

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Salles à l'acoustique variable : étude des cas à Paris

Fábio Leão Figueiredo¹, Jean-Dominique Polack², Hugo Dujourdy³

¹LAM - Université Pierre et Marie Curie, 11 rue de Lourmel 75015 Paris, leao@lam.jussieu.fr

²LAM - Université Pierre et Marie Curie, 11 rue de Lourmel 75015 Paris, jean-dominique.polack@upmc.fr

³LAM - Université Pierre et Marie Curie, 11 rue de Lourmel 75015 Paris, hugody@orange.fr

Depuis quelques mois, l'équipe Lutheries, Acoustique, Musique (LAM) de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert (Université Pierre et Marie Curie) mène une campagne de mesures acoustiques dans des salles de spectacles à Paris. Quelques résultats sont présentés. Nous avons retenu deux salles à l'acoustique variable qui portent un intérêt particulier. Les comportements acoustiques de leurs diverses configurations sont analysés. Le protocole de mesure est exposé : enregistrement en Ambisonics B-format, auralisation des réponses impulsionnelles réalisée dans une salle équipée de douze haut-parleurs régulièrement disposés. Une des originalités de cette campagne sont les mesures salle pleine, dont les résultats seront exposés pour les salles en question.

1 Introduction

Pendant l'année 2009, l'équipe Lutheries, Acoustique, Musique (LAM) de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert (Université Pierre et Marie Curie) a mené une campagne de mesures acoustiques dans des salles de spectacles de la région parisienne. Les salles de spectacles ont été sélectionnées pour leur intérêt historique, architectural, ou acoustique. Deux salles présentaient une particularité commune : une acoustique variable. Ces salles comportaient des panneaux mobiles grâce auxquels il était possible de choisir une configuration acoustique plus absorbante ou plus réfléchissante. Nous avons fait des mesures acoustiques dans les configurations extrêmes et, pour l'une des salles, nous avons aussi mesuré une configuration intermédiaire utilisée en concert. Pour quelques positions dans salle, nous avons fait des mesures salle occupée. Le but de cet article est de montrer le comportement des indices acoustiques de la norme ISO 3382 [1] quand la configuration acoustique des salles change.

2 Procédure expérimentale

Le matériel de mesure acoustique était constitué essentiellement d'un ordinateur portable, d'une carte son avec 4 canaux numériquement contrôlés, d'un microphone Ambisonics B-format (premier ordre) [2], d'une source sonore dodécaédrique et d'un caisson de graves.

La technique d'obtention des réponses impulsionnelles utilisée a été celle de la déconvolution du signal enregistré dans la salle par le signal original. Un sinus glissant a été employé comme signal original, car cette technique est reconnue comme la plus efficace en ce qui concerne l'élimination des distorsions harmoniques de la source sonore et pour le rapport signal/bruit [3], [4].

En raison de la diversité et de l'efficacité des outils présentés, la base informatique d'enregistrement et de

traitement de signal retenue a été l'ensemble des plug-ins Aurora, conçus par Angelo Farina [5].

Le sinus glissant généré part d'une fréquence de 20 Hz et va jusqu'à 20 kHz en 30 secondes. Une durée relativement longue a été choisie car le rapport signal/bruit est proportionnel au temps de balayage. Ainsi nous augmentons sensiblement ce rapport, ce qui est désirable surtout en ce qui concerne les mesures en salle occupée, où le signal est moins fort que celui joué en salle vide.

Une fois choisies les positions de la source et du microphone, le signal était joué et enregistré sur 4 canaux (1 canal omnidirectionnel, et 3 canaux bi-directionnels disposés selon les 3 axes de l'espace), ce qui nous donne donc 4 réponses impulsionnelles par position d'enregistrement.

Nous avons fait les enregistrements avec un microphone Ambisonics B-format, car ce travail fait partie d'un projet de recherche qui prévoit l'auralisation 3D des champs acoustiques dans une salle équipée de douze haut-parleurs régulièrement disposés.

En vue d'améliorer la qualité sonore de l'auralisation, les réponses impulsionnelles du système source ont été enregistrées dans la chambre anéchoïque du Laboratoire National de métrologie et d'Essais, localisé à Trappes. À partir de ces réponses impulsionnelles, nous avons créé des filtres dont le but est de faire diminuer l'influence de la source sur l'auralisation finale.

Pour chaque position microphone/source le sinus glissant a été joué dans la salle et enregistré. Les signaux enregistrés ont été convolués avec le signal inverse du sinus glissant, ce qui équivaut à une opération de déconvolution du signal enregistré. Le résultat de cette première déconvolution est une réponse impulsionnelle de la salle qui comprend l'influence du système source. Après une deuxième déconvolution, cette fois-ci par les filtres calculés à partir des réponses impulsionnelles obtenues dans la chambre anéchoïque, le résultat final est la réponse impulsionnelle de la salle seule, et nous pouvons calculer les indices selon la norme ISO 3382.

3 Les théâtres

Les salles dont cet article s'occupe sont l'Auditorium du Musée d'Orsay et la salle de la Maison de la Culture du Japon, à Paris. L'Auditorium du Musée d'Orsay, situé dans le musée de même nom, est une salle intimiste de 347 places, alors que la salle de la Maison de la Culture du Japon est plus volumineuse, même si la différence entre le nombre de places n'est pas très importante (400 places pour la Maison de la Culture du Japon). Deux caractéristiques se ressemblent dans ces espaces : le matériau prédominant sur les surfaces (bois) et la multifonctionnalité des salles. En effet, ces salles disposent de panneaux mobiles qui permettent de choisir le degré d'absorption acoustique. Dans l'Auditorium du Musée d'Orsay ces panneaux sont placés sur les surfaces latérales, cependant qu'à la Maison de la Culture du Japon ils sont placés sur les surfaces latérales, mais aussi frontales et derrière le public.

Etant donné que ces salles sont symétriques et que l'espace réservé au public est relativement limité, nous avons choisi quatre positions de microphone pour l'Auditorium du Musée d'Orsay et cinq positions de microphone pour la Maison de la Culture du Japon. Nous avons toujours adopté trois positions de source sur la scène : une central pour le calcul des indices et deux latérales en vue de l'auralisation (car les morceaux anéchoïques que nous avons utilisés ont été enregistrés en stéréo).

Le même jour que les mesures en salle vide, nous avons fait des enregistrements dans les salles occupées par le public, juste avant un concert. Pour que cela soit faisable, le nombre de positions de microphone a été réduit à deux pour l'Auditorium du Musée d'Orsay et à une seule pour la Maison de la Culture du Japon.

4 Résultats

Positions du microphone - Maison de la Culture du Japon :

a, b, c : axe longitudinal central ('a' plus proche de la scène, 'c' plus loin de la scène).

d, e : axe longitudinal latéral ('d' plus proche de la scène, 'e' plus loin de la scène).

Position du microphone pour la mesure en salle occupée : b

Positions du microphone - Auditorium du Musée d'Orsay:

a, c : axe longitudinal central ('a' plus proche de la scène, 'c' plus loin de la scène).

d, e : axe longitudinal latéral ('d' plus proche de la scène, 'e' plus loin de la scène).

Positions du microphone pour la mesure en salle occupée : a, c

Les barres correspondent aux configurations acoustiques (la plus réfléchissante et la plus absorbante pour chaque salle) et la situation vide/pleine. La configuration de concert a été partiellement réfléchissante (la moitié des panneaux en position) pour l'Auditorium du Musée d'Orsay et la plus réfléchissante pour la Maison de la Culture du Japon. Durant les concerts, l'Auditorium du Musée d'Orsay était complètement plein, alors que la Maison de la Culture du Japon avait 60% de sa capacité

Les valeurs des indices sont données par la moyenne des bandes d'octave des fréquences de 250 Hz à 2kHz.

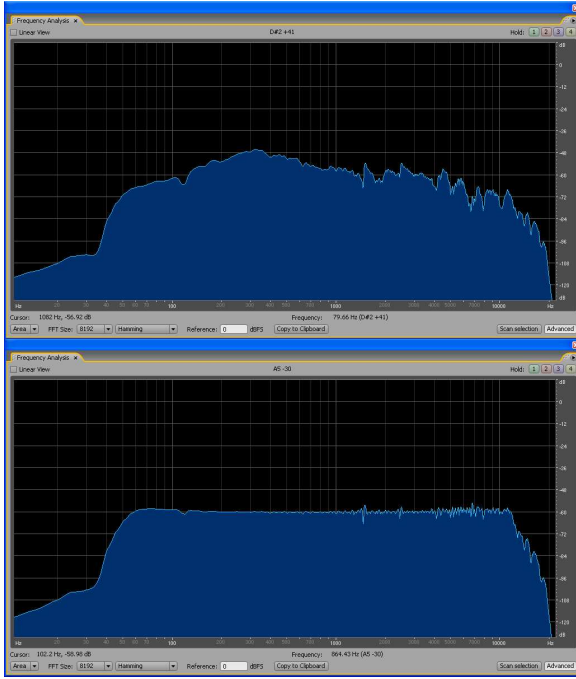


Figure 1 : Réponse en fréquence du système source avant (en haut) et après (en bas) filtrage.

Indices	Formules
RT 60 (s)	$2.[t(-35\text{dB}) - t(-5\text{dB})],$ $E(t) = \int_t p^2(\tau) d\tau$
EDT (s)	$6.[t(-10\text{dB}) - t(0\text{dB})],$ $E(t) = \int_t p^2(\tau) d\tau$
Ts (ms)	$\left[\frac{\int_0^\infty t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^\infty p^2(t) dt} \right]$
G (dB)	$G = 10 \text{ Log } \left[\frac{\int_0^\tau p^2(t) dt}{\int_0^\tau p_{10m}^2(t) dt} \right]$
C80 (dB)	$10 \log \left[\frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^\infty p^2(t) dt} \right]$
LF	$\frac{\int_{5ms}^{80ms} p_{lat}^2(t) dt}{\int_0^{80ms} p_{omni}^2(t) dt}$

Table 1 : les indices de la Norme ISO 3382 - p(t) représente la réponse impulsionnelle.

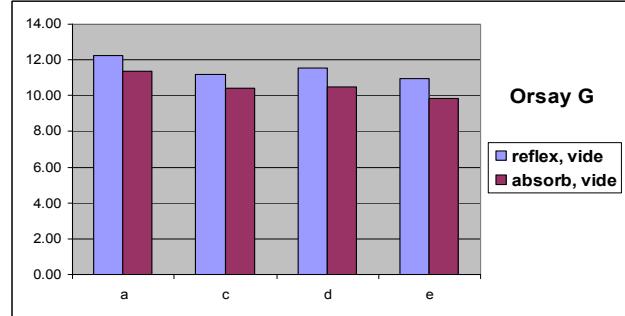
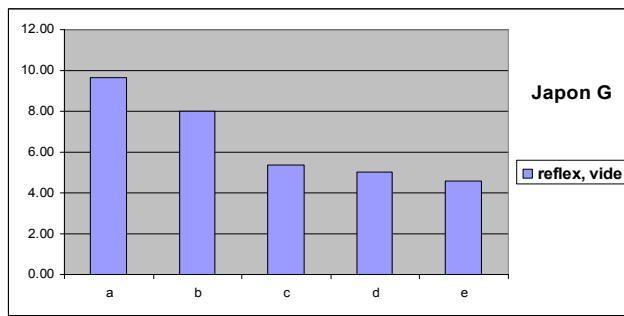
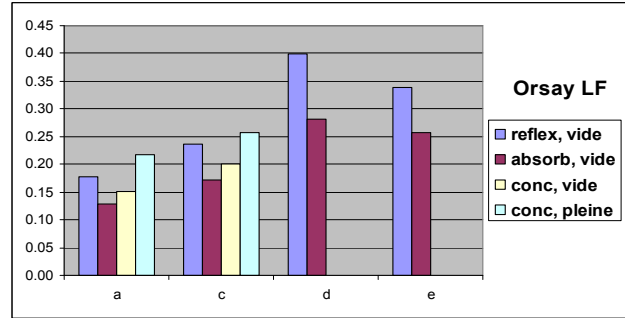
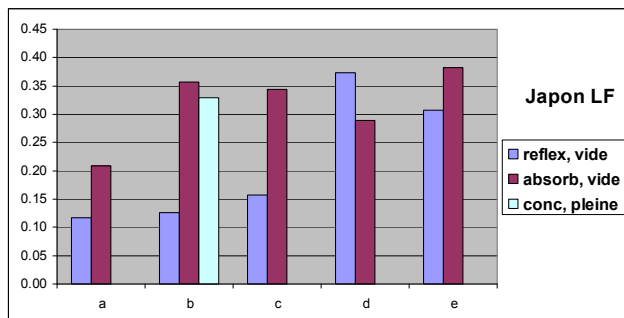
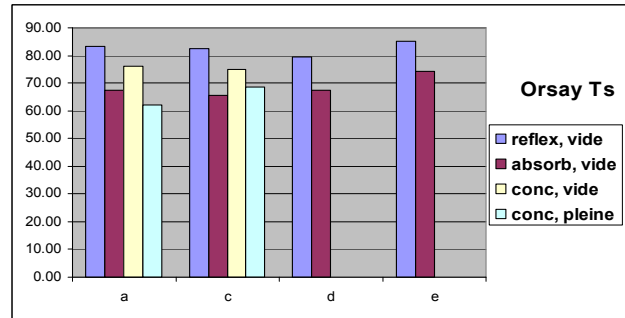
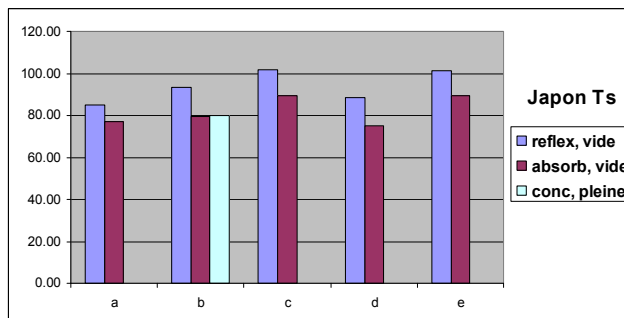
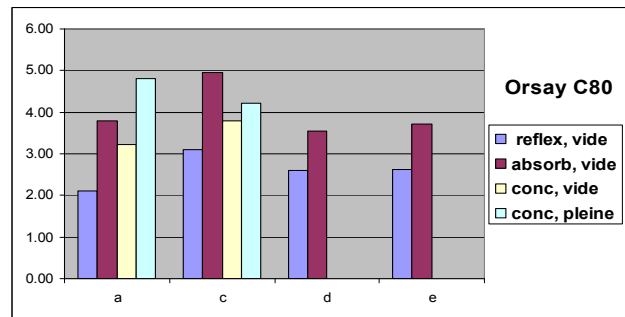
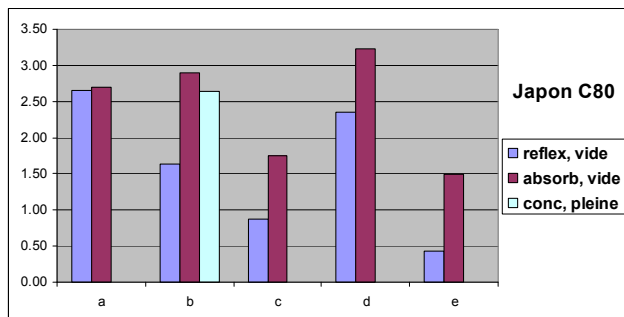
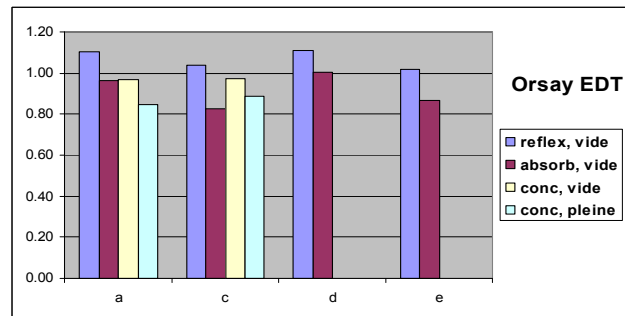
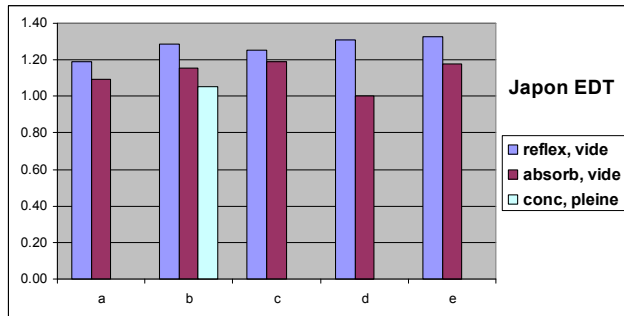
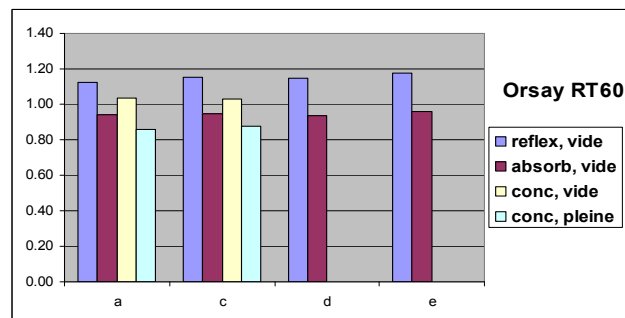
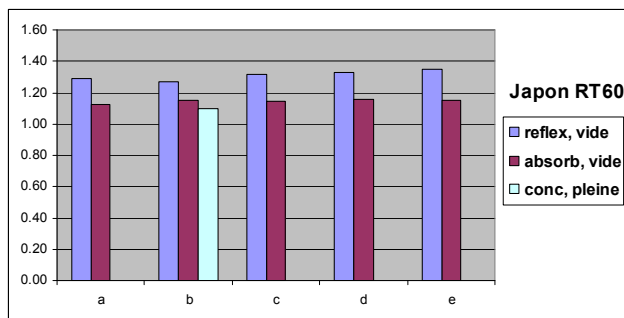


Tableau 1 : Indices de la Maison de Culture du Japon

Tableau 2 : Indices de l'Auditorium du Musée d'Orsay

5 Commentaires

La différence entre le RT60 pour les diverses configurations dépend du rapport volume/absorption de chaque salle. Cette différence est sensiblement plus grande pour l'Auditorium du Musée d'Orsay que pour la Maison de la Culture du Japon. Dans les deux cas, l'indice RT60 a été le seul à se maintenir à peu près à la même valeur pour toutes les positions d'enregistrement dans chaque salle, et pour chaque configuration. Pour l'Auditorium du Musée d'Orsay, par rapport à la configuration réfléchissante, la configuration absorbante est responsable d'une diminution de 17% du RT60. Ce chiffre pour la Maison de la Culture du Japon est de 12,5%. Encore pour l'Auditorium du Musée d'Orsay, en configuration de concert, la présence du public est responsable d'une diminution de 15% du RT60. Ce chiffre pour la Maison de la Culture du Japon est de 13,3%. Pour les positions et configurations mesurées, en ce qui concerne l'indice RT60, nous constatons que l'effet de la présence du public est à peu près le même que celui causé par le changement de configuration réfléchissante/absorbante, c'est-à-dire que les panneaux mobiles jouent un rôle équivalent au public dans ces cas-là.

L'indice EDT présente un comportement plus variable selon les positions de mesure. La relative constance du RT60 n'est plus trouvée pour le EDT ; de même pour l'indice Ts, qui est à peu près stable dans l'Auditorium du Musée d'Orsay, mais pas à la Maison de la Culture du Japon. Néanmoins, parmi les indices de rapport énergétique, celui qui présente la plus grande variation selon la position de mesure est le C80. Son comportement d'une salle à l'autre est également variable : à la Maison de la Culture du Japon, il décroît presque toujours avec la distance, mais nous n'observons pas cela à l'Auditorium du Musée d'Orsay. En revanche, pour cette salle, il y a une relation visible entre EDT et C80 : pour les positions où EDT est plus grand (par rapport aux autres positions), C80 est plus petit, et vice-versa. Pour la configuration la plus absorbante, comme attendu, les valeurs de C80 sont toujours plus grandes et les valeurs de Ts sont toujours plus petites.

Une différence intéressante est observée pour l'indice LF : dans l'Auditorium du Musée d'Orsay il est plus grand dans la configuration réfléchissante ; en revanche, dans la Maison de la Culture du Japon il est plus grand dans la configuration absorbante. Une possible explication est le fait que, dans l'Auditorium du Musée d'Orsay, les panneaux mobiles ne sont installés que sur les surfaces latérales, modifiant l'énergie que selon cet axe ; alors qu'à la Maison de la Culture du Japon ces panneaux sont également installés derrière la scène et derrière le public, ce qui augmente l'absorption sur l'axe frontal mais contribue aussi à l'atténuation du signal omnidirectionnel.

Nous observons aussi que les panneaux absorbants font diminuer subtilement l'indice G.

En ce qui concerne l'auralisation, les différences entre configurations réfléchissantes et absorbantes ne sont évidentes que pour la réverbération et la coloration sonore (plus mate pour la configuration absorbante). Des tests subjectifs seront menés ultérieurement en vue d'une analyse statistique.

6 Remerciements

Nous remercions la Maison de la Culture du Japon et l'Auditorium du Musée d'Orsay d'avoir autorisé les mesures acoustiques et la publication des résultats.

7 Références Bibliographiques

- [1] ISO 3382 Acoustics "Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters", (1997).
- [2] Gerzon M., "Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video", *Journal of the AudioEngineering Society* 33, pp. 859-871 (1985).
- [3] Fausti P., Farina A., Pompoli R., "Measurements in opera houses: comparison between different techniques and equipment." *Proc. of ICA98 - International Conference on Acoustics*, Seattle (WA), 26-30 June (1998)
- [4] Müller S., Massarani P., "Transfer Function Measurements with Sweeps", *Journal of the Audio Engineering Society* 49(6), 443 (2001).
- [5] Campanini S., Farina A., "A new Audacity feature: room objective acoustical parameters calculation module." *Linux Audio Conference*, Parma (2009).