



SUBJECTIVE QUALIFICATION OF INSTRUMENTAL SOURCES: COMPARISON BETWEEN GUITAR AND TRUMPET

PACS : 43.75.Cd

Aline BARLET, Léonie COUTHON
GRECO-Bx
Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux
Domaine de Raba
F 33405 Talence cedex
Tel: +33 (0)5 57 35 11 63
Fax: +33 (0)5 56 37 03 23
E-mail: aline.barlet@bordeaux.archi.fr

ABSTRACT

The here presented study on the subjective qualification of musical instruments is based on a directivity study from the energy point of view. So we defined the notions of directional global formants and directional immediate formants. We based our subjective approach on listening tests by using a questionnaire. For our sample we voluntarily made a choice for instrumentalists who can be considered as experts. The subjects are invited to identify and to qualify sound sources and then to localise them. Among the studied instrumental sources, we chose to present the obtained results from two quite different instruments: guitar and trumpet.

RESUMEN

El trabajo que presentamos aquí concierne la calificación subjetiva de los instrumentos de música. Se basa sobre un estudio de la "directividad" desde un punto de vista energético. Hemos definido las nociones de formantes direccionales globales e instantáneos. Nuestro enfoque se basa en la realización de pruebas de escuchas con cuestionarios. Hemos escogidos voluntariamente una población de instrumentistas que pueden ser considerados como expertos en su campo. Los sujetos son invitados a identificar y a cualificar las fuentes sonoras y después a localizarlas. Entre varias fuentes instrumentales estudiadas presentamos los resultados obtenidos con dos instrumentos bastantes diferentes: la guitarra y la trompeta.

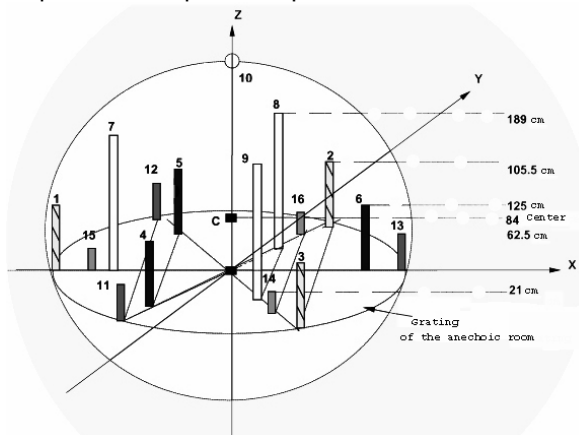
CARACTERISATION OBJECTIVE

Au cours d'une précédente étude [1], nous nous sommes intéressés aux sources sonores réelles communément mises en jeu en acoustique architecturale : les instruments de musique. L'approche que nous avons choisie considérait l'instrument dans son entier et s'interrogeait sur son émission spatiale tant en terme de puissance que de directivité.

Notre volonté étant d'être au plus près des conditions d'écoute in situ afin d'obtenir une pertinence maximum pour les simulations, informatiques par exemple, nous avons élaboré une méthodologie de caractérisation du rayonnement tridimensionnel des sources sonores instrumentales.

La première phase de l'étude objective a consisté à déterminer 'la puissance' et 'la directivité' de ces sources à partir de la mesure de la pression efficace en champ libre [1]. Le musicien placé en chambre sourde au centre d'une sphère de 16 microphones [2] (voir figure 1), jouait des gammes sur l'ensemble de la tessiture de son instrument, ainsi que quelques mesures de deux pièces musicales prédéfinies.

Figure 1: Sphère de microphones indiquant les positions et les numéros des microphones



L'analyse des données objectives ainsi obtenues nous a conduits à élaborer une méthode d'acquisition, d'analyse et de représentation. Cette seconde étape nous a amenés à définir des directions remarquables appelés formants directionnels définis comme suit :

- le formant directionnel global moyen : direction de niveau de puissance et facteur de directivité maxima,
- le directionnel global absolu : niveau maximum en dB linéaire, toutes fréquences confondues,
- le formant directionnel global 'physiologique' absolu : niveau maximum en dB (A), toutes fréquences confondues,
- le formant directionnel global 'physiologique' modal : sur l'ensemble du spectre, direction atteignant le plus souvent un niveau maximum en dB (A),
- le formant directionnel absolu d'attaque : niveau instantané maximum du partiel dominant,
- le formant directionnel d'attaque : niveau maximum des partiels dans la zone spectrale formantique (zones du spectre où la puissance est maximale).

Nous avons choisi de présenter ici les résultats obtenus pour deux instruments volontairement très différents parmi ceux étudiés : la guitare et la trompette.

Du point de vue des formants directionnels ces deux sources instrumentales sont très différentes comme le montre le tableau 1, ci-dessous.

Tableau 1: Formants directionnels caractéristiques
Les numéros des directions listés dans le tableau renvoient aux positions de microphones utilisés pour la mesure en chambre sourde (voir figure 1).

	Guitare	Trompette
Formant directionnel global moyen	Direction 14	Directions 3, 4 et 5
Formant directionnel global absolu	Directions 1 et 2	Direction 16
Formant directionnel global 'physiologique' absolu	Directions 1 et 2	Directions 3 et 4
Formant directionnel global 'physiologique' modal	Directions 3 et 4	Directions 3, 4 et 7
Formant directionnel absolu d'attaque	Directions 1 et 7	Non défini
Formant directionnel d'attaque	Direction 4,7,11	Non Défini

Enfin, la dernière étape, celle qui nous intéresse ici, visait à établir la signification perceptive des données objectives précédemment obtenues. Nous voulions évaluer la directivité en terme de reconnaissance et de qualification et déterminer s'il existe une direction qui représente le mieux l'instrument pour l'auditeur. Il s'agissait de répondre aux questions suivantes : les paramètres objectifs permettent-ils de prédire quelle sera cette direction et est-elle suffisante pour représenter l'instrument ?

METHODOLOGIE SUBJECTIVE

Au-delà de la recherche d'une corrélation entre les résultats objectifs et l'évaluation perceptive, il s'agit aussi de définir le seuil de reconnaissance d'une source sonore en terme de directivité. Pour ce faire, nous avons élaboré une méthode basée à la fois sur l'écoute de séquences enregistrées et sur l'utilisation d'un questionnaire.

Ainsi, les séquences instrumentales utilisées pour l'analyse objective décrite plus haut sont également celles utilisées pour l'aspect perceptif et évaluatif. Nous avons donc demandé à des sujets d'identifier, de qualifier et de localiser ces enregistrements réalisés en chambre sourde.

Nous avons choisi de travailler exclusivement avec une population d'experts ayant de fait l'oreille exercée tels des musiciens professionnels notamment de l'Orchestre National de Bordeaux Aquitaine, enseignants et élèves du Conservatoire National de Bordeaux, ingénieurs du son. Les instrumentistes étaient interrogés sur leur propre instrument afin qu'ils aient une connaissance des plus approfondies du rendu sonore des sources étudiées. Tous les musiciens ayant participé à cette expérimentation pratiquaient leur instrument depuis plus de cinq ans et ont fait l'objet d'un audiogramme permettant de s'assurer de leur acuité auditive.

Nous avons proposé une série de 27 séquences dont la durée unitaire moyenne a été déterminée par des pré-tests. Partis d'enregistrements de 1 mn, puis de 30 s, nous avons finalement choisi de les réduire à 18 s, tant pour la durée globale des tests d'écoute que pour la fatigue auditive engendrée.

Le test commence par l'écoute de trois séquences présentant les trois sources complètes (toutes les directions sont mixées) d'un même groupe. Nous avons rassemblé les instruments par famille et par mode d'excitation constituant ainsi quatre groupes de sources. La guitare appartient au groupe des cordes pincées avec la harpe et l'alto (en mode pizzicato) tandis que la trompette du groupe des vents à embouchure est regroupée avec le tuba et le trombone. Un sujet incapable de reconnaître la source pour laquelle il est considéré comme expert verra son questionnaire rejeté.

Pour les séquences suivantes servant à l'identification et à la qualification, la présentation se fait en fonction des zones ou des directions :

- Séquences 4 à 9 : diffusion par zone 'géographique' (groupe de directions). Ces différentes zones correspondent spatialement à devant, droite devant 60°, droite derrière 120°, derrière, gauche devant 60°, gauche derrière 60°.
- Séquence 10 : diffusion uniquement de la direction formantique globale moyenne.
- Séquence 11 : diffusion de toutes les directions mixées exceptée la direction formantique globale moyenne.
- Séquences 12 à 27 : diffusion de chaque direction séparément y compris la direction formantique.

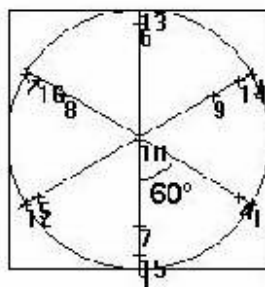


Figure 2 : Découpage de la sphère en zones (vue de dessus)

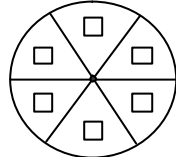
En ce qui concerne le questionnaire, il est composé de 27 'chapitres' correspondant aux 27 séquences présentées ci-dessus. Les trois premiers chapitres ne contiennent qu'une seule question d'identification permettant de confirmer l'expertise du sujet.

Pour les 24 autres chapitres, les questions sont en général au nombre de 5. Il s'agit tout d'abord d'identifier la source puis d'évaluer le respect de ces caractéristiques fréquentielles (figure 3), de la localiser en azimut et en distance et enfin de d'évaluer la présence de bruits liés au jeu musical. Si pour la majorité des questions nous avons utilisé une forme textuelle, dans le cas de la localisation un schéma et une échelle permettent davantage de lever les ambiguïtés de positionnement (figure 4).

Figure 3 : Question 3 : Evaluation des caractéristiques fréquentielles
Selon vous, les caractéristiques de la source sont-elles respectées ? :

	Pas du tout	Peu	Assez	Tout à fait
En général	1	2	3	4
Pour les fréquences aiguës	1	2	3	4
Pour les fréquences médiums	1	2	3	4
Pour les fréquences graves	1	2	3	4

Position du pupitre



Dos de la source



Figure 4 : Schéma et échelle de localisation utilisés dans le questionnaire

Nous avons décidé de réaliser cette étude en conditions de laboratoire en utilisant une diffusion par DAT et une écoute au casque afin de s'affranchir du point de vue acoustique de l'influence du lieu de test.

Après la diffusion de chaque séquence le DAT était arrêté afin de donner le temps au sujet de répondre aux différentes questions. Lorsque ce dernier avait terminé de remplir le questionnaire l'expérimentateur lui faisait écouter la séquence suivante. Toutes les séquences étaient diffusées une seule et unique fois.

EVALUATION SUBJECTIVE

Pour la guitare, notre population comprend 7 musiciens professionnels et 3 étudiants présentant tous une acuité auditive normale.

Les trompettistes sont au nombre de 13, principalement des étudiants de 3^{ème} cycle du Conservatoire. Les audiogrammes, de bonne qualité dans l'ensemble, nous ont fait remarquer malgré tout qu'à 6000 Hz de nombreux sujets ont un seuil d'audibilité supérieur à leur seuil d'audibilité moyen (76.9% pour l'oreille gauche et 53.8% pour l'oreille droite). En examinant de plus près les mesures de puissances et les facteurs de directivité calculés, nous voyons une localisation d'énergie très importante dans les directions qui forment le plan le plus proche de l'instrument et donc de l'instrumentiste [3]. Nous pouvons donc penser que cette distribution de l'énergie a pu entraîner une certaine fatigue auditive.

Malgré cela, nous pouvons affirmer que nos sujets sont des experts puisque 100% d'entre eux ont reconnu soit la guitare soit la trompette. Les cordes ont toutefois été plus délicats à reconnaître puisque seulement 60% des sujets interrogés pour cette famille ont identifié la harpe et 10% l'alto. Les cuivres présentent de meilleurs résultats (100% pour le tuba et 84.6% pour le trombone).

Diffusion Par Zone

Dans le tableau 3, qui présente l'évaluation du respect des caractéristiques de la guitare et de la trompette (séquences 4 à 9), nous voyons clairement apparaître que certaines zones sont mieux jugées que d'autres par les sujets, ce qui semble indiquer que la qualification de la source varie en fonction de la directivité. L'aspect directionnel est donc perceptible par des sujets experts.

Les pourcentages apparaissant en gras nous renseignent quant aux diffusions les plus respectueuses que ce soit de la source dans son ensemble ou bien par gamme de fréquence. A l'inverse, ceux soulignés indiquent les enregistrements les moins estimés.

Tableau 3 : Pourcentages de sujets estimant que les caractéristiques de l'instrument sont assez à tout à fait respectées

		Guitare	Trompette
Droite 60°	En général	<u>30%</u>	61.5%
	Aiguës	90%	46.2%
	Médium	90%	76.9%
	Graves	50%	<u>23.1%</u>
Derrière	En général	80%	61.5%
	Aiguës	<u>50%</u>	38.5%
	Médium	100%	76.9%
	Graves	70%	38.5%
Gauche 60°	En général	70%	84.6%
	Aiguës	90%	74.9%
	Médium	80%	84.9%
	Graves	60%	69%
		Guitare	Trompette
Gauche 120°	En général	50%	76.9%
	Aiguës	70%	46.2%
	Médium	70%	61.5%
	Graves	50%	61.5%
Devant	En général	40%	84.6%
	Aiguës	70%	61.5%
	Médium	<u>60%</u>	69.3%
	Graves	<u>30%</u>	61.5%
Droite 120°	En général	60%	<u>23.1%</u>
	Aiguës	70%	<u>30.8%</u>
	Médium	<u>60%</u>	<u>46.1%</u>
	Graves	70%	38.2%

Pour la guitare, la zone *Derrière* présente de façon très marquée les meilleures évaluations tant en général que pour les fréquences médiums et graves (avec respectivement 100% et 70%). Par contre c'est dans cette même zone que les aiguës sont le moins bien respectées selon nos sujets, alors qu'ils le sont pour 90% de notre population dans la diffusion *Gauche 60°*.

Les zones peu à pas du tout respectueuses sont nettement moins tranchées que ce soit du point de vue de la répartition ou des pourcentages eux-mêmes. En effet, si c'est *Droite 60°* qui est jugée négativement pour la source dans son ensemble, c'est plutôt *Devant* et *Droite 120°* pour les médiums (tout de même 60%) et *Devant* pour les graves (seulement 30% de sujets 'satisfaits').

Les résultats obtenus pour la trompette sont davantage homogènes. La zone la plus respectueuse et ce pour tous les items de la question est *Gauche 60°* avec des pourcentages compris entre 85% et 70%. *Devant* obtient les mêmes résultats pour l'item 'en général'. A l'opposé, *Droite 120°* est la moins respectueuse des caractéristiques avec des pourcentages très faibles (23% à 46%) que nous nous intéressions à l'instrument en général ou aux fréquences aiguës ou médiums. Pour les fréquences graves, *Droite 60°* n'obtient que 23.1%.

Si nous étudions maintenant la zone présentant les résultats les plus homogènes, nous voyons que les données changent en ce qui concerne la guitare. La zone la plus respectueuse des caractéristiques de cet instrument est alors *Gauche 60°* (pourcentages compris entre 60 et 90%). Nous retrouvons dans cette zone les directions 3 et 4 qui sont toutes deux formants directionnels physiologiques modals. De plus, la direction 4 correspond également au formant directionnel d'attaque de la guitare.

Pour la trompette, *Gauche 60°* et *Devant* restent les zones les plus homogènes. Cette fois encore, elles comprennent soit la direction 4 (*Gauche 60°*) qui est simultanément formant directionnel global moyen, formant directionnel global physiologique absolu, formant directionnel global physiologique modal ; soit la direction 7 (*Devant*) qui est également formant directionnel global physiologique modal.

Ces résultats présument de l'existence d'une corrélation entre les formants définis objectivement et la qualité instrumentale perçue.

Quelle que soit la source instrumentale envisagée, la localisation tant en azimut qu'en distance ne semble pas être un exercice aisé même pour des sujets experts.

Ainsi, nous trouvons en général une grande hétérogénéité dans les réponses, notamment concernant l'azimut et les pourcentages de bonnes réponses n'excèdent que très rarement les 30%. Pour la guitare la zone la mieux localisée est *Droite 120°* (50% de bonnes réponses) contenant la direction 2 définie comme formant directionnel global absolu avec ou sans pondération.

Pour la trompette il s'agit de *Derrière* et *Devant* (respectivement 30.8% et 38.5%). Dans cette dernière se situe la direction 7, formant directionnel global physiologique modal.

Diffusion Du Formant Global Moyen Seul

Pour la guitare, les caractéristiques générales de la source sont assez à tout à fait respectées pour 60% des sujets. Mais lorsque nous examinons les résultats obtenus par gamme de fréquence les sujets sont très partagés avec 50%. Le formant global moyen de la trompette est perçu comme respectueux par davantage de sujets avec un pourcentage très élevé : 92.3%. Quant aux fréquences, cette séquence obtient les meilleurs scores : 84.6% des sujets l'ont trouvée très représentative pour les fréquences médiums et graves et 76.9% pour les aiguës.

Il semble donc que le formant directionnel global moyen soit important dans la reconnaissance et l'évaluation perceptive d'un instrument, d'autant plus que cet instrument est directif. Toutefois, il apparaît comme étant nécessaire mais pas suffisant pour tous types de sources.

Nous sommes amenés à penser que cette caractéristique objective joue également un rôle dans la localisation. En effet, dans le cas de la guitare 60% des sujets se situent plutôt correctement par rapport à la source et à une distance plutôt médiane. Pour la trompette, les sujets pensent être principalement *Devant* ou à *Gauche 60°* (80% des musiciens) et proche de la source.

Diffusion De Toutes Les Directions Sans Le Formant Global Moyen

Les résultats obtenus pour cette diffusion sont inverses aux précédents. Ainsi pour la guitare, cette séquence semble davantage correspondre aux caractéristiques générales ou même spécifiques de l'instrument (entre 60 et 90%). Cela semble montrer que ce groupe de directions comprend une ou des directions qui rehausse(nt) le jugement et que le formant global seul est insuffisant à prédire la direction représentant le mieux l'instrument (formant subjectif). Par contre pour la trompette les jugements sont très mauvais (pourcentages compris entre 53.8 et 38.5%).

Quelle que soit la source, il règne une certaine confusion ou imprécision dans les réponses concernant la situation spatiale de la source. Ainsi les sujets localisent la source soit devant soit derrière pour la guitare, plutôt devant eux pour la trompette. Si la distance est moyenne à faible entre eux et la guitare, elle est plutôt élevée avec la trompette. Il apparaît donc que cette diffusion n'apporte pas toutes les données nécessaires pour obtenir une localisation correcte. Le mélange de toutes les directions fait donc perdre au sujet des informations de localisation. Ceci semble justifier la diffusion par zones ou par direction isolées.

Diffusion Par Direction

Toutes les séquences diffusées ont permis aux musiciens d'identifier l'instrument. Nous avons ensuite déterminé les formants subjectifs en tenant compte à la fois des directions ayant été définies comme respectueuses par le plus grand nombre de sujets et de l'homogénéité des réponses pour les différents gammes de fréquences.

Ainsi, les directions les plus appréciées pour la guitare sont la direction 4 et la direction 11. Elles sont situées dans la même zone (60° à gauche de l'instrumentiste) en haut pour la

direction 4 et en bas pour la direction 11. Cette zone semble présenter une directivité plus prononcée. Avec des pourcentages compris entre 80% et 100% de respect des caractéristiques, ces deux directions constituent les formants directionnels subjectifs, avec un petit avantage de la direction 4 sur la 11.

Concernant la trompette, ce sont les directions 1,14,11et 15 qui sont les mieux estimées. Ces différentes directions se situent toutes dans les deux zones (*Devant* et *Gauche 60°*) qui nous sont apparues comme les plus respectueuses des caractéristiques des instruments. Les formants subjectifs de la trompette sont donc par ordre décroissant de respect des caractéristiques : 15, 11, 1 et 4.

CONCLUSION

Le seuil de reconnaissance de la source correspond bien à une direction, il est donc légitime de demander aux auditeurs de qualifier les sources en fonction de celles-ci. Certaines zones et directions sont mieux jugées que d'autres par les sujets ce qui indique que la qualification de la source varie en fonction de la directivité.

Les tests d'écoute ont permis d'extraire des formants directionnels subjectifs (direction représentant le mieux l'instrument), corrélés pour certains avec les critères objectifs définis précédemment. Pour les instruments testés ici, nous avons donc dégagé un certain nombre de formants objectifs pertinents.

Seule la direction modale en niveau maximum en dB (A) apparaît pertinente à la fois pour les deux instruments présentés.

Pour la guitare un second formant objectif est important : la direction de partiel maximum dans la zone de puissance maximum ou formant d'attaque. Il semble même qu'il soit prédominant dans ce cas précis.

Les autres critères objectifs pertinents pour la trompette sont la direction de puissance et de facteur de directivité maximum et la direction de niveau maximum en dB (A).

Dans la suite de l'étude, nous souhaiterions aborder plus en détail le rôle des formants d'attaque (non exploités ici), en effet dans le cas de la guitare ils semblent permettre eux aussi de discriminer le formant directionnel subjectif [1].

Nous souhaiterions aussi affiner les paramètres influant sur la localisation.

Nous souhaiterions réaliser d'autres tests et si vous êtes intéressés merci de nous contacter au laboratoire.

Pour finir, nous tenons à remercier l'ensemble des musiciens qui ont accepté de participer bénévolement à cette étude. Merci également à David Degos et Anas Hamdoun, tous deux stagiaires au GRECO Bx, pour leur précieuse aide notamment dans le recueil des données.

REFERENCES

- [1] L. COUTHON *Caractérisation de sources sonores instrumentales en puissance et en directivité*. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, Décembre 2003.
- [2] M. ROSSI *Electroacoustique*, p. 252., Edition Dunod, 1986.
- [3] A. HAMDOUN *Directivité de sources sonores*. Rapport de Maîtrise de Physique et Applications Université Bordeaux 1, GRECO Bx, Juin 2003.