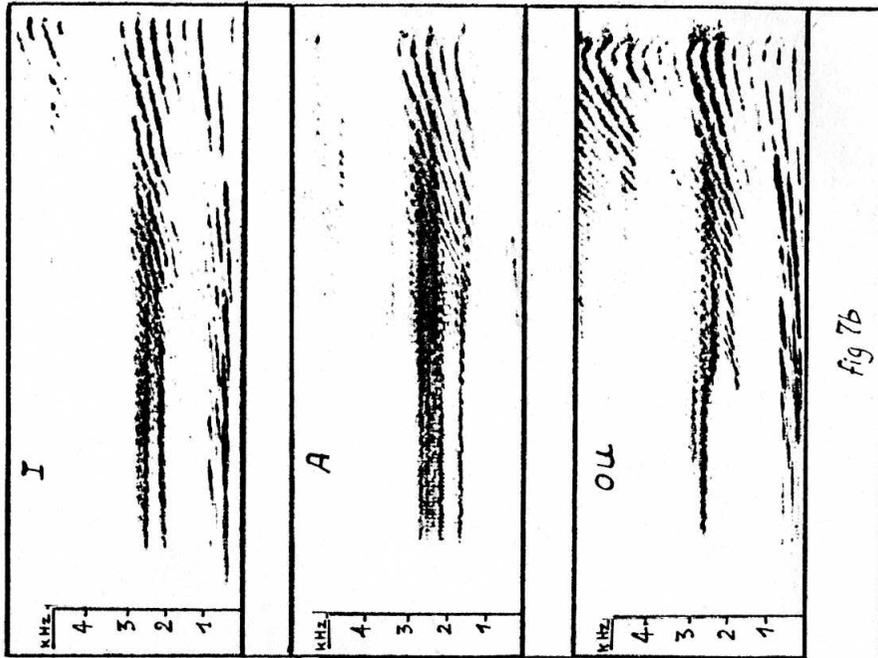


fig 7b

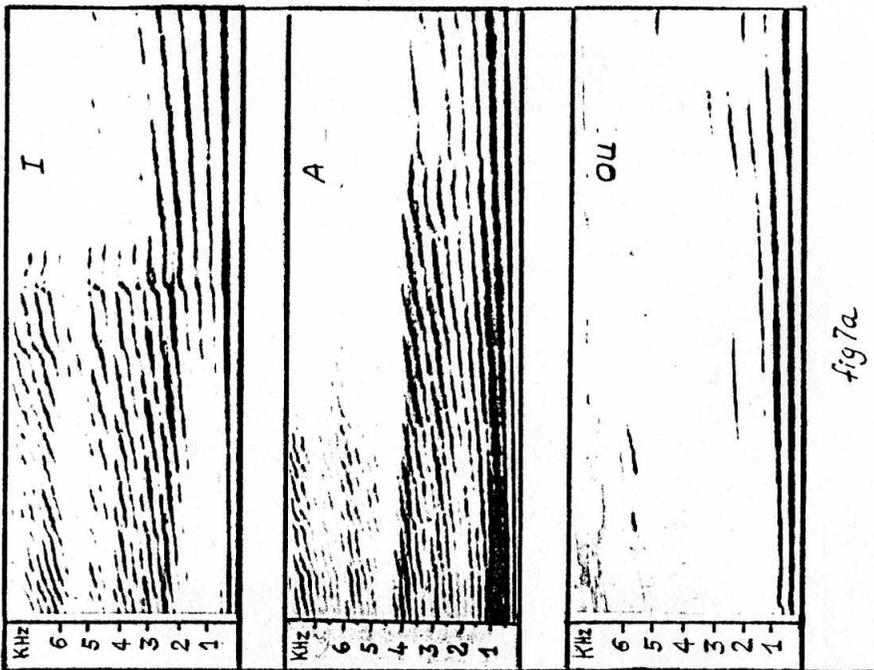


fig 7a

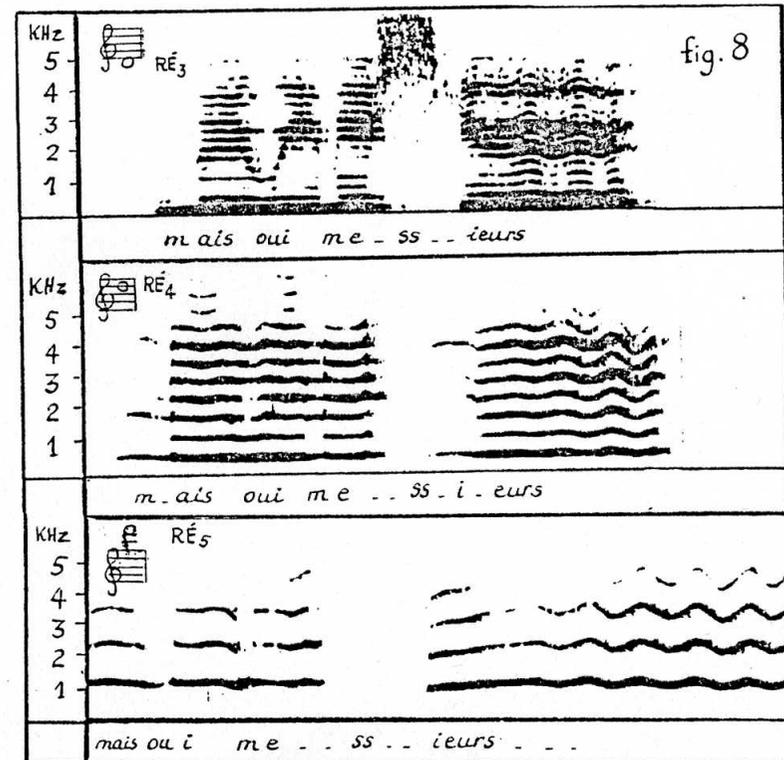


fig. 8

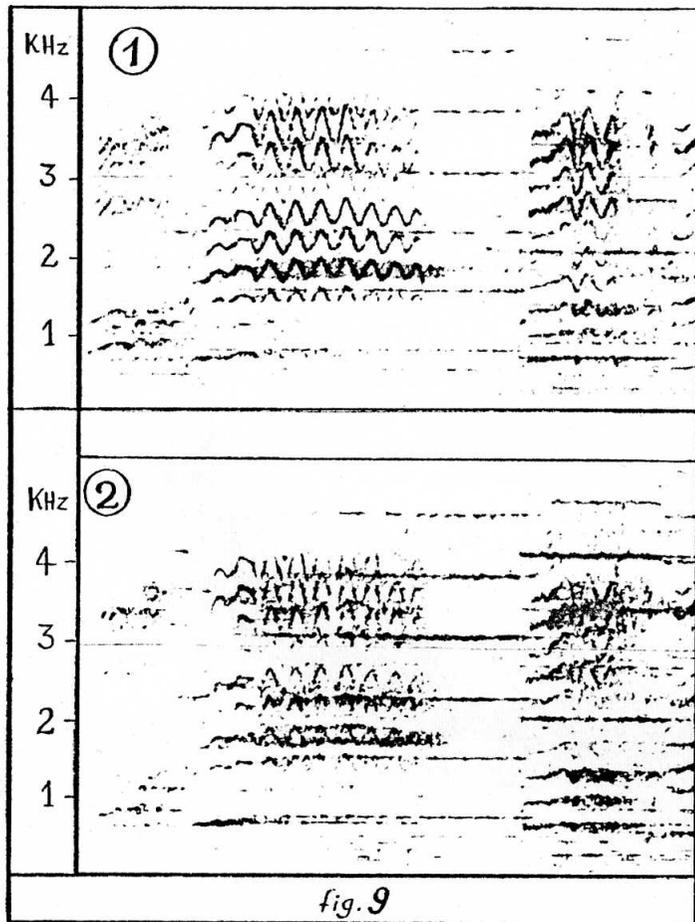


fig. 9

L'intelligibilité est souvent très difficile dans l'aigu des chanteurs, surtout chez les femmes. Deux raisons sont à invoquer. D'une part, la position haute du larynx pour l'émission dans l'aigu rend fort difficile l'articulation correcte des phonèmes. D'autre part, les formes sont quantifiées si "grossièrement" par les harmoniques qu'elles sont difficilement perceptibles; on s'en convaincra en comparant les mêmes mots chantés par une cantatrice sur Ré5 (II75 Hz), Ré4 (588 Hz) et Ré3 (294 Hz) - Fig. 8 - Cette personne a une diction remarquablement claire, et pourtant l'émission sur Ré5 est inintelligible à tout auditeur non prévenu.

Nous n'avons pas parlé de l'émergence de la voix sur un fond musical ou bruyant. Sur ce point, nous renvoyons à une étude antérieure (3)

CONCLUSIONS.

L'étude spectro-temporelle des principaux types d'instruments, complétée par la connaissance de leur rayonnement (dont il n'est pas fait mention ici) permettra à l'acousticien de mieux concevoir les locaux d'écoute et d'éviter le recour à la sonorisation souvent fâcheuse. Bien des enseignements sont à tirer de l'études des sources traditionnelles et de leur adaptation empirique au bruit de fond (émergence) à la distance (portée). L'exemple des chanteurs et des acteurs est particulièrement remarquable.

Le chant d'opéra est d'ailleurs un des cas les plus difficile à résoudre car il demande, de la part de la salle, des qualités contradictoires.  
 - un minimum de netteté pour comprendre ce qui est dit (on a vu que le chanteur a assez de problèmes de son côté !)  
 - un certain "flou esthétique" nécessaire à la beauté du timbre, à la fusion des sons, au mélange voix et orchestre.

Ainsi, de ces deux analyses prises simultanément dans une salle, la "bonne place" n'est pas celle que l'on pourrait croire à première vue, ce n'est pas l'image la plus nette, mais celle du bas, plus brouillée, où les petits défauts s'estompent.(fig.9).



- (1) E. LEIPP - La machine à écouter - Paris, Masson ed. 1978
  - (2) E. LEIPP - L'Intégrateur de Densité Spectrale I.D.S. Bulletin GAM - Paris 1977
  - (3) E. LEIPP et M. CASTELLENGO - L'intelligibilité de la parole dans le chant - Paris 1969
- Conférences des journées d'études du festival du son.

CASTELLENGO - Le mix des chanteurs professionnels - GAM n° 78.