



HAL
open science

ÉTUDE DES PARAMÈTRES LIÉS À LA PRISE DE SON POUR LES APPLICATIONS D'ACOUSTIQUE VIRTUELLE

O. Warusfel, J.-P. Jullien

► **To cite this version:**

O. Warusfel, J.-P. Jullien. ÉTUDE DES PARAMÈTRES LIÉS À LA PRISE DE SON POUR LES APPLICATIONS D'ACOUSTIQUE VIRTUELLE. *Journal de Physique Colloques*, 1990, 51 (C2), pp.C2-877-C2-880. 10.1051/jphyscol:19902204 . jpa-00230521

HAL Id: jpa-00230521

<https://hal.science/jpa-00230521>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

ÉTUDE DES PARAMÈTRES LIÉS À LA PRISE DE SON POUR LES APPLICATIONS
D'ACOUSTIQUE VIRTUELLE

O. WARUSFEL et J.-P. JULLIEN*

*Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique, 31 Rue
Saint-Merri, F-75004 Paris, France*

** Centre National d'Études des Télécommunications, Route de Trégastel,
F-22301 Lannion, France*

Résumé: Cette étude tente d'évaluer l'influence des paramètres de prise et de restitution du son sur la qualité acoustique perçue par l'auditeur. Suite aux travaux entrepris à l'IRCAM, dans le domaine de la caractérisation en acoustique des salles, cette qualité est analysée sur la base de critères objectifs dont on connaît l'interprétation perceptive. Ces analyses sont effectuées à partir d'une base de données élaborée par des simulations informatiques.

Abstract: This paper studies how the parameters of an electroacoustical system will interfere with the acoustical quality perceived by a listener. According to previous studies proceeded at IRCAM on room acoustics characterisation, this quality is analysed with objective criteria which relevancies in perceptive domain have been validated. This study uses data collected through computer simulations.

1. INTRODUCTION - PROBLEMES LIÉS A LA PRISE ET A LA RESTITUTION DU SON

A la suite d'études à caractère fondamental dans le domaine de l'acoustique des salles (caractérisation objective et perceptive, prédiction informatique), l'IRCAM a entrepris un certain nombre de travaux d'application dans le domaine du contrôle des champs sonores artificiels. Ces applications liées à l'utilisation de systèmes électroacoustiques, ont mis en évidence l'importance des maillons terminaux de la chaîne électroacoustique: la prise et la restitution du son. En effet, indépendamment des traitements particuliers à chaque vocation (amplification, retransmission, acoustique variable, diffusion scénique...), des paramètres tels que la directivité des transducteurs, leur position et orientation par rapport à l'instrument et à l'auditeur, vont conditionner la qualité acoustique finale. Ainsi, dans le domaine musical, lorsque le compositeur confronte, au sein d'une oeuvre mixte, instrument réel et signal instrumental diffusé par haut-parleur, celui-ci déplore la différence perceptive qui maintient ces deux sources dans des mondes étrangers, qu'il voudrait pourtant en osmose.

Afin de franchir une étape dans l'optimisation de ces systèmes, il nous a donc paru nécessaire de préciser les caractéristiques de la qualité acoustique induites par le choix et le contrôle des transducteurs liés aux opérations de prise et de restitution du son. Une base de données issue de simulations informatiques et analysée sur la base de critères objectifs dont on connaît l'interprétation perceptive permet d'engager cette étude, autour du problème de la diffusion d'une source instrumentale.

2. SIMULATIONS

2.1 Méthodes d'acoustique prévisionnelle⁴

Les méthodes d'acoustique prévisionnelle évaluent, à partir de la description géométrique de la salle et des caractéristiques acoustiques des parois, des sources et du récepteur, la qualité acoustique perçue en un point donné. L'IRCAM a développé un ensemble de logiciels basés sur différents modèles physiques de la propagation acoustique. L'hypothèse de réflexion spéculaire est gérée par un algorithme combinant la méthode des sources images (méthode exacte) et la méthode des cônes (lancé de rayons). Ces méthodes décrivent efficacement l'organisation temporelle des premières réflexions. En revanche l'hypothèse de réflexion diffuse est gérée par une méthode markovienne qui décrit les transferts d'énergie entre les parois de la salle. Cette représentation permet d'accéder simplement aux critères liés au régime tardif de la salle (temps de réverbération, force sonore).

2.2 Dérivation d'un modèle moyen de directivité des sources

Paramètres d'entrée

Outre la géométrie de la salle et la position des sources et des récepteurs, les paramètres d'entrée comprennent une description de la directivité des transducteurs. Pour les sources, différents modes de caractérisation peuvent être utilisés: indication d'un indice de directivité (rapport de la pression quadratique dans une direction sur la puissance moyenne émise), indication des angles d'ouverture à -3dB ou -6dB, indication de la sensibilité en 20 ou 40 points répartis autour de la source. A la suite d'une analyse effectuée sur un ensemble de sources instrumentales, l'indication d'un indice de directivité a été retenue pour mener cette étude.

Caractérisation des sources instrumentales

Préalablement à cette étude une campagne de mesure avait été réalisée afin de vérifier la validité d'une caractérisation de la directivité d'un instrument de musique par un indice de directivité. En particulier le but était de contrôler, dans chaque bande de fréquence, la stabilité de cette mesure en fonction des conditions de jeu: tessiture, nuance et qualité acoustique de la salle. Les mesures relevées dans trois configurations de l'Espace de Projection (TR 1.0 sec à 4.5 sec) pour les instruments suivants: flûte, hautbois, alto, trombone, piano ont permis de confirmer ces hypothèses. Une des principales observations issues de cette étude est que malgré des comportements individuels différents, tous les instruments présentent une variation globale de leur indice de

directivité très accentuée par rapport à celle d'un haut-parleur. Si leurs indices sont comparables en haute fréquence, les instruments se révèlent globalement plus omnidirectionnels que les hauts-parleurs dans le reste du spectre.

2.3 Exploitation des résultats - Interprétation perceptive²

Les résultats générés par les méthodes de prévision acoustique prennent la forme de courbes de décroissance de l'énergie en fonction du temps assimilables aux données fournies par la mesure de réponses impulsionnelles dans une salle. De cette représentation il est possible de calculer un ensemble de critères acoustiques caractérisant objectivement la qualité acoustique. Au delà du bilan acoustique, l'interprétation perceptive peut être menée grâce à la connaissance des relations entre les critères acoustiques et les facteurs qui gouvernent notre perception. Des études ont montré en effet qu'en dépit d'une dispersion des jugements de préférence les auditeurs évaluent des situations d'écoutes suivant des aspects perceptifs stables d'un sujet à l'autre. Un programme de recherche mené à l'IRCAM a notamment mis en évidence l'existence de 14 facteurs ainsi que leur évaluation à partir d'un jeu de critères objectifs. La possibilité d'une quantification des diverses composantes de la perception permet de considérer la qualité acoustique comme une notion essentiellement perceptive et fonde le concept d'acoustique virtuelle. Une *salle virtuelle* est donc un point dans l'espace perceptif, et la pertinence des contrôles offerts par les systèmes d'acoustique variable se mesure à la possibilité de gérer indépendamment ces divers aspects de la perception. De même, la connaissance des seuils de discrimination permet de formuler l'objectif de réalisation d'une *source virtuelle* en termes de distance maximale acceptable sur l'ensemble des facteurs perceptifs entre la situation réelle et la diffusion d'un signal instrumental.

L'interprétation acoustique des résultats de la présente étude est menée sur un ensemble réduit de facteurs. En particulier, le temps de réverbération et la force sonore globale, liés uniquement à la salle, sont considérés comme des constantes et ne font pas partie de l'analyse. De même, les simulations étant effectuées pour une octave, les aspects de coloration liés à la dépendance fréquentielle du temps de réverbération et de la force sonore ne sont pas observables directement.

Les critères acoustiques retenus sont:

- _la "Clarté à 80ms" (C80 en dB), rapport entre les énergie précoce et tardive (frontière à 80ms), pilote la précision d'écoute et participe, suivant la plage de variation, aux aspects de distance subjective (valeurs fortes) ou de réverbérance (valeurs faibles).
- _le "Son direct étendu" (DirEt en dB), niveau du son direct et des premières réflexions frontales (avant 40ms), est lié à la sensation d'éloignement de l'auditeur. Afin d'obtenir une signification absolue ce niveau est pondéré par le niveau de l'onde directe à 1 mètre. Il est donc interprétable comme une distance subjective à comparer à celle éprouvée en champ libre.
- _l'"Efficacité latérale" (LE en dB), rapport entre l'énergie des premières réflexions latérales (entre 10 et 80ms) et l'énergie des premières réflexions omnidirectionnelles, gère la sensation d'enveloppement.
- _l'"Angle" (en °), barycentre angulaire des premières réflexions (avant 40ms), renseigne sur l'impression d'étendue de la source.
- _Le critère "Son direct sur premières réflexions" (Dir/Ref en dB), rapport d'énergie, est lié à un aspect de contraste sonore.
- _Le "Temps central précoce" (ECT en ms), et "l'écart type temporel" (TSD en ms), moments d'ordre 1 et 2 mesurés sur les premières réflexions, sont associés aux aspects de relief sonore: fluidité et dureté.

Pour ces trois derniers critères une pondération spatiale est utilisée afin de filtrer les réflexions tardives (entre 40 et 80ms) venant de l'arrière, car celles-ci sont perceptivement assimilées au champ réverbéré. En pratique, la qualité acoustique au point auditeur est donc obtenue par la mesure ou la prédiction de 3 réponses impulsionnelles correspondant respectivement aux sensibilités microphoniques omnidirectionnelle, cardioïde et figure8.

3. DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNEES

Le principe de l'étude est de comparer, pour un point d'écoute en salle, les situations "naturelle" et de restitution en analysant les qualités acoustiques respectives déduites des résultats de simulations. La courbe de décroissance de l'énergie correspondant à une situation de restitution est calculée par convolution de la réponse du microphone de prise de son en présence de l'instrument et de la réponse recueillie au point d'écoute avec un haut-parleur de restitution.

La discussion présentée ci-après repose sur les résultats obtenus en variant les paramètres suivants:

- _ 2 valeurs d'indice de directivité pour l'instrument: 0dB (source omnidirectionnelle) et +6dB. Cette dernière étant orientée de face ou de côté par rapport à l'axe de la salle
- _ 2 valeurs d'indice de directivité pour le haut-parleur: 0dB et +6dB. Le haut parleur est présenté de face.
- _ 4 positions de microphone de prise de son. Orienté vers la source, dans l'axe de la salle, à une distance de 0,5m, 1m, 2m et 4m .
- _ 2 types de sensibilité pour le microphone de prise de son: omnidirectionnelle et cardioïde.

Ces variations ont été opérées dans deux salles différentes: l'Espace de Projection (salle à acoustique variable de l'IRCAM) avec l'auditeur à 11.5m de la source et la salle Pleyel avec l'auditeur à 24m de la source (parterre). Le tableau ci-dessous présente dans le cas d'une source omnidirectionnelle les critères acoustiques associés à ces configurations acoustiques. En plus des critères précédemment cités sont indiqués ici les valeurs du temps de réverbération (TR) et de force sonore (G).

	C80(dB)	TR(ms)	G(dB)	Angle(°)	LE(dB)	Dir/Ref(dB)	ECT(ms)	TSD(ms)
ESPRO	0.3	1429.	-19.2	14.2	-3.3	-7.5	37.7	17.7
PLEYEL	-1.1	1824.	-25.1	6.1	-7.1	-5.1	46.0	9.3

Ainsi pour chacun des 6 couples salle/source la situation de référence (écoute "naturelle") a été comparée à 16 conditions de prise et de restitution du son (l'étude est limitée au cas d'une restitution dans la salle où est faite la prise de son).

4. DISCUSSION

4.1 Quantification des différences

Le tableau ci-dessous présente les résultats de simulation dans la salle Pleyel pour un instrument omnidirectionnel. Le microphone est de sensibilité cardioïde et, sont présentées en alternance, pour chaque distance de prise de son, les valeurs des critères prédits pour la restitution sur haut-parleur omnidirectionnel ou directif. Sont également indiquées, pour chaque critère, les différences objectives équivalentes aux seuils différentiels de sensibilité. Il est ainsi possible de déduire des observations objectives une distance perceptive globale (présentée en dernière colonne) entre les situations naturelle et de restitution.

Seuil diff.	C80 [1dB]	DirEt [1dB]	Angle [°]	LE [1dB]	Dir_Ref [1.6dB]	ECT [16ms]	TSD [20ms]	Dist.Perc. Globale [85pu]
Natutelle	-1.10	-21.95	6.05	-7.09	-5.10	46.02	9.25	*****
0.5m/HP Omni	-1.20	-21.95	6.98	-7.13	-5.10	46.06	9.45	13
0.5m/HP ID 6	0.80	-17.56	5.19	-8.09	2.10	36.30	8.95	542
1m /HP Omni	-1.30	-22.11	7.06	-7.17	-5.20	46.10	10.05	25
1m /HP ID 6	0.70	-17.61	5.31	-8.09	1.80	36.35	10.06	527
2m /HP Omni	-1.70	-22.39	6.91	-7.17	-5.20	46.96	9.64	64
2m /HP ID 6	0.40	-17.96	5.19	-8.22	1.60	39.11	9.95	497
4m /HP Omni	-2.40	-22.89	6.91	-7.23	-5.30	47.34	9.70	93
4m /HP ID 6	-0.20	-18.46	5.19	-8.42	1.00	41.08	10.08	439

La faiblesse des variations pour les critères objectifs Angle, ECT et TSD (compte tenu des seuils de sensibilité perceptive correspondants), confirmée par le reste de l'étude, nous a conduit à limiter l'analyse comparative sur les quatre autres critères.

4.2 Influence du type de sensibilité microphonique

Les résultats des simulations permettent de vérifier la réduction des différences apportées par la prise de son lorsqu'on utilise une sensibilité cardioïde par rapport à la sensibilité omnidirectionnelle. Cependant la figure 1 montre que cette réduction est comparable à celle que l'on obtiendrait en divisant par deux la distance de prise de son effectuée avec un micro omnidirectionnel.

4.3 Choix du dispositif de restitution

Les courbes de la figure 2. montrent les différences perceptives obtenues en fonction de la distance de prise de son pour les deux types de directivité des haut-parleurs et pour deux types d'instrument. Ces courbes illustrent l'importance de la directivité du transducteur sur la qualité acoustique perçue lors de la restitution ainsi que la prédominance de ce paramètre sur le paramètre de distance de prise de son. Dans les deux cas présentés la distance perceptive, lorsqu'on interchange les directivités, est de l'ordre de 6 fois le seuil perceptif tandis que le respect de la directivité permet de rester en dessous du seuil pour des distances de prise de son (omni dans ce cas) limitées. Cependant, on peut noter que dans le cas de la diffusion d'une source omnidirectionnelle par un haut-parleur directif la distance perceptive diminue lorsqu'on éloigne le microphone de prise de son.

Par ailleurs le tableau précédent, permet de cerner les aspects perceptifs altérés par la diffusion d'un signal de source omnidirectionnelle sur un haut-parleur directif, situation qui se rapproche des conditions classiques de diffusion instrumentale sur haut-parleurs (dans la partie médium du spectre). Les principaux effets perceptifs générés sont le rapprochement subjectif de la source (liée au critère DirEt), l'accentuation du contraste (Dir/Ref) et dans une moindre mesure l'augmentation de la précision d'écoute (C80) et la diminution de l'enveloppement (LE). Bien que restant dans une plage imperceptible, la variation de l'angle montre une tendance au rétrécissement de l'image de la source. On peut observer que les différences relevées sur le critère Dir/Ref entre les situations de diffusion omni et directive sont de l'ordre de grandeur de l'indice de directivité. Cette remarque prouve que l'effet précoce de la salle est déjà révélateur de la puissance totale rayonnée de la source.

L'indice de directivité étant une caractéristique intrinsèque du transducteur, ces différentes observations montrent l'intérêt d'un dispositif de diffusion arrière pour la restitution des sources instrumentales. Un réglage du gain de ce champ arrière en fonction de la fréquence est nécessaire pour le contrôle de l'indice de directivité global du dispositif.

4.4 Problèmes liés à la prise de son

Lorsque le choix de la directivité du dispositif de diffusion est fixé, il subsiste une dépendance forte de la qualité acoustique en fonction de l'emplacement du microphone. Ce cas est illustré par la figure 3 qui présente les résultats obtenus lorsque le micro est orienté à 90° par rapport au lobe de directivité de l'instrument (source orientée de côté). Quel que soit le parti adopté pour la restitution, les distances perceptives sont supérieures au seuil de sensibilité; toutefois le haut-parleur omnidirectionnel aboutit à une distance globale moins grande (fig 3.a). Dans ce dernier cas l'optimisation par éloignement de la prise de son est délicate car les effets sur les différents facteurs sont contradictoires (fig3.b) et se traduisent par la présence d'un minimum global peu marqué. Par ailleurs l'analyse fréquentielle du signal de prise de son montre une grande dépendance par rapport à l'environnement proche: la présence de réflexions précoces colore le signal de prise de son sans autoriser de traitement a posteriori (filtrage en peigne).

4.5 Influence de la salle

Les courbes de la figure 2. permettent de comparer les résultats des simulations dans les deux salles étudiées. Pour la salle Pleyel les distances perceptives entraînées par le non respect de la directivité de l'instrument sont plus importantes. En revanche dans l'Espace de Projection la qualité de restitution est beaucoup plus sensible à l'éloignement du microphone et le seuil de perception est franchi pour une distance plus faible. Ce comportement est lié au niveau de l'effet de salle, en particulier des premières réflexions, qui est plus important dans l'Espace de Projection.

5. CONCLUSION

L'analyse a permis de caractériser qualitativement les différences perceptives induites par l'utilisation d'un système de prise et de restitution du son ainsi que de quantifier ces différences en fonction des paramètres de la chaîne électroacoustique. Le respect de la directivité de l'instrument joue un rôle prépondérant dans la qualité finale du système, ce qui suggère, pour la diffusion de signaux instrumentaux d'adjoindre au haut-parleur diffusant l'onde directe, un champ arrière modulable en fréquence de manière à suivre le comportement de l'instrument. Par ailleurs ont été soulignés les problèmes liés aux paramètres de la prise de son, en particulier aux difficultés d'optimisation rencontrées lorsque le micro est placé dans une direction particulière de l'instrument.

REFERENCES

- 1 Christian Malcurt. "Simulation informatiques pour prédire les critères de qualification acoustique des salles". Thèse de 3^{ème} cycle. Faculté de Toulouse 1986.
- 2 Catherine Lavandier. "Validation perceptive d'une grille de caractérisation objective de la qualité acoustique des salles." Thèse de 3^{ème} cycle. Faculté du Mans. 1989

Figure 1 Superposition des différences perceptives relevées sur les critères C80 et DirEt pour un micro omni (●) et un micro cardio (□), celui-ci étant situé deux fois plus loin.

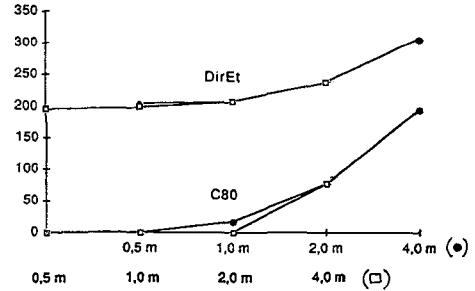


Figure 2 Différences perceptives globales en fonction du haut-parleur et de la distance de prise de son. 2.a Instrument directif (ID = 6dB) 2.b. Instrument omnidirectionnel. □, ■ HP omnidirectionnel △, ▲ HP directif (ID = 6dB) ■, ▲ Salle Pleyel □, △ Espace de Projection

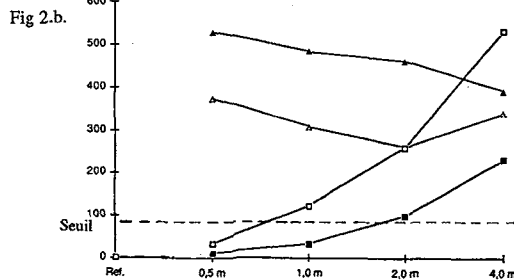
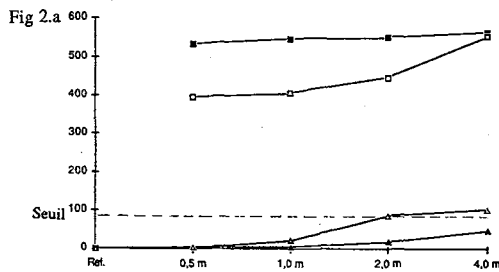


Figure 3 Distance perceptive en fonction de la distance pour un micro situé à 90° par rapport à l'axe de l'instrument Fig3.a Distance globale suivant le choix du haut-parleur. Fig3.b Dans le cas d'un haut-parleur omnidirectionnel, distances perceptives sur les quatre critères de l'analyse.

