



*** 13th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS ***
*** YUGOSLAVIA * 1989 ***

REPRESENTATION DE L'EVOLUTION DU TIMBRE DES INSTRUMENTS DE MUSIQUE EN FONCTION DE LA TESSITURE : APPLICATION A L'ORGUE

Benoît Fabre, Michèle Castellengo

Laboratoire d'Acoustique Musicale, UA 868 CNRS, Université Paris 6, Tour 66, 4 Place Jussieu, 75005 Paris, France.

Introduction

Cette recherche porte sur les variations du timbre d'un instrument de musique en fonction de sa tessiture. Contrairement aux études classiques sur le timbre (Ref 2,3,4), nous étudions individuellement toutes les notes de l'instrument puis nous cherchons à représenter au moyen de critères adaptés l'évolution du timbre. Ce travail porte plus spécifiquement sur la composition spectrale des sons d'orgue. Le but que nous poursuivons est de mettre au point des outils capables de comparer objectivement le timbre d'un orgue avant et après restauration.

Pour ce faire, nous enregistrons l'instrument dans des conditions parfaitement reproductibles avant et après restauration (cette reproductibilité a été testée par deux enregistrements à plusieurs mois d'écart).

Méthode

Nous jouons isolément puis en associations chacun des jeux constituant l'orgue: une gamme chromatique descendante permet d'enregistrer successivement toutes les notes du jeu.

Les gammes chromatiques sont ensuite numérisées (échantillonnage à 32 kHz) et chaque note de la gamme est analysée par l'ordinateur au moyen d'un filtre numérique.

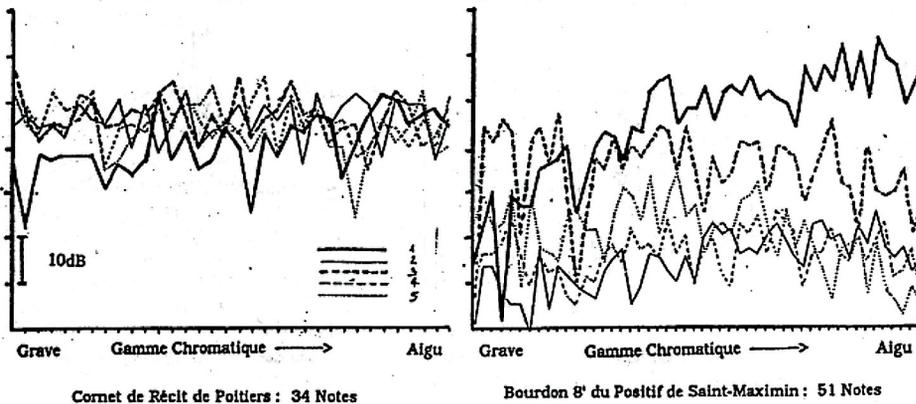


Figure 1 : évolution de l'intensité des 5 premiers harmoniques en fonction de la tessiture



Interprétation

A l'écoute, les deux critères retenus (IP et CGS) correspondent à deux attributs complémentaires du son. Le CGS indique dans quelle zone d'harmoniques l'énergie du son se situe, la discrimination perceptive entre sons à dominante "harmoniques impairs" et ceux à dominante "harmonique pairs" s'explique par le fait que pour les cinq premiers harmoniques, les composantes paires (2&4) correspondent à des octaves alors que les composantes impaires (3&5) correspondent à des intervalles musicalement plus informatifs (accord parfait majeur).

Homogénéité

Les graphiques figure 1 montrent des différences de niveau pour un même harmonique entre deux notes voisines d'un demi-ton pouvant atteindre facilement 15 dB. Ceci est très largement supérieur aux variations imputables au lieu d'écoute. En effet les analyses par transformée de Fourier de bruits roses émis depuis l'orgue montrent en plus d'une courbe globale des variations locales inférieures à 5 dB. La constatation des variations de la composition spectrale des différentes notes d'un même jeu (Figures 1 et 2) est pour nous fondamentale. Elle soulève deux problèmes:

- on ne peut en aucun cas parler du timbre d'un jeu au vu d'une note isolée. (Ref 2,3,4)

- il est important pour nous d'apprécier objectivement l'homogénéité d'un jeu. A l'écoute d'une gamme chromatique, l'auditeur parvient à "réduire" l'information: toutes les notes entendues constituent pour lui un timbre unique caractéristique du jeu malgré les fortes différences que nous avons pu constater. A l'opposé, à l'écoute d'un jeu "égal" dans lequel toutes les notes ont la même composition spectrale (transposée), l'auditeur perçoit une monotonie qui rend le jeu inintéressant: en effet, chaque note est alors totalement prévisible puisqu'elle n'apporte aucune information nouvelle par rapport aux notes précédentes. Ceci nous a amené à poser la question suivante: quelle proportion d'irrégularités faut-il introduire dans un jeu égal pour le rendre intéressant à l'écoute, jusqu'à quel point peut-on perturber la régularité du jeu sans pour autant perdre l'impression d'unité que l'on peut avoir à l'écoute?

Nous avons cherché à préciser cette notion d'homogénéité en modifiant des sons réels par ordinateur. Grâce au programme APVOC implanté sur l'Array-Processeur de l'IRCAM, nous avons pu modifier à volonté et note par note le contenu spectral des gammes. Ceci nous a permis de préparer un matériau sonore pour des tests d'écoute. Les premiers résultats que nous avons obtenus sont les suivants: la notion d'homogénéité plus ou moins forte d'un jeu n'est pas liée à l'importance des variations de l'intensité des harmoniques entre notes voisines, mais plutôt à la quantité de "notes étrangères" présentes dans le jeu: en effet, l'auditeur semble s'habituer à une dynamique de variation de timbre d'une note à la suivante. Que cette dynamique soit faible ou forte, l'auditeur perçoit un jeu homogène dans la mesure ou il entend peu de notes pour lesquelles les variations sont en dehors de la "dynamique" à laquelle il est habitué. Une fois encore, nous constatons que notre système perceptif est fondamentalement adaptable au contexte et sensible aux différences relatives. A l'image des phénomènes fractals, notre système auditif est capable de percevoir des différences de plus en plus fines à mesure que le contexte présente des variations moins



*** 13th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS *
* YUGOSLAVIA * 1989 ***

Le graphique de la Figure 1 montre pour deux jeux l'évolution de l'intensité des cinq premiers harmoniques en fonction de la note jouée. Le Bourdon est un jeu bouché, il ne peut donc émettre que pour les fréquences harmoniques impaires du fondamental. Le Cornet est un jeu composé de cinq tuyaux par note, accordés sur les cinq premiers multiples du fondamental de chaque note.

En complément, nous évaluons l'acoustique du lieu d'enregistrement en analysant par transformée de Fourier une séquence de bruit rose émise depuis l'orgue.

Critères de caractérisation du timbre

Nous nous intéresserons plus particulièrement aux jeux de tuyaux à bouche. Nous avons cherché à regrouper les données fournies par l'analyse harmonique précédemment présentée en critère ayant une signification perceptive. Pour cela, nous proposons une représentation bidimensionnelle des caractéristiques spectrales des sons suivant deux critères:

- le centre de gravité spectrale normalisé du son CGS est donné par

$$CGS = (1/f) \sum i f a_i / \sum a_i$$

ou a_i est l'intensité du $i^{\text{ème}}$ harmonique constituant le son et f la fréquence fondamentale du son.

- le critère IP exprime la manière dont se répartit l'énergie entre harmoniques impairs et harmoniques pairs.

$$(IP)_{dB} = 10 \text{ Log } (\sum a_{2i+1}) / (a_1 + \sum a_{2i})$$

On reporte toutes les notes du jeu dans le plan IP/CGS, traçant ainsi les trajectoires des jeux Figure 2.

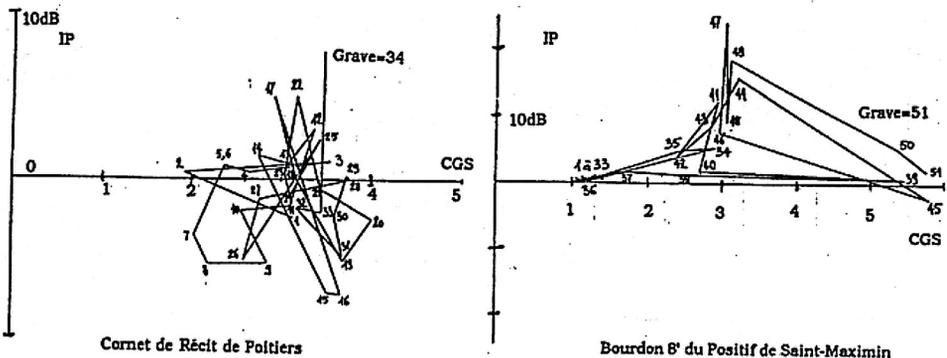


Figure 2 : Trajectoires de jeux d'orgue dans le plan IP/CGS



*** 13th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS ***
*** YUGOSLAVIA * 1989 ***

importantes.

Nous proposons de quantifier cette notion d'échelle perceptive de dynamique au moyen de deux grandeurs:

- d'une part une échelle de dynamique, définie comme la moyenne des distances entre deux demi-tons successifs dans le plan IP/CGS

- d'autre part l'écart que peuvent présenter les variations par rapport à cette moyenne: c'est l'écart quadratique moyen des distances dans le plan IP/CGS. Cet écart tente d'évaluer l'homogénéité du jeu étudié. Pour cela il nous faut choisir une normalisation: une variation de l'unité du CGS est perceptivement beaucoup plus importante qu'une variation de l'unité du IP. Les expériences d'écoute semblent montrer qu'il est raisonnable de prendre pour normalisation une variation de 1 du CGS et une variation de 10 dB du IP. Dans ces conditions, les moyennes et écart quadratiques moyens des distances dans le plan IP/CGS pour quelques jeux de Cornet sont les suivants:

Cornet :	Moyenne:	Ecart:
- Positif de Poitiers	0,854	0,434
- Grand-Orgue de Poitiers	0,596	0,464
- Récit de Poitiers	0,609	0,394
- Positif de Saint-Maximin	0,803	0,421
- Grand-Orgue de Saint-Maximin	0,745	0,466
- Grand-Choeur de Saint-Sulpice (Paris)	0,690	0,471
- Grand-Orgue de Dole	0,760	0,364

Conclusion

Les résultats que nous avons obtenu concernant le timbre de l'orgue sont généralisables à d'autres instruments de musique. Les critères IP & CGS permettent de caractériser le spectre sonore d'instruments à excitation entretenue. Ces deux critères sont bien adaptés à l'étude des sons ne comportant pas plus d'une dizaine d'harmoniques. Il convient de modifier le critère CGS ou de le compléter pour l'étude de sons très riches en harmoniques.

Les résultats en rapport avec l'homogénéité concernent d'une manière générale un grand nombre d'instruments de musique et peuvent trouver une application directe dans le domaine de la synthèse musicale. Ils montrent comment introduire des variations de timbre le long de la tessiture d'un jeu synthétique pour le rendre plus intéressant à l'écoute.

Références

- [1] Fabre (1988) : "Caractérisation d'un jeu d'orgue".
Mémoire de DEA Le Mans
- [2] Padgham (1986) : "The Scaling of the Timbre of the Pipe Organ",
Acustica 60
- [3] Plomp, de Laat (1984) : "Comparison of Organs in a Spectrum Space",
Acustica 55
- [4] Fletcher, Blackham, Christensen (1963) : "Quality of Organ Tones",
JASA 35(3)