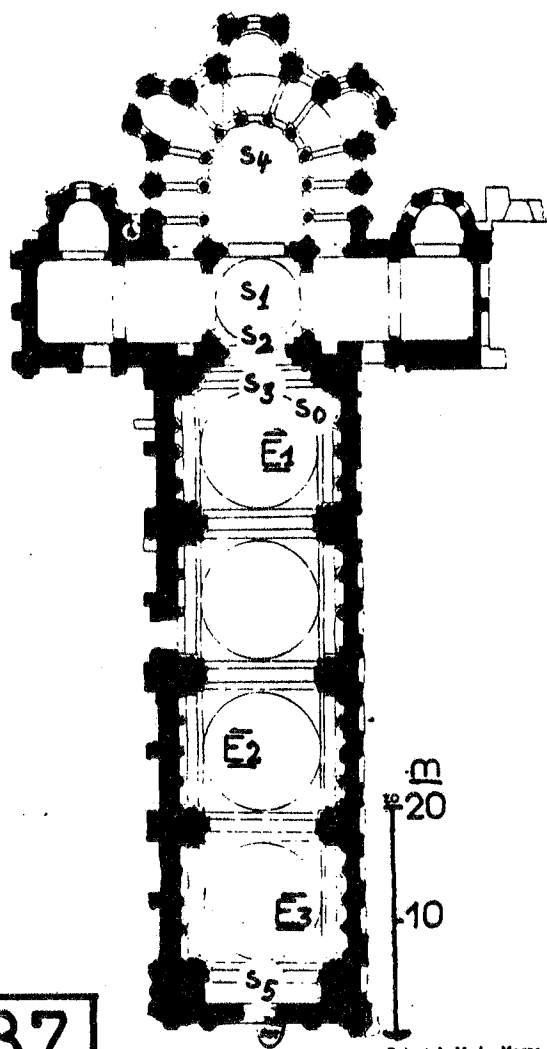


E. LEIPP

ACOUSTIQUE et ANIMATION :



le cas
FONTEVRAUD



n° 87

octobre 1976

GAM

BULLETIN du GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE
Université de PARIS VI Tour 66 4 Pl. Jussieu PARIS 5°

Thème : ACOUSTIQUE et ANIMATION
exposé de M. LEIPP

Etaient présents :

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président
M. le Professeur GAUTHIER n'a pu se joindre à nous pour raison de santé.
M. LEIPP Secrétaire général
Melle CASTELLENGO, Secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée : M. FONTAINE (Responsable Animation (Monuments Historiques));
M. le Prof. J.J. BERNARD, Directeur de l'U.E.R. de Mécanique, Université de Paris VI;
M. GENET-VARCIN (Chimiste, spécialiste des cloches et carillons); M. CELLIER (Prof.
au Théâtre National de Strasbourg); M. GEUENS (RTB); Mme LEIPP; M. KERGOMARD (CNRS);
M. MICHAUX (Etudiant); M. MOIROUD (Ingénieur du son); M. KLEIN (Facteur de pianos);
M. DUPREY (architecte); M. BORET (S.E.C. Théâtre); M. CONDAMINES (DRTF); M. ALLARD
(Etudiant mécanique); M. LAUGEL (Informatique Acoustique); M. RIEU (Direction de la
Musique); M. KRAFFT (Service des Etudes et de la Recherche au S.E.C.); Dr CLAVIE (Mé-
decin); Mme BOREL-MAISONNY (Orthophoniste); Melle DINVILLE (orthophoniste); M. Maurice
SAINT MAUR (Psychologue); Dr KADRI (orthophoniste); Madame et M. LEBOEUF (professeur
de musique); M. Yves BONNAT (Secrétariat d'Etat à la Culture scénographe); M. CACHOT
(animateur); Dr POUBLANC (Médecin biologiste); M. CARFANTAN (Ingénieur); M. DAUJAT
(Architecte Conseil Sec. Etat Culture); M. MORRE (Etudiant); M. NAVA (orthophoniste);
M. BORREDON (phonéticien); M. FCAT (musicien); M. CLOATRE (Musicien); M. ROUSSAT
(Dr Médecine); Melle ROSAZ (Etudiante); M. GATIGNOL (Maître assistant Mécanique);
M. LEGROS (Ingénieur); Mme ESSIG (Centre Culturel de l'Ouest); Mme POUBLAN; M. BESNAINOU
(Ingénieur Electronicien); M. BOURGOIN-MILLER; M. LEOTHAUD (Assistant Institut Musico-
logie); M. CRUAUDIER (Ingénieur, musicien); Mme BRAN RICCI (Musée du Conservatoire de
Musique); Mme MAURIN (Conservatoire National de Musique de Paris); M. SOLE (Ingénieur
Electronicien); M. PETIT (Musicien); M. DEMARS (Professeur); M. BRIGUET (Technicien
de l'Animation); M. SERON (Ingénieur du son); Melle LECOINTRE (Labo Acoustique de
l'EDF); M. le Prof. SAPALY (Mécanique : Université Paris VI); Madame et M. MOUTET
(Ingénieur Electronicien); M. J.S. LIENARD (Informatique - Orsay).

Etaient excusés : M. Charles MAILLOT (BMW Lyon); Mme FULIN; Melle Edith WEBER; M.
Jacques BATAISSIER (SIERE); Mme Marie José GALMICHE.

PERIODIQUE : 6 numéros annuels

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Physique de l'Université de PARIS VI
Directeur de la publication : M. le Professeur R. SIESTRUNCK
N° d'inscription à la Commission Paritaire : N° 819 ADEP
Diffusion et abonnement : La Revue Musicale - Editions Richard MASSE
7 Place Saint Sulpice - 75006 PARIS
Prix de l'abonnement annuel : 60, 00 F (6 à 7 numéros)
Prix du numéro : 16, 00 F

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
I. <u>GENERALITES</u>	1
II. <u>POSITION DU PROBLEME</u>	2
III. <u>LES TESTS ACOUSTIQUES : APPAREILLAGES ET METHODES</u>	7
1°) Sources sonores pour tester in situ locaux et lieux.....	7
2°) L'enregistrement des sources sonores : tests et concerts.	12
3°) Méthode d'analyse acoustique des tests et prestations....	12
A - Le sonagramme.....	13
B - Le relevé de densité spectrale intégrée	16
IV. <u>QUELQUES RESULTATS ET CONCLUSIONS SUR QUELQUES LOCAUX ET LIEUX DE FONTEVRAUD</u>	18
1°) Eglise-Abbatiale	18
2°) Chapelle St Lazare	20
3°) Réfectoire St Lazare	20
4°) Petit cloître St Lazare	21
5°) Cloître St Benoît	21
6°) Terre-plein de l'abside de l'Abbatiale	21
7°) Réfectoire du Grand Moutier	21
V. <u>L'ACOUSTIQUE ET LES ARTISTES</u>	22
VI. <u>PALLIATIFS et REMEDES</u>	22
VII. <u>CONCLUSIONS</u>	24

ACOUSTIQUE ET ANIMATION ARTISTIQUE :LE CAS FONTEVRAUD

par E. LEIPP(*)

I - GENERALITES

Depuis quelques décennies, il s'est créé en France, en particulier sous l'impulsion des responsables du Secrétariat d'Etat à la Culture (Caisse Nationale des Monuments historiques et des Sites), divers centres d'animation culturelle et artistique où l'on peut désormais assister à des représentations théâtrales et à des concerts de haut niveau. Parmi les lieux privilégiés, choisis pour ces activités, le plus extraordinaire - au sens propre du terme - est sans conteste le Centre Culturel de l'Ouest, de FONTEVRAUD.

Ceux qui désirent des informations détaillées sur les aspects historiques, archéologiques et architecturaux, trouveront des publications intéressantes sur cette " ville monacale " (bib.1-2). Voici simplement quelques points utiles à connaître, extraits du document publié par le Bureau des Animations culturelles (M. FONTAINE), 62 Rue St Antoine.

L'abbaye de FONTEVRAUD est située au carrefour de trois régions : l'Anjou, la Touraine et le Poitou; elle se trouve à 60 kms de Tours, à 20 km de Chinon et à 15 km de Saumur.... Fondée en 1099 par Robert d'ARBRISSEL elle abrita l'Ordre Fontevriste, ordre mixte dirigé par une abbésses. De 1115 à 1793, 36 abbésses gouvernèrent Fontevraud, dont la moitié furent de sang royal, la dernière fut la fille de Henri IV. Après la Révolution et l'expulsion des religieuses, Napoléon transforma l'abbaye en maison centrale. Ce n'est qu'en 1963 que l'Abbaye de Fontevraud fut confiée au Ministère des Affaires Culturelles pour être aménagée en Centre Culturel.

L'abbaye comportait 5 monastères. L'Abbatiale abrite les gisants des rois Plantagenets : Henri II, Richard Cœur de Lion, Aliénor d'Aquitaine, et Isabelle d'Angoulême, femme de Jean Sans Terre. Les personnages historiques liés à l'histoire d'Angleterre sont donc nombreux. Aussi, en dehors de ses attributions de " Centre Culturel de l'Ouest " envisage-t-on de créer un centre franco-britannique. Dès à présent, et depuis 1973, Fontevraud reçoit des visiteurs, des touristes et abrite des séminaires, des expositions, des concerts, des manifestations théâtrales.

En 1976 furent organisés le " FESTIVAL D'ANJOU " (25-26-28 Juin), puis du 20 Mai au 18 Juillet, une série de concerts (Musique d'orgue positif du 17^e siècle, musique liturgique anglaise avec la Maîtrise de Chichester, Psalms de Roland de Lassus; soirée Mozart). Enfin fut présentée une exposition de 120 photographies représentant les monuments funéraires royaux de la Basilique de St Denis. De plus, du 3 mai au 29 juin eurent lieu des séances d'animation scolaire destinées aux enfants, dans le but de leur suggérer l'ambiance de l'époque des Plantagenets.

Dans quelle mesure tout ce qui précède peut-il concerner un laboratoire de recherche fondamentale en acoustique et en audition comme le nôtre ? Essayons de la préciser !

...../

- E. LEIPP (*) : - Directeur de Recherche au C.N.R.S.
 - Directeur du Laboratoire d'Acoustique de l'Université de PARIS VI (Mécanique)
 - Chargé de Cours au Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris.
 - Membre en qualité d'acousticien de la Commission des Orgues (Monuments Historiques, Ministère des Affaires Culturelles).

On peut faire des discours, du théâtre, de la musique de l'animation scolaire sans se soucier des conditions acoustiques en présence. On voit en fait depuis quelques années des promoteurs organiser un peu partout des spectacles et des concerts : on fait n'importe quoi, n'importe où, n'importe comment, en disposant les sources et les auditeurs de n'importe quelle façon. L'expérience montre que " cela marche " toujours. Mais on vérifie aussi que les auditeurs et les spectateurs ne sont pas toujours satisfaits de la qualité des prestations. Cela tient bien sûr à la valeur des interprètes et des instruments utilisés éventuellement. Mais il est non moins évident que l'intelligibilité de la parole, la " musicalité " des instruments et de la voix, sont très intimement liés aux particularités acoustiques des lieux : bruit de fond, caractéristiques acoustiques des salles, place de la source et des auditeurs, ainsi qu'à un très grand nombre d'autres variables (types de musiques, propriétés de l'oreille de chacun etc...). Il est donc clair, à priori, qu'une exploitation optimale des lieux d'animation artistique ne peut découler de propositions simplistes : il n'existe en ce domaine ni recette-miracle, ni panacée; il s'agit chaque fois de problèmes particuliers, compliqués, qu'il est indispensable d'étudier, et avant que de vouloir les résoudre il est utile de commencer par les poser correctement. Ce n'est déjà pas si facile, comme on va voir.

II - POSITION DU PROBLEME

Le problème posé à Fontevraud est le suivant. On dispose de nombreux lieux et locaux, exceptionnels du point de vue architectural, et l'on se propose d'y organiser des réunions, des colloques, des animations artistiques : théâtrales et musicales. Mais, on ne peut modifier les lieux du point de vue architectural, ni en gêner l'aspect visuel par des installations électro-acoustiques ou des installations de correction acoustique trop visibles (panneaux accrochés audessus des artistes ou des musiciens etc...). Tout au plus peut-on envisager quelques éléments discrets, démontables, placés par exemple derrière les chanteurs, musiciens ou locuteurs....

Première affirmation indiscutable : on peut, comme cela se fait couramment à notre époque, faire n'importe quoi, n'importe comment, n'importe où. Quand l'organisateur et l'animateur concernés ont une longue expérience pratique et empirique, les choses s'arrangent parfois de façon acceptable. Mais le plus souvent les résultats sont décevants, voire franchement mauvais : on comprend très mal - ou même pas du tout - ce que disent les acteurs ou locuteurs, et la musique dégénère en fouillis informe. C'est ce que l'on constate à l'audition directe, et j'ai encore eu l'occasion de le vérifier tout récemment lors d'un festival de musique à Paris.

On pourrait certes souvent faire mieux à bon compte, et optimiser les " prestations " en apportant quelque modification acoustique invisible au lieu, ou même tout simplement en recherchant le meilleur emplacement pour les sources sonores et les " récepteurs " : les auditeurs. Pour y atteindre efficacement il faut avoir acquis une expérience pratique sur le terrain. Mais c'est là une affaire de longue haleine, et les résultats restent toujours incertains, étant donné que les variables en présence sont très nombreuses et changent chaque fois. Il est donc raisonnable d'envisager de faire appel à des moyens plus objectifs, rationnels, acoustiques en un mot, car il s'agit en fait d'un problème d'acoustique des salles.

L'acoustique des salles reste malheureusement une science très sous-développée. Il suffit, pour s'en convaincre, de participer - comme je le fais depuis trente ans, aux congrès internationaux d'acoustique. Depuis un siècle environ, de nombreux " scientifiques ", physiciens en particulier, se sont attaqués aux problèmes de l'acoustique des salles, et on dispose actuellement de tout un corps de doctrine, que l'expérience pratique montre, hélas, comme restant très lacunaire.

En fait, pour l'acousticien, le problème des salles comporte deux aspects distincts :

- L'acousticien se propose de réaliser un projet architectural en vue de la construction d'un édifice dont il est chargé de concevoir le plan. Il existe de nombreux traités sur cette question auxquels nous renvoyons, car ce n'est pas là notre propos.

- L'acousticien s'intéresse à une salle existante donnée, et cherche à en définir les caractéristiques acoustiques, afin de pouvoir en préciser les qualités et les défauts, c'est-à-dire à quels usages le local est adapté dans telle ou telle condition. C'est évidemment ce dernier point qui nous concerne dans le " cas Fontevraud ".

Les connaissances requises pour résoudre les problèmes soulevés ici sont beaucoup plus nombreuses qu'il n'apparaît a priori. On peut tenter de les acquérir auprès des théoriciens ou des empiristes expérimentateurs et des praticiens.

Les théoriciens, généralement des physiciens et des mathématiciens, se sont penchés sur l'acoustique des salles depuis plus d'un siècle. Certains d'entre eux ont élaboré des méthodes basées essentiellement sur des considérations géométriques. Ils considèrent l'acoustique à partir de l'optique et s'intéressent aux cheminements des " rayons " acoustiques, à leur atténuation graduelle lors de la rencontre d'obstacles, aux propriétés absorbantes des matériaux constituant ces obstacles etc... Cette façon de considérer la question était fort à la mode voici un siècle. On consultera avec intérêt le volumineux traité de l'architecte LACHEZ (bib.7) qui construisit de nombreux locaux (à la Chambre des Députés en particulier). On méditera aussi sur les oeuvres de Gustave LYON, qui construisit l'ancienne Salle Pleyel, un auditorium aux Arts et Métiers etc... L'avis des usagers de ces locaux montre qu'entre les théories géométriques simplistes et la réalité acoustique il y a un abîme : partout on a été contraint de " corriger " les défauts les plus criants des locaux en question, sans réussir à en faire de " bonnes salles ".

Après celui de LACHEZ, parut, en 1949, l'ouvrage fondamental de KNUDSEN et HARRIS (Le projet acoustique en architecture) qui apporte de nombreuses informations utiles, expérimentales, sans grands développements mathématiques. Cet ouvrage a fourni les idées directrices à beaucoup d'auteurs, d'expérimentateurs et de praticiens jusqu'à nos jours, sans pour cela que le problème des salles de musique et de parole n'ait beaucoup avancé, les données fournies étant très ponctuelles et partielles.

Plus récemment, certains chercheurs (SCHROEDER, 1960; SANTON, 1974 : bib.8) ont utilisé l'ordinateur, mais en reprenant en dernière analyse les concepts géométriques chers à LACHEZ. Ces chercheurs pensent à juste titre qu'il s'agit d'un problème compliqué, et que l'ordinateur est précisément fait pour traiter la complexité. Mais voilà ! Pour que ces méthodes donnent des résultats utilisables, il faudrait posséder toutes les données, et bien savoir comment les traiter : on est bien loin du compte actuellement ! Aussi, dès que l'on se propose de confronter les résultats théoriques obtenus avec ce que disent les usagers d'un lieu donné, dès que l'on veut les utiliser en pratique, on va de déception en découverte. La raison en est fort simple et il n'est certes pas hors de propos de revenir sur certains points et certaines idées contre lesquelles je m'élève maintenant depuis des années (bib.10).

Prenons l'exemple de la publication la plus récente sur ce point (bib.9 et 9b; SANTON). Il est clairement précisé les points suivants, à propos desquels je formulerais, une fois de plus, les objections que j'estime légitimes. Je cite l'auteur :

- " Les expériences que nous avons effectuées dans les églises vides sont de trois types : 1°) des mesures de niveau sonore en divers endroits, pour différentes situations de la source sonore; 2°) des relevés de la durée de réverbérations, c'est à dire du temps ou un son, après extinctions de la source, tombe au millionième de

sa valeur énergétique initiale, devenant inaudible; 3°) des enregistrements de diagrammes d'échos, encore appelés " échogrammes ".

J'objecte à tout cela les points suivants. Les mesures de niveau sonore se faisaient avec des haut-parleurs et un bruit blanc; les durées de réverbération étaient effectuées à l'aide d'un son pur; les échogrammes étaient obtenus en émettant une impulsion acoustique très brève que l'on observait sur l'écran de l'oscillographe. Il me semble étonnant que l'on continue à utiliser de telles méthodes qui ont largement fait la preuve de leur inefficacité et leur inadéquation depuis bientôt 50 ans. Si l'on se propose d'obtenir des résultats acoustiques utilisables en pratique, il faut évidemment utiliser des méthodes similaires à celles qu'emploie notre système auditif : ce n'est visiblement pas le cas. Il devrait être clair que l'acoustique d'une salle de musique et de spectacle pose non des problèmes d'énergie sonore, mais des problèmes d'information supportée par des formes acoustiques évolutives. Dans ces conditions, il est évident que les artefacts sonores utilisés traditionnellement (bruits blancs, sons purs, clics électroniques etc...) ne peuvent renseigner que sur les propriétés acoustiques d'un local à des bruits blancs, des sons purs, ^{destinés à être} clics, mais non sur les propriétés de la salle à de la parole ou de la musique ^{écou-} tées par un récepteur humain normal : l'auditeur.

Ceci étant précisé, il est évident que les mesures de niveau n'ont aucune signification dans ce qui nous concerne. En effet, la perception des sons en musique, l'intelligibilité de la parole, ne pose pas de problème de rapport signal/bruit, mais des problèmes d'émergence d'une forme sur un fond. Toute méthode qui, par conséquent, ne met pas en évidence l'émergence d'une forme fréquence-temps sur un fond, est inadéquate et ne peut apporter aucune réponse utilisable dans les cas réels de musique et de parole.

D'autre part, revenons sur la notion de durée de réverbération. Elle est chère à tous les acousticiens, depuis SABINE; elle représente une abstraction théorique intéressante, mais elle est totalement dépourvue de signification pratique. C'est la notion de durée du " traînage " perçu des sons réels qui importe; et celle-ci dépend de l'intensité réelle de la source in situ. La définition même de la " durée de réverbération " (durée mise par le son pour baisser de 60 dB) montre qu'il s'agit d'une entité théorique : un son qui émerge de 20 dB sur un bruit de fond donné ne peut " baisser " de 60 dB; et les extrapolations que l'on est alors amené à faire sont tout à fait irréalistes car les sons ^{réels} ne décroissent pas du tout selon une belle courbe mathématique bien régulière....

Pour ce qui est des échogrammes, les clics sont intéressants à utiliser, mais leur observation sur un écran d'oscillographe ne peut apporter aucune information utilisable pour la simple raison que l'oreille ne fonctionne pas comme un oscillographe : elle ne saisit et traite pas des variations d'amplitude en fonction du temps, mais des " images " qui sont " dessinées " par les variations fréquentielles, des formes acoustiques évolutives (qui véhiculent en fait l'information, rappelons-le!).

Pour ce qui est de l'utilisation de l'ordinateur, voici ce que l'on nous propose :

- " Nous avons étudié les voûtes par simulation sur ordinateur, dans deux salles de géométrie simplifiée... La simulation consistait en une étude de la réverbération par une méthode de " rayons ", basée sur l'acoustique géométrique ".

Il s'agit d'un retour aux théories de LACHEZ. Mais quand une méthode est inadéquate, ce n'est pas en utilisant l'ordinateur que l'on en tirera de meilleurs résultats. On pourrait épiloguer longuement sur ce point et sur d'autres. Ainsi lorsqu'on dit, à propos de la comparaison de deux salles, que " l'énergie reçue s'est avérée plus faible pour la salle voûtée ", on sait à priori que cette mesure ne peut apporter

aucune information réaliste puisqu'il ne s'agit absolument pas d'un problème d'énergie mais d'un problème d'émergence d'une forme sur un fond. On peut entendre un signal énergétiquement extrêmement faible dans un bruit de fond quantitativement énorme : la " cui-cui " d'un moineau émerge parfaitement sur un bruit de rue de 120 décibels : on peut le vérifier tous les jours.

Si j'insiste longuement sur ces points, que j'ai souvent évoqués et précisés déjà, c'est parce qu'ils me semblent importants dans le cas qui nous concerne ici. En utilisant à Fontevraud les méthodes acoustiques conventionnelles, on obtiendra des résultats chiffrés précis, satisfaisants pour l'esprit des physiciens, intéressants théoriquement, mais qui sont irréalistes. On peut déterminer ainsi si une salle est bonne ou non pour des coups de pistolet, des bruits blancs et roses, des sinusoides etc..; mais on ne peut en tirer aucune conclusion pratique quant à ce qui concerne les événements acoustiques informatifs tels que la parole ou la musique, où le problème est visiblement d'une autre nature.

En résumé, l'expérience montre qu'on ne peut guère espérer trouver chez les théoriciens des informations utilisables sur le terrain, dans les conditions d'emploi des locaux : c'est un fait constamment vérifié.

Mais il faut bien trouver des solutions pratiques à Fontevraud - et ailleurs. Essayons alors d'aller auprès des empiristes spécialisés en acoustique des salles de musique et de parole.

Les empiristes spécialisés en acoustique des salles ont existé de tout temps. Qu'ils aient résolu leurs problèmes en utilisant parfois des considérations mathématiques ne semble pas douteux. Pour s'en convaincre, il n'est que de lire le traité de CANAC sur l'acoustique des théâtres antiques (bib.4). Il faut reconnaître que les résultats obtenus par les architectes de l'Antiquité sont très souvent remarquables. Selon CANAC et ses expériences, on comprend parfaitement la parole dans les théâtres grecs et romains de plusieurs milliers de places, et cela sans " sonorisation " électro-acoustique ! Rappelons aussi que GARNIER a construit la salle de l'OPERA, très bonne pour le théâtre lyrique, au dire des usagers, en se basant non sur des théories, mais sur l'expérience empirique de ses prédécesseurs et collègues qu'il était allé recueillir sur place dans les salles de musique européennes connues pour leur bonne qualité. Et je ne puis manquer de penser à l'humble église de MOLLAU, en Alsace, où Joseph CALLINET construisit un orgue dont la qualité musicale extraordinaire est certainement liée en grande partie à la qualité acoustique du local, parfaitement adapté à cet orgue. Et pourtant c'est un simple entrepreneur de province qui a construit cette église ! On pourrait encore se remémorer la légende (qui n'en est peut être pas une!) de l'organier ~~Gottfried~~ SILBERMANN qui, lorsqu'il envisageait de construire un orgue, se promenait longuement, de long en large, dans l'église considérée, donnant sur le sol des coups de canne afin de " saisir " l'acoustique du lieu...

Bref, les empiristes ne se soucient pas de théorie mais d'expérimentation et d'observations pratiques, lentement et patiemment accumulées - parfois pendant des siècles - et tenant systématiquement compte des avis formulés par les usagers... Ce n'est pas très " mathématique ", pas très " élégant " aux yeux de la théorie, mais cela tient précisément compte de toutes les variables en présence. Finalement en ce domaine, seul le résultat compte. Que l'on aille donc écouter un concert ou une oeuvre musicale à l'OPERA DE PARIS, à la salle de l'Ancien Conservatoire, à MOLLAU; que l'on aille écouter ensuite la même oeuvre, éventuellement jouée par la même formation, dans l'ancienne Salle du Trocadéro, dans l'ancienne Salle Pleyel, et dans d'autres salles récentes (qui ne connaît des exemples actuels!) : la différence sautera aux yeux des moins raffinés !

Bref, dans l'état actuel des choses, il est clair que la théorie acoustique ne nous sera pas d'un grand secours dans ce qui nous occupe ici, dans le cas de Fontevraud, où il s'agit de diffuser et de recevoir des messages parlés ou musicaux dans des

conditions optimales lors des concerts et séances d'animation. Pour atteindre ce but, il est indispensable de posséder des données suffisantes et réalistes en trois domaines différents :

1°) Il faut avoir une idée claire de ce que représentent physiquement les signaux acoustiques rayonnés par les sources que l'on envisage d'utiliser. Il faut absolument savoir comment sont faits les sons de parole et de musique : il faut savoir ce qui sort, acoustiquement, de la bouche d'un locuteur ou d'un chanteur, ce que rayonne une clarinette ou un violon. Sinon toute peine est perdue.

2°) Il faut savoir par quels mécanismes et de quelle façon le local filtre, distord et " brouille " les signaux rayonnés par les sources. Il faut disposer de tests efficaces et de méthodes pour " mesurer " les effets de la salle sur la parole ou la musique.

3°) Il faut savoir, enfin, ce que pense l'oreille des images acoustiques qui sont proposées à l'auditeur en tel point de la salle, dans telles conditions. On ne fera rien de bon sans avoir des idées bien claires sur les mécanismes qui président à la perception et au jugement de qualité de la parole et de la musique, sans savoir comment fonctionne la " machine à écouter humaine " en un mot.

Il se trouve que l'étude de ces trois points représente l'essentiel de mes activités de recherche depuis plus de trente ans, et en particulier depuis la création du Laboratoire d'Acoustique dans le cadre de la " Mécanique " de l'Université de Paris VI - dont je suis responsable depuis l'origine. Le Département de Mécanique (Professeur SIESTRUNCK), m'a fourni l'occasion et les moyens de faire des recherches systématiques sur le fonctionnement et au rayonnement acoustique de très nombreux instruments de musique et de l'appareil phonatoire, sur la structure physique des signaux en question et leur altération dans les conditions d'emploi, sur les mécanismes auditifs et perceptifs, et tout cela a fait l'objet de nombreuses publications. Voici quelques précisions à ce sujet :

- En ce qui concerne les problèmes de parole et de chant, nous avons été chargés dès 1966 par le Doyen de la Faculté des Sciences de faire une étude sur les causes de la mauvaise intelligibilité de la parole dans les amphithéâtres en construction à la Halle aux Vins, et de rechercher des solutions pour améliorer cette intelligibilité. Ce fut l'occasion de réfléchir aux problèmes posés et d'élaborer certains tests dont on reparlera plus loin. Deux rapports circonstanciés ont été publiés, qui n'ont malheureusement pas eu de suite, les responsables de l'Université ayant eu d'autres problèmes à traiter en 1968...

- nous avons fait des recherches sur l'intelligibilité de la parole dans le chant, en collaboration avec Mme BONDEVILLE, et de plusieurs chanteurs de l'OPERA DE PARIS. Ces recherches publiées partiellement au Festival International du Son (bib.3) ont malheureusement été arrêtées en raison de la mort de Mme BONDEVILLE, mais nous avons eu le temps de bien cerner le problème et de comprendre ce qui était en cause.

Nous avons étudié longuement la structure physique de la parole et réalisé une méthode opérationnelle de synthèse de parole artificielle. On peut prétendre connaître chose lorsqu'on a réussi à la synthétiser : pour les problèmes de parole nous sommes donc suffisamment informés.

Enfin, j'ai personnellement fait une recherche systématique sur les problèmes relatifs à l'intelligibilité de la parole, qui me sont désormais bien familiers.

- En ce qui concerne la musique, nous avons longuement étudié la structure physique des sons musicaux. Puis nous avons fait de nombreuses expériences sur le terrain

pour voir ce qui advenait de ces sons lorsqu'ils se propageaient dans une salle. Nous avons eu la chance de pouvoir expérimenter dans des conditions normales d'emploi de salles variées, d'y faire des tests acoustiques de toutes sortes. Ainsi avons-nous pu enregistrer et tester de nombreuses salles " musicales " : Opéra de Paris, Conservatoire du 9^e arrondissement, salle de concert de l'Ecole Normale de Musique, Grande salle du Palais des Congrès de Paris, nombreuses églises et cathédrales où se trouvent des orgues (Notre Dame de Paris, St Médard, Maisons Alfort, Ebersmunster et nombreuses églises en Alsace etc...). Les problèmes de la " réverbération " ont fait l'objet plus particulièrement de mon attention. Ainsi, s'est petit à petit élaborée une doctrine dont le mérite est de partir de la réalité sonore et non d'artefacts et de théories abstraites. L'importance capitale de l'acoustique de la salle sur la qualité de la prestation est devenue graduellement de plus en plus évident et les moyens pour apprécier cette qualité se sont élaborés petit à petit.

- En ce qui concerne les mécanismes auditifs qui déterminent le jugement porté sur de la musique, c'est le point sur lequel j'ai concentré tous mes efforts de ces dernières années, (un ouvrage résumant mes points de vues est en cours d'impression chez MASSON : La machine à écouter : essai de psycho-acoustique). Il est devenu évident qu'on ne résoudra aucun problème pratique, réel, de parole ou de musique (celui de l'Animation en particulier) si on ne sait pas comment fonctionne la " machine à écouter " !

Bref, de longues années de recherche m'ont apporté peu à peu les éléments indispensables pour aborder avec quelque chance de succès les problèmes compliqués qui relient l'acoustique à l'animation artistique. Les résultats obtenus sont désormais utilisables, et l'invitation de M. FONTAINE était une excellente occasion pour le montrer, Fontevraud étant un exemple de choix.

Je dois avertir le lecteur que je ne proposerai pas ici de grandes théories abstraites. Mon but est très pratique : il s'agit de fournir aux spécialistes de l'animation :

1°) Une méthode et des outils de tests, simples utilisables sur le terrain, permettant d'exploiter au mieux les lieux en présence en fonction de ce qu'on veut y faire, et cela en direct, à l'oreille....

2°) Une méthode d'enregistrement sur bande magnétique des tests précédents ainsi que des concerts et prestations réels. Cette méthode est évidemment pensée en vue d'analyses ultérieures en laboratoire.

3°) Une méthode et des appareillages d'analyse acoustique adéquats permettant d'objectiver les observations subjectives, de les compléter, et de tirer des conclusions pratiques quant aux dispositions optimales à adopter dans chaque cas réel qui se présente en animation.

Comme on voit, nous resterons très pragmatique.

III - LES TESTS ACOUSTIQUES : APPAREILLAGES ET METHODES

1°) SOURCES SONORES POUR TESTER IN SITU LOCAUX ET LIEUX

Les spécialistes qui s'occupent d'Animation disposent de lieux et de locaux donnés. Généralement, lorsqu'il s'agit de sites et de bâtiments historiques il n'est évidemment pas question d'envisager une amélioration de l'acoustique des lieux par des modifications architecturales ou des installations fixes trop visibles (revêtement

des murs, panneaux etc...). Mais si on ne peut généralement rien changer aux lieux et locaux il est parfois possible de choisir entre divers locaux celui qui est le mieux adapté à telle ou telle activité, ou au moins de choisir la meilleure place pour la source et les auditeurs. A Fontevraud il en est ainsi. Dans tous les cas, il est intéressant pour les spécialistes de l'Animation de posséder quelques connaissances acoustiques précises et de disposer de moyens pratiques, pas trop onéreux, utilisables in situ, la veille ou juste avant une manifestation, en particulier, pour déterminer les dispositions optimales des sources et des auditeurs. Lorsque les manifestations culturelles se reproduisent périodiquement et systématiquement, les spécialistes ont tout intérêt d'être informés sur les méthodes et appareillages plus élaborés permettant d'approfondir les problèmes acoustiques qui les concernent... Le but de cette réunion est précisément là : les méthodes et les moyens proposés ici ont été pensés avec le souci d'aider les spécialistes de l'animation et aussi les artistes, en leur fournissant quelques idées et moyens pour résoudre au mieux les énormes difficultés qu'ils rencontrent généralement, et qui peuvent actuellement trouver des solutions.

Nous étudierons successivement les sources sonores qui permettent de mettre en évidence les variables déterminant la qualité acoustique d'un local ou d'un lieu. Puis nous définirons les conditions et moyens nécessaires pour saisir et fixer l'information acoustique en vue d'une étude ultérieure. Enfin nous parlerons des possibilités offertes par un laboratoire d'acoustique pour le dépouillement des informations.

A - Les sources sonores artificielles pour tester locaux et lieux que je propose ont été choisies après de longs essais, et ramenées à un très petit nombre. Elles "résumant" en fait la structure physique de la parole et de la musique. Nous les avons longuement expérimentées et éprouvées dans de nombreux cas réels et pratiques. Ces sources artificielles sont :

- la cliquette . Il s'agit en fait d'un "instrument de musique" utilisé par les vietnamiens pour marquer le découpage rythmique de certaines musiques traditionnelles. Nous en avons parlé longuement ailleurs (bib.5) : il s'agit d'une simple petite "galette" de bois dur, que l'on frappe avec une bille du même bois, en un point précis. Ce qui m'avait beaucoup frappé lors de l'étude acoustique de cet instrument, c'est qu'il émergeait dans les séquences musicales et les bruits de fond les plus riches et les plus intenses. Après avoir fait l'analyse du signal produit par cet instrument nous avons compris pourquoi : toute l'énergie acoustique rayonnée par cette petite source est concentrée dans la région où l'oreille est la plus sensible, à savoir autour de 2000 - 3000 Hz. Il se trouve que beaucoup d'instruments de musique - et la voix - présentent des composants acoustiques importants dans cette région. Or ces composants peuvent être "victimes" d'échos architecturaux qui brouillent alors les sons de musique ou de parole. Il est donc intéressant de pouvoir détecter les échos aux fréquences élevées - où l'oreille est particulièrement sensible. C'est dans ce but que j'ai utilisé systématiquement la cliquette (que l'on peut d'ailleurs remplacer par un bon "fouet" d'orchestre) pour repérer la présence éventuelle d'échos dans une salle ou un lieu extérieur. Il est certain que s'il existe des échos "aigus" dans une salle, les messages sont "doublés", triplés, quadruplés. L'image acoustique est ^{alors} comme une photo "bougée", et lorsqu'il s'agit de parole, une syllabe comportant par exemple une plosive intense (p,t,k) peut devenir tout à fait floue, inintelligible. La conclusion est évidente : si l'on envisage de faire une animation théâtrale en un lieu ou un local donné, la parole sera inintelligible s'il existe des échos ^{alors} multiples. Pour détecter ceux-ci, mettons-nous au point ou nous envisageons de faire évoluer les acteurs et donnons un coup de cliquette; un aide se placera successivement aux divers points où se trouveront les auditeurs. S'il entend des répétitions de clics, il faudra mettre la source ailleurs et recommencer les essais. Lorsqu'on n'aura plus d'échos (en salle vide) on est a fortiori sûr de ne pas en avoir en salle pleine et l'intelligibilité de la parole ne sera pas compromise par des échos multiples (flatter écho). Grâce à cette simple cliquette, on pourra donc rapide-

ment rechercher sur le terrain les positions optimales pour les sources et s'éviter bien des ennuis. Notons qu'en musique les échos nuisent également à l'"image esthétique" des sons, qu'ils brouillent. Nous en verrons des exemples plus loin.

- la claquette . Préconisée par CANAC (bib.3), elle représente un " gadget acoustique " que tout le monde peut se fabriquer à bon compte. C'est en fait une simple boîte en bois rectangulaire de quelque 30 x 15 x 10 cm, comportant une charnière sur le petit côté. Les parois sont en planchettes de différentes épaisseurs et de divers bois : par exemple l'un des côtés est en chêne de 4 mm d'épaisseur, le côté opposé en hêtre de 3 mm d'épaisseur etc..; le couvercle est en contreplaqué de 3 mm, le fond en peuplier de 5 mm etc..; on peut éventuellement doubler table ou fond à l'aide d'une barre collée en travers etc... L'important est que chaque face de la boîte, lorsqu'on frappe dessus à l'aide d'une petite mailloche, donne un son différent... L'analyse acoustique en laboratoire (sonagramme) permet évidemment de régler plus facilement les épaisseurs des parois, de la barre etc... pour obtenir un résultat plus intéressant. On peut se fabriquer des claquettes de diverses dimensions : plus elles sont grandes, plus elles sont graves. Pour s'en servir, on prend la boîte, une moitié dans chaque main, on l'entr'ouvre autour de la charnière, et on la referme brutalement. On entend alors un son d'impact grave. Si l'opération est faite dans un grand local résonant, le son " traîne " pendant un certain temps, que l'on peut aisément compter en secondes dans les grandes salles. Détail pratique : 4 syllabes articulées mentalement font à peu près une seconde; on compte par exemple : " deux cent vingt-un, deux cent vingt deux, deux cent vingt trois " pour trois secondes; la précision est suffisante, on le verra plus loin. Si une salle " sonne " pendant 5 secondes avec une telle claquette, on peut être sûr que la parole sera fortement brouillée dans le grave par le traînage : il faudra ralentir le débit si on veut rester intelligible ! On saura d'avance que la musique comportant des sons graves (orgue, grosse caisse etc...) sonnera le " tonneau " de façon désagréable. Bref, la claquette est un test simple et efficace pour les sons graves et les composantes spectrales de basse fréquence. Elle complète donc les informations apportées par la cliquette.

- la crécelle . On choisit une bonne crécelle du commerce, de dimensions moyennes : quelque 20 cm. On se place à l'endroit où l'on se propose de disposer les sources (parole ou musique). On tient fixement d'une main la poignée de la crécelle et de l'autre on fait tourner le corps, en augmentant graduellement la vitesse de rotation. Au début on a donc des coups isolés très lents, qui s'accroissent petit à petit. Un auditeur quelque peu entraîné, placé dans le local donné repérera rapidement, à la simple écoute, si la salle se caractérise ou non par sa " netteté " ou son " flou ". Le simple essai en direct donne bien souvent des informations suffisantes en pratique. La crécelle est l'outil pour apprécier le " pouvoir séparateur " du lieu; celui-ci joue un rôle important dans l'intelligibilité de la parole et dans la qualité de certaines musiques à notes très rapides (clavecin etc...)

B - Le test de parole . Nous utilisons deux tests de parole différents.

a) Le premier consiste en un mot unique (par exemple le mot " chat) prononcé à voix forte. Pour diverses places de locuteur et divers points d'audition dans la salle, on constate des " traînages " très différents. Si le trainage dure plus d'une seconde, on est à peu près sûr d'avoir des problèmes d'intelligibilité de parole ou de netteté dans les musiques à tempo élevé, et il faudra que le locuteur ou le musicien réduise le " tempo " et laisse des silences notables entre les éléments de phrases - parlées ou musicales...

Ce test de mot, de syllabe unique, est complété par une phrase entière articulée à vitesse normale, sans arrêts. Par exemple : " le petit chat fait sa toilette "; si le test de mot unique a indiqué un traînage de plusieurs secondes, on vérifiera généralement que seules les deux ou trois premières syllabes sont alors intelligibles -

...../

et qu'il faudrait donc découper un discours en éléments de peu de syllabes, intercalés de silences longs, si l'on se propose une intelligibilité suffisante. En changeant la source de place dans un même local, on peut parfois, en direct, constater une amélioration notable. Mais il est tout de même intéressant de pouvoir apprécier de façon plus précise la qualité d'un local du point de vue intelligibilité de la parole et netteté de la musique, de la chiffrer. Pour y atteindre sans complications et sans appareillages particulier, j'ai imaginé, mis au point et utilisé en de nombreuses circonstances un test de " discours synthétique ".

b) Le test de discours synthétique. J'ai présenté récemment cette méthode au Groupement des Acousticiens de Langue Française (bib.6) et en attendant la parution du texte dans la Revue d'Acoustique, on peut trouver tous détails dans un tiré à part fait par les soins du Département de Mécanique et dont il reste quelques exemplaires au laboratoire. L'idée de base est la suivante.

Partant de la constatation que dans un discours normal, la prévisibilité et le contexte nous permettent de reconstituer largement les fragments de mots ou les mots détruits - ce qui rend impossible toute appréciation directe de l'intelligibilité de la parole à partir de l'audition de discours normaux, j'ai mis sur pied une méthode simple pour fabriquer des discours " synthétiques ", sonnant bien le français, mais où les " mots " ne peuvent être reconstitués à partir du contexte parce que ces mots n'existent pas dans la langue normale. Pour réaliser un tel discours, on prend un texte de quelques lignes (poésie, passage de roman ou de journal etc...) et on découpe tous les mots en diphonèmes (le diphonème est en fait une demie syllabe). Prenons un exemple : un passage de " Une saison en enfer " de Rimbaud.

" Quelquefois je vois au ciel des plages sans fin, couvertes de blanches nations en joie. Un grand vaisseau d'or, que dessus de moi agite ses pavillons multicolores sous les brises du matin ... etc "

Ce texte, découpé en diphonèmes, devient : (écrit phonétiquement)

" Què èl lk ke ef fou oua aj je ev vou oua ao oss si iè èl "...
et ainsi de suite. On accole alors les diphonèmes présents dans ce texte de façon différente, en respectant la longueur des mots du texte (nombre de syllabes). On " fabrique " ainsi un texte " synthétique ", sonnant effectivement comme du français (puisque les sons restent les mêmes), mais où il est impossible de reconstituer les mots si on n'en a pas effectivement perçu toutes les syllabes, tous les sons. Le texte de Rimbaud devient par exemple :

" Quel dépla je vois au cite des plames sans fè, couveau de blanvais natins en joul. Un gré vessai d'ode, aulorssou de moi agisse ses pavelléchaïs mulétrions " etc...

On dicte alors ce texte dans une salle donnée, que l'on se propose de tester avec quelques auditeurs placés en des endroits différents de la salle. Puis on compte le nombre de syllabes justes, perçues correctement. L'expérience a montré que si, dans ces conditions, un auditeur entend 50 % des syllabes, la parole normale (où la prévisibilité joue évidemment) sera bien comprise. S'il y avait un pourcentage d'intelligibilité beaucoup plus élevé, par exemple 90 %, on saurait que l'intelligibilité est parfaite, mais la salle sera " sèche " : les voix ne seront pas très agréables à écouter ! Si par contre le taux de reconnaissance des syllabes est très faible pour une salle donnée, (par exemple 20 %) on saura que la parole sera peu intelligible, donc que ce local n'est pas adapté au théâtre, aux conférences... Par contre, il sera adapté à la musique (pas trop rapide) car, on le sait, le " flou " déterminé par la " résonance " de la salle est un atout favorable esthétiquement. En effet, ^{dans ce cas,} une trop grande netteté n'est généralement pas appréciée

par les auditeurs, car elle met en lumière bien des petits défauts d'exécution, des bruits parasites...

On notera de ce point de vue qu'il y a en fait opposition entre les impératifs acoustiques requis pour l'intelligibilité de la parole et la qualité esthétique de la musique. Une salle ne peut pas être bonne pour tout : il faut choisir. Le pourcentage de syllabes perçues permet de faire le choix en connaissance de cause! La méthode de discours synthétique proposée ici permet bien entendu de rechercher, dans un local donné, quelle est la meilleure place pour la source et pour les auditeurs. Quelques essais suffisent, pour lesquels il est besoin de peu de personnes et de peu de temps. Rappelons - et c'est bien connu - que les qualités d'une salle sont fonction de son état d'occupation, sauf quand les fauteuils d'auditeurs sont très absorbants et " simulent " plus ou moins l'auditeur du point de vue effet acoustique. Ce test permet donc, entre autres, si d'aventure on peut disposer de sujets de test nombreux, d'apprécier la modification des qualités de netteté musicale et d'intelligibilité de parole d'une salle, selon son état d'occupation. Le test de " discours synthétique " à lui seul suffit pour connaître le degré d'adaptation d'un local à la parole ou à la musique : je le considère comme fondamental.

Voici, à titre d'exemple réel, un pourcentage d'intelligibilité, relevé en l'Abbatiale; le local était inoccupé et les résultats seraient un peu plus optimistes en salle pleine - sans que l'on puisse se faire d'illusions dans une salle aussi grande et haute !

Le locuteur (M. LEIPP) était d'abord placé sur la "scène", au milieu de la croisée du transept. L'auditeur était d'abord en avant de la nef, au troisième rang des chaises, à quelque 7 mètres de la source environ. Pour le deuxième test, il était placé au fond de la nef, sous la deuxième coupole, en entrant, au bas de l'escalier. On trouve :

- Auditeur au 3° rang, en avant : 63 % de syllabes comprises. Compte tenu de la prévisibilité dans un discours normal, ce pourcentage montre que l'intelligibilité sera suffisante si le locuteur parle lentement, articule bien, ménage des pauses entre les membres de phrases.
- Auditeur au fond de la nef : 21 %. Avec un tel pourcentage aucun auditeur ne pourra suivre un discours normal.

On a placé ensuite le locuteur en avant de la scène, en avant de la jonction chœur-nef. L'auditeur était à peu près à la même distance de la source que précédemment. On trouve à présent :

- Auditeur au 3° rang : 70 % d'intelligibilité
- Auditeur au fond de la nef : 30 % de syllabes perçues.

L'intelligibilité s'est donc notablement accrue avec un déplacement minime de la source; la qualité du local pour la parole est améliorée - sans frais ! Ces résultats peuvent être transposés à la musique, le mot " intelligibilité " signifiant alors possibilité ou impossibilité d'exécuter des musiques à tempo rapide.

En résumé, l'expérience a montré qu'en utilisant habilement les tests précédents : cliquette, claquette, crécelle, parole, il était parfaitement possible de se faire, in situ, éventuellement juste avant une représentation ou un concert, une idée réaliste, suffisante, des qualités d'une salle. Ces tests permettent également de repérer les points les meilleurs où il convient de placer acteurs, musiciens et auditeurs. Il s'agit évidemment d'un " dégrossissage " rapide sur

place, souvent suffisant, mais nécessairement sommaire, et qu'il est toujours intéressant de compléter par une étude plus approfondie en laboratoire d'acoustique. Si c'est là ce que l'on se propose, il faut bien entendu procéder à l'enregistrement magnétique, des tests précédents, doublé de l'enregistrement intégral de concerts et prestations parlées. Donnons quelques précisions sur les conditions optimales pour réaliser ces enregistrements.

2°) L'ENREGISTREMENT SIMULTANE DES SOURCES SONORES : TESTS ET CONCERTS

Les tests subjectifs qui précèdent permettent donc de définir les conditions acoustiques optimales d'un spectacle ou d'un concert en tenant compte de l'acoustique du local, de la situation de la source et des auditeurs, ainsi que du type de sons utilisés : parole ou musique. Il est toujours intéressant de doubler ces tests subjectifs de tests objectifs, permettant de raisonner sur documents. Pour cela, il faut commencer par enregistrer les événements acoustiques en présence.

Depuis l'apparition du magnétophone autonome de haute qualité, le problème est aisé à résoudre. Il suffit, lors de tous les essais précédents, d'utiliser au moins deux magnétophones de haute qualité et de procéder à des enregistrements simultanés. On disposera l'un des appareils près de la source : on saura ainsi ce qu'entend l'acteur, le musicien - et qui est souvent extrêmement différent de ce qu'entend l'auditeur. L'autre appareil sera placé au point où se trouve l'auditeur normal. Si l'on dispose de plusieurs magnétophones, on peut évidemment étudier simultanément plusieurs places d'auditeurs, sonder d'un seul coup toute une salle...

On enregistre donc pour commencer tous les tests précédents avec un réglage optimal, en utilisant de préférence un microphone omni-directionnel - qui rend mieux compte de ce que perçoit un auditeur normal. On relève bien entendu toujours simultanément ce qui se passe près de la source et près de la place d'un ou de plusieurs auditeurs. On recopie ensuite sur une bande bi-piste les séquences : sur la première piste on mettra par exemple ce qu'entend la source; sur la deuxième piste on copie ce qu'entend un auditeur donné. On peut dès lors réécouter à loisir les tests, en passant instantanément d'un point à l'autre de la salle, et porter des jugements subjectifs comparatifs entre deux points d'audition. L'expérience montre que ces écoutes alternatives sont des plus instructives et on peut en tirer de nombreuses conclusions pratiques utilisables. Mais tout cela reste bien " subjectif " !... L'acousticien ne pourrait-il nous apporter des informations quelque peu plus objectives, des documents facilement lisibles et comparables entre eux ? C'est précisément le but que nous avons poursuivi depuis longtemps au laboratoire, et on peut désormais considérer le problème comme résolu.

3°) METHODE D'ANALYSE ACOUSTIQUE DES TESTS ET PRESTATIONS

J'ai depuis longtemps et résolument abandonné les méthodes métrologiques utilisées par les spécialistes de l'acoustique des salles. Expérience faite, je les considère comme inadéquates et irréalistes parce que leurs résultats sont impossibles à raccorder avec les avis des usagers des locaux de spectacles et concerts : musiciens, conférenciers et auditeurs. C'est pourquoi depuis des décennies j'ai fait des efforts pour trouver des méthodes dont les résultats puissent être mis en parallèles avec les jugements formulés à l'écoute normale. Il m'est apparu petit à petit qu'il était indispensable de distinguer deux types d'écoute : l'écoute d'ordre proche (où l'on juge les échos, la netteté, l'intelligibilité etc.); et l'écoute d'ordre lointain (où l'on apprécie la sonorité, la musicalité d'une salle). Il faudra donc deux méthodes distinctes d'analyse, fournissant deux types de documents distincts. Ce seront,

Fig 1

- En (a) l'image acoustique de la cliquette telle qu'elle apparaît en local "sourd"
En (b) telle qu'on la perçoit au 3^o rang de l'Abbatiale.

- En (c) : au fond de la nef.

- En (d) La même cliquette avec ses échos multiples... (cloître St Benoit)

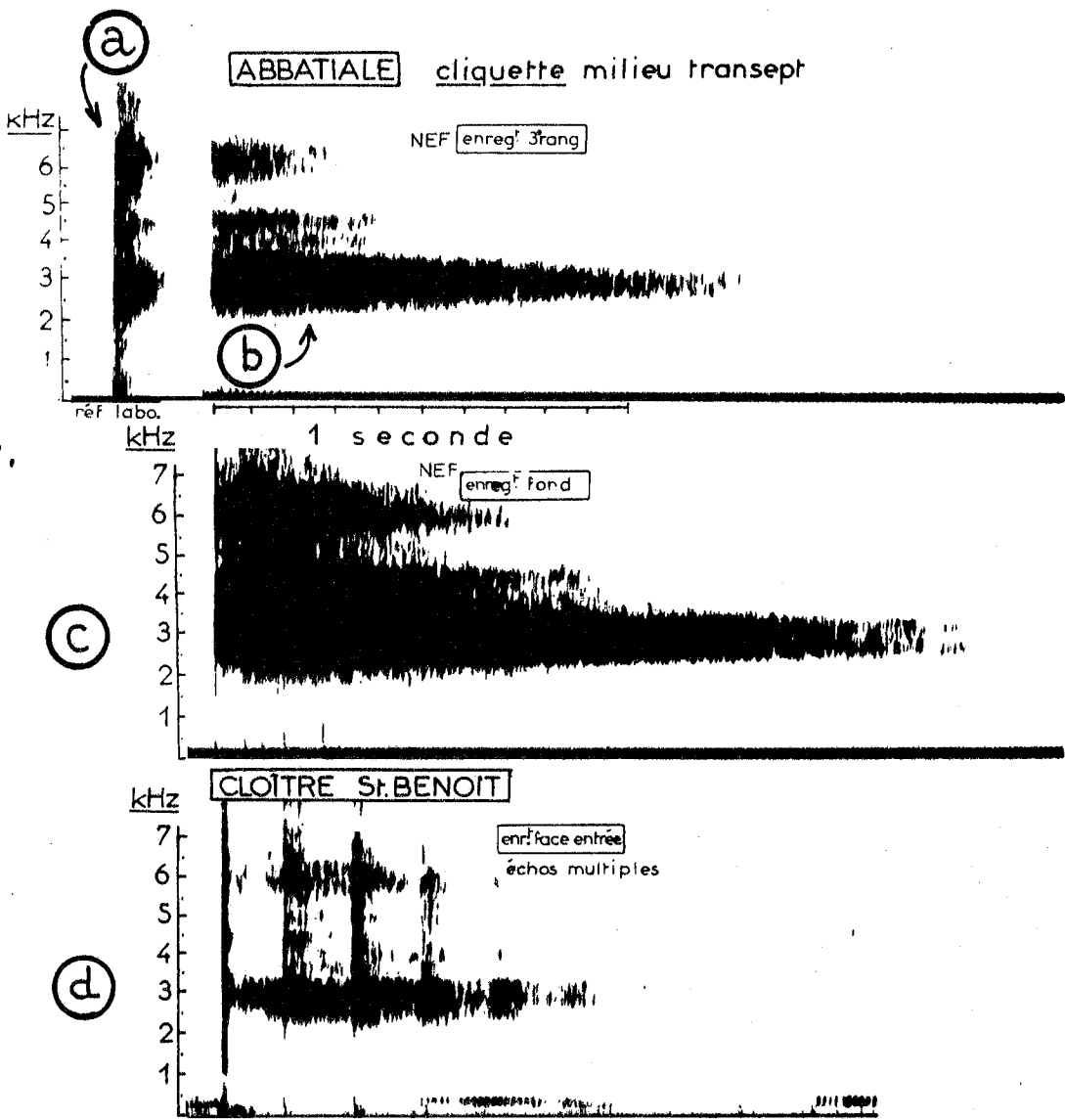
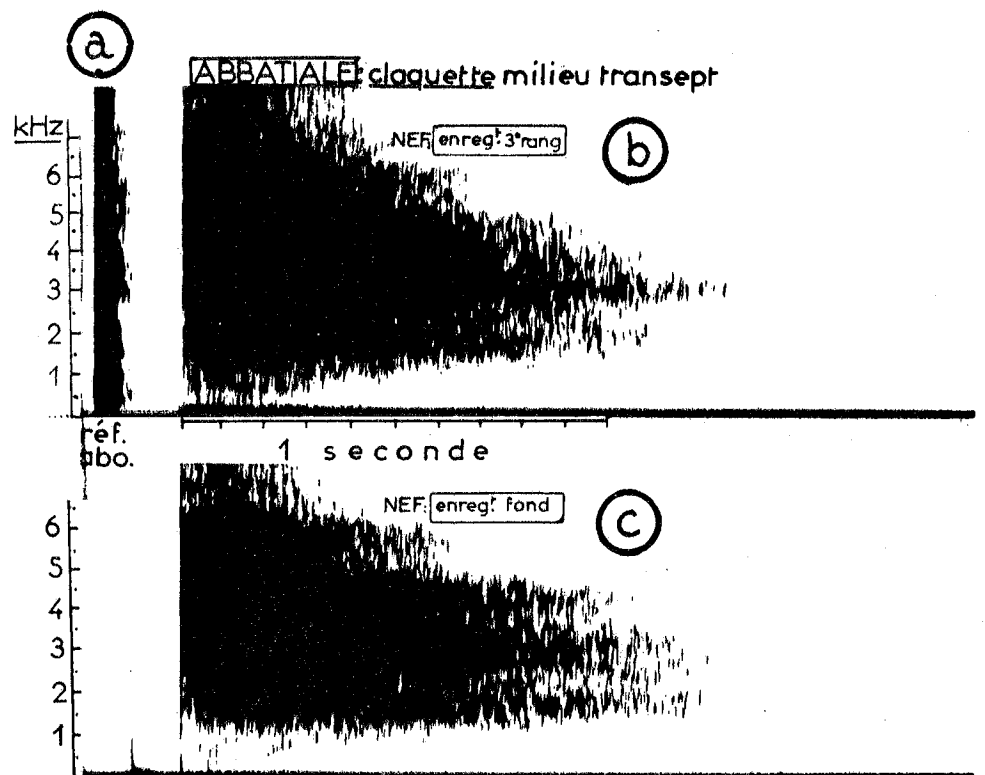


Fig 2

En (a) la claquette telle qu'elle "sonne" en local "sec"
En (b), au 3^o rang en l'Abbatiale
En (c), au fond



d'une part le sonagramme et d'autre part le relevé de la densité spectrale intégrée. Je m'explique.

A - LE SONAGRAMME :

Le sonagramme, dans un délai de quelques secondes, fournit une " image " de la réalité acoustique, aussi complexe et évolutive soit-elle. Nous utilisons le sonographe depuis plus de 20 ans ! Pour peu que l'on sache se servir de cet appareil, on obtient une image objective (fréquence - temps - intensité) que l'on peut précisément mettre en parallèle avec l'image mentale qui émerge à notre conscience lors de l'écoute d'une séquence sonore donnée. Il faut bien entendu apprendre à dépouiller les images sonographiques; mais tout ce qui s'y trouve peut être perçu, et tout ce qui est perçu peut s'y retrouver....

Voici quelques exemples, relatifs à certains tests " artificiels " et à des œuvres musicales enregistrés à FONTEVRAUD en mai 1976.

- a) Cliquette (fig.1a) : On montre un coup de la cliquette tel qu'il est relevé dans une pièce très " sourde ". Le signal est très bref (150 ms) et on notera le " formant " important au four de 3000 Hz. La même cliquette est frappée au milieu de la croisée de transept de l'Abbatiale (voir fig.7, point S₁) et enregistrée en avant de la nef (point E₁, fig.7). A ce point, le coup "résonne" pendant un temps que l'on peut mesurer sans difficulté (une seconde et demie environ). On vérifie que le signal s'éteint graduellement, sans accidents, ce qui signifie qu'il se reflète d'innombrables fois dans toutes les directions et sur tous les murs et que toutes ces réflexions fusionnent en un " magma " quasi continu. Mais il n'y a pas d'écho visible ou audible...

Conclusions : si un locuteur parle rapidement au point considéré (croisée du transept) et qu'on l'écoute en avant de la nef, les transitoires rapides de la parole (plosives) vont résoner tellement longtemps qu'ils brouilleront tout : le discours sera inintelligible. Le test de discours synthétique confirme cette prévision. Le lieu est donc mauvais pour des spectacles parlés ; il le sera plus encore si on écoute au fond de la nef, bien entendu ! Il sera également inadéquat pour la musique rapide, à transitoires brefs (musique de clavecin etc...). Par contre il peut être parfaitement adapté à de la musique très lente, où l'intelligibilité des mots est très secondaire : le traînage sur l'aigu donnera juste le " flou " nécessaire pour rendre des voix d'enfants plus " aériennes ", plus limpides. Tout cela, un simple coup de cliquette peut nous l'apprendre !

Allons en un autre lieu avec notre cliquette, et recommençons l'expérience, par exemple dans le cloître St Benoit, juste en face de la porte d'entrée. Le sonagramme (fig.1c) indique ici une série d'échos multiples (fig.1c) évidemment tout à fait défavorables à l'intelligibilité et à la qualité d'un spectacle parlé puisqu'on entendra au point considéré les mêmes syllabes répétées deux ou trois fois de suite ! Promenons-nous à présent dans le cloître en donnant périodiquement des coups de cliquette et demandons à un aide placé en un certain point d'enregistrer ces coups de cliquette. Les analyses montreront que certains endroits du cloître sont bons pour y disposer des sources sonores et d'autres non : la méthode est simple et efficace; elle permet de " sonder " un lieu ou un local et de tirer des conclusions pratiques quant à leur utilisation possible. En tout état de cause, le sonagramme permet de discuter sur documents objectifs des observations faites par les artistes et les auditeurs de concerts.

- b) Clayette (fig.2). En 2a on voit l'allure d'un coup de clayette tel qu'il est perçu dans un local très " sourd ". En 2b, c'est le même coup de clayette tel qu'il est émis dans la croisée de transept de l'église abbatiale et perçu en avant de la nef : le coup résonne longuement dans le grave et brouille toute image acoustique

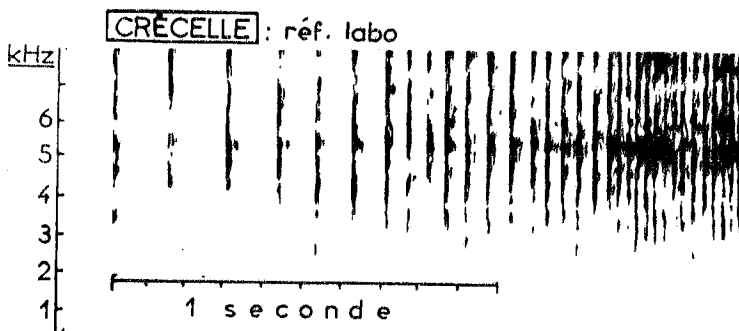
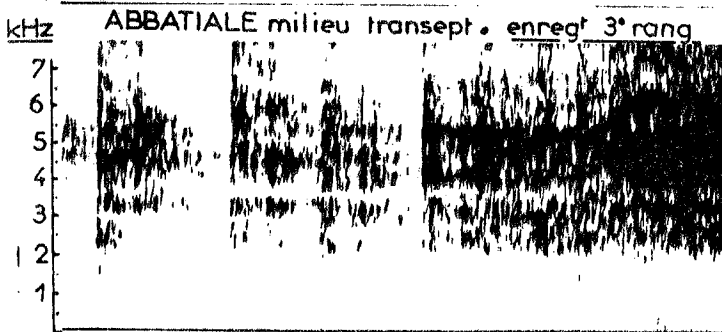
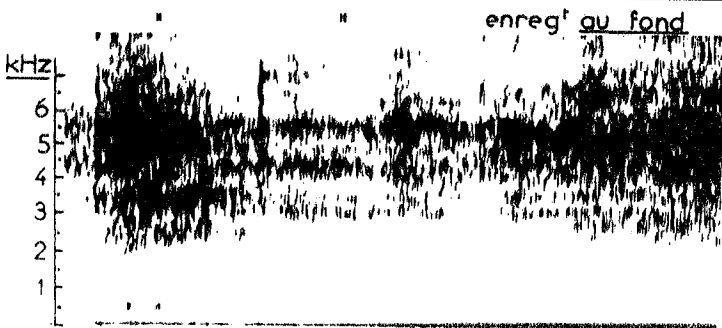


Fig. 3 La crécelle
(mouvement accéléré)

(a) en local "sec"

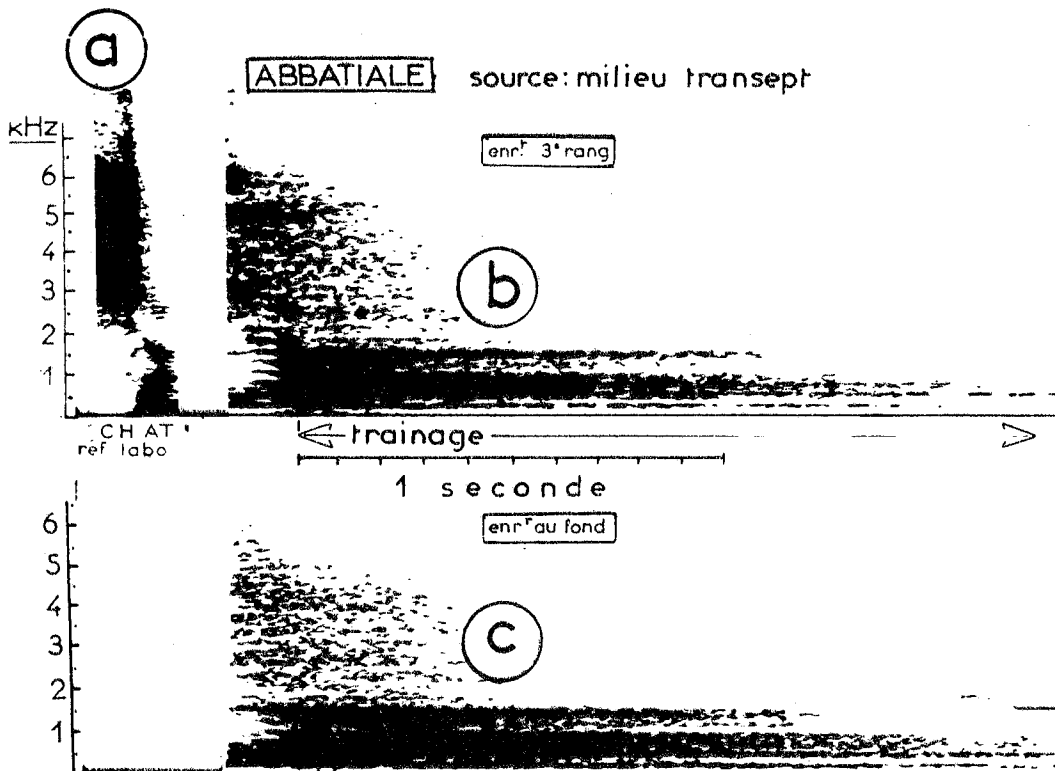


(b) en avant de la nef
(Abbatiale)



(c) au fond de la nef

Le "pouvoir séparateur" du local se mesure sans difficulté.



4

Le mot "chat"
- en local "sec" (1)
- en avant de la nef (2)

- au fond de la nef (3).

Le "trainage" du local se mesure aisément

qui apparaîtrait simultanément pendant près d'une seconde et demie... Si, par exemple, un orgue jouait dans ces conditions une ligne mélodique accompagnée de basses (bourdons) intenses, il est certain que toute la mélodie serait brouillée à l'écoute, et cela d'autant plus que les notes se succèdent plus rapidement. Bref, le test de claquette permet de présumer des instruments et du style de musique qu'il faut ou non envisager de faire jouer ici...

- c) Crécelle : La figure (3a) montre l'image sonore telle qu'elle se présente en un lieu très " sec " lorsqu'on accélère graduellement le mouvement de rotation. On vérifie que l'on sépare sans difficulté au moins 50 coups par seconde, ^{ce qui correspond à} 20 millisecondes de " pouvoir séparateur " ; il est évident que dans un tel local la parole sera parfaitement intelligible ; mais la musique de violon sera " sèche ", pas très " musicale " ; celle de l'orgue sera insupportable... surtout si l'on joue des oeuvres écrites pour une grande cathédrale, où le compositeur a tenu compte (empiriquement!) de la réverbération !

La même crécelle, " jouée " au milieu de la croisée du transept de l'Abbatiale et enregistrée en avant, au troisième rang de la nef, produit une image des plus confuses, où l'on réussit avec peine à discerner 4 ou 5 coups par seconde. De la musique d'orgue assez lente, comportant des " respirations " fréquentes et assez longues, ainsi que du chant choral lent, à structure musicale harmonique, seront bien adaptés à ces conditions ! Le clavecin ne " passera " jamais, pas plus que de la musique de violon rapide, et encore moins la parole.

Lorsqu'on écoute vers le fond de la nef (fig.3c), tout est absolument brouillé : c'est à peine si on peut séparer des impacts distants d'une demi-seconde ! Rien ne sera " bon " ici, sauf peut-être certaines musiques religieuses très lentes (chant grégorien ?)

- d) Parole normale. Reprenons les tests dont nous avons parlé plus haut, à savoir un test de mot isolé et un test de " discours synthétique ".....

Le mot " chat ", articulé normalement en local très sec ne dure pas plus de 200 millisecondes (fig.4a) ; les formes vocales sont très nettes : le mot est parfaitement intelligible.

Il n'en va plus de même si on prononce ce mot au milieu de la croisée du transept et si on l'écoute en avant de la nef (fig.4b) : on voit que le mot est suivi d'un trainage qui se prolonge surtout dans le grave, en dessous de 2000 Hz, très longuement (plus de deux secondes). La salle " résonne " donc beaucoup, sonne un peu le " tonneau " et c'est bien pire encore lorsqu'on écoute le mot au fond de la nef... Cela va poser bien des problèmes d'intelligibilité, car il n'est pas douteux que, dans un discours, un mot est toujours rapidement suivi d'un autre ! Pour montrer ce qui se passe alors, considérons notre phrase type " le petit chat fait sa toilette ".

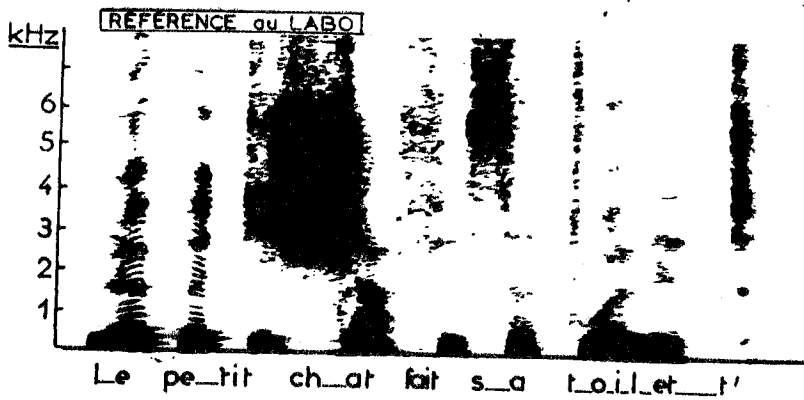
La figure (5a) montre le sonagramme de cette phrase enregistrée dans un local très " sourd " : les formes sont parfaitement nettes, les sons les plus brefs (par exemple le " t " de " toilette ") apparaissent très clairement : la parole est parfaitement intelligible ici.

Mais si nous prononçons cette même phrase au milieu de la croisée du transept, le locuteur lui-même n'entend plus une parole aussi nette que précédemment (fig.5b) : on note déjà bien des brouillages dans le grave, où on observe un magma quasi-continu, qui se prolonge longuement après l'arrêt du locuteur... Dans l'aigu aussi apparaît un certain brouillard ; le locuteur ne s'entend pas comme d'habitude !

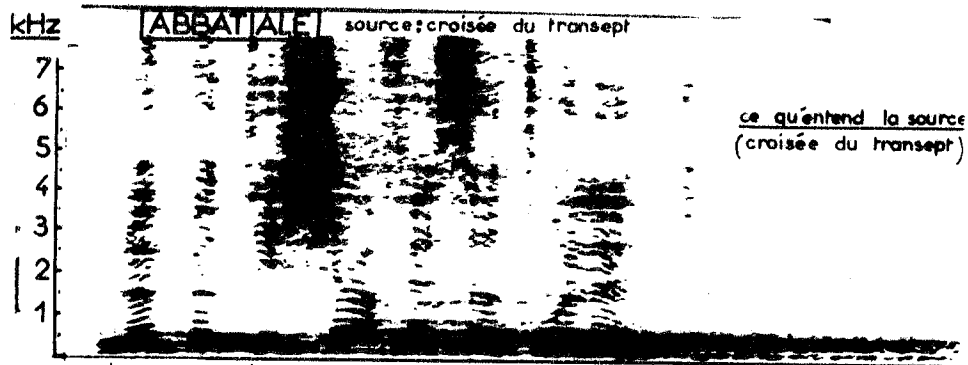
Mais l'enregistrement simultané en avant de la nef (fig.5c) indique une image qui

La PAROLE et ses déformations par les salles

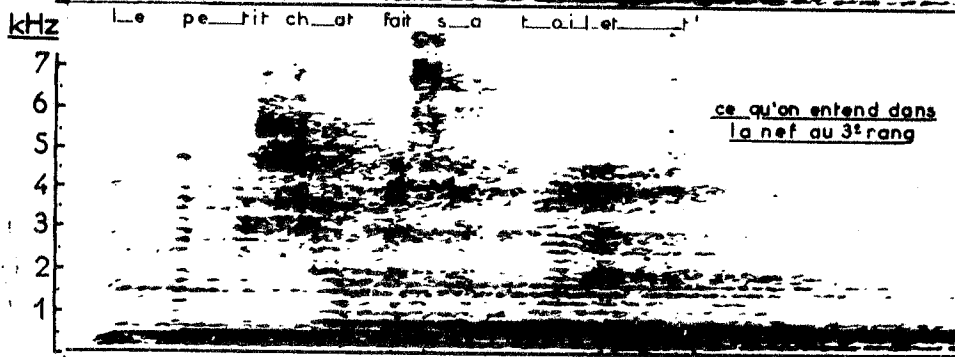
5



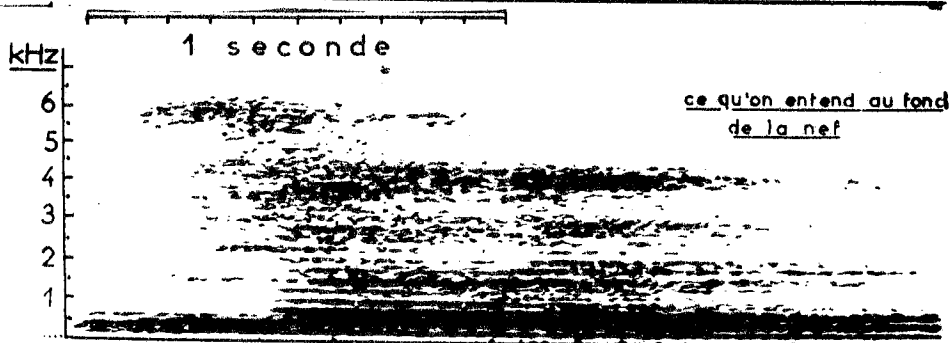
a



b



c



d

Les "Formes" des mots, très nettes en local "sec",
deviennent de plus en plus floues avec la
distance : l'intelligibilité diminue. En
on ne comprend plus que la première syllabe...
et encore....

n'est nette que tout au début; au bout de 300 ms, tout s'embrouille. On discerne bien encore quelques masses sonores (ch, ss), mais pour reconstituer la forme des mots prononcés c'est bien impossible sans le contexte (immédiat ou lointain).

Tout se gâte définitivement lorsqu'on écoute au fond de la nef; ici on ne retrouve aucune forme; tout est inintelligible.

Tous ces résultats confirment le test subjectif de " discours synthétique " : on y trouvait quelque 20 % de syllabes perçues en avant de la nef; mais à peine 5 ou 10 % au fond, ce qui est bien insuffisant pour reconnaître les mots dans un discours normal. Tout au plus un orateur peut-il espérer se faire comprendre en prononçant deux ou trois syllabes, puis en faisant un arrêt de 2 ou 3 secondes et ainsi de suite. Le local est " impossible " pour la parole, tout à fait inadéquat pour représenter des " mystères " ou des pièces de théâtre. Mais il peut être bon pour certain types de musique religieuse, chœurs ou orgues.

Nous avons fait de nombreuses expériences identiques dans la Chapelle St Lazare, dans le petit réfectorioire St Lazare, dans le cloître St Benoît etc... Il est impossible de donner ici tous les résultats : j'ai simplement voulu montrer que la méthode des tests, complétée par les sonagrammes, représente un moyen efficace et réaliste pour décrire acoustiquement des lieux et locaux, savoir à quels types de spectacles ou de concerts ils sont adaptés et rechercher quelles sont les meilleures places pour disposer les sources sonores et les auditeurs.

Il est cependant intéressant de compléter les tests et relevés précédents par un autre document : le relevé de la densité spectrale intégrée.

B - LE RELEVÉ DE LA DENSITÉ SPECTRALE INTÉGRÉE

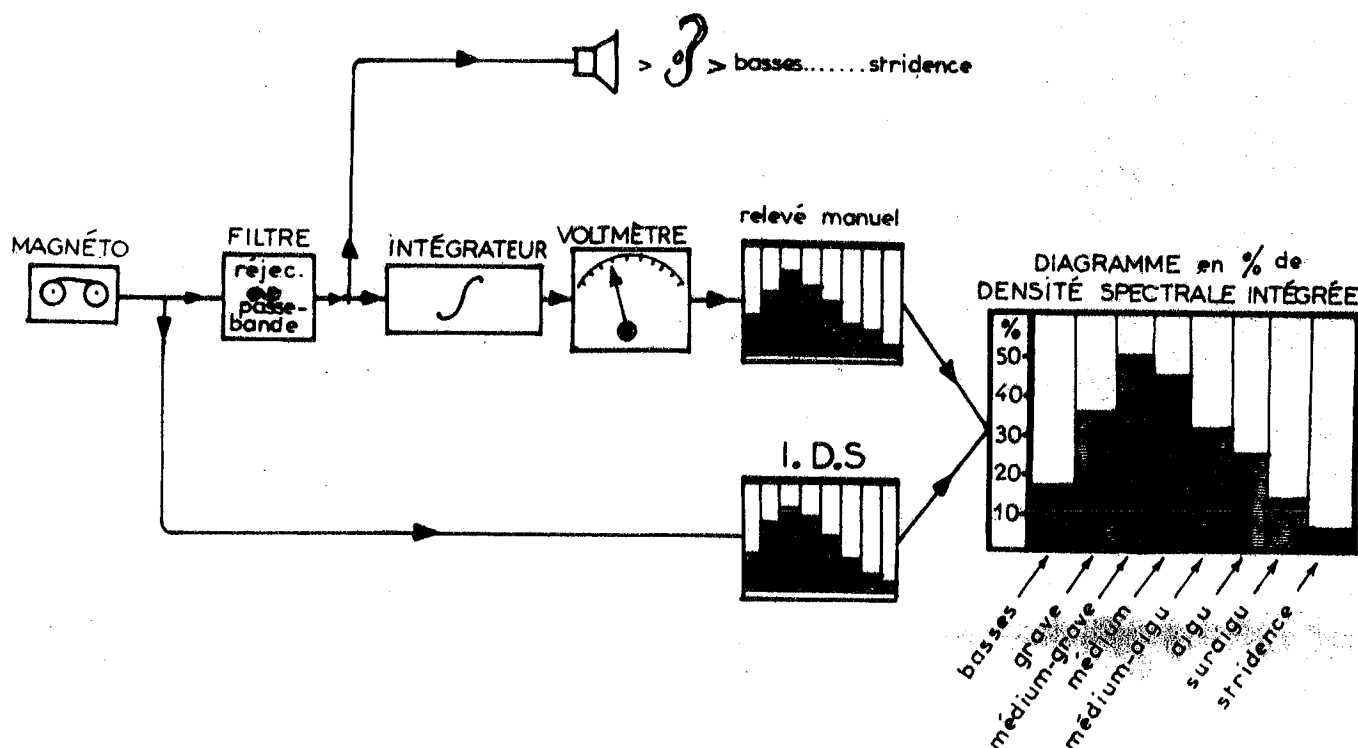
A la fin d'un concert ou d'un spectacle parlé, un auditeur est capable de formuler clairement un avis sur la " sonorité " la " tonalité " de la salle où il se trouvait. Si d'aventure, comme c'était le cas à Fontevraud, on joue le même instrument (orgue positif) dans deux salles différentes, on se rend encore mieux compte de la " couleur " qu'apporte une salle. Mais l'impression est nécessairement très floue et imprécise, car on fait appel à la mémoire de longue durée. J'ai alors pensé qu'il était beaucoup plus intéressant de recopier sur une piste du magnétophone bi-piste l'un des enregistrements (l'orgue en l'Abbatiale), sur la deuxième piste, l'autre (l'orgue dans la chapelle St Lazare). A l'écoute on peut ainsi passer d'un local à l'autre instantanément et les sensations de " couleur " du local deviennent beaucoup plus évidentes.

Mais il convient alors de méditer sur les mécanismes auditifs qui sont en cause lorsque nous portons des jugements de ce genre, qui impliquent l'écoute de longues séquences de musique. Ces mécanismes consistent certainement en une analyse statistique de longue durée du contenu spectral de l'oeuvre musicale considérée.

Bref, le système auditif fait probablement une sorte de moyenne de la quantité d'énergie statistique répartie, pendant la durée de l'oeuvre, entre le grave, le médium, l'aigu, le suraigu etc... Pour obtenir un document objectif permettant de matérialiser et de " chiffrer " cette répartition de l'énergie sonore, il faut essayer de simuler ce que fait notre système auditif. J'y ai réfléchi et voici la solution que j'ai adoptée.

J'ai découpé arbitrairement (planche H.T.) la bande audible entre 50 à 15 000 Hz, en 8 bandes accolées : respectivement les bandes 50-200 Hz; 200-400 Hz; 400-800 Hz; 800-1200 Hz; 1200-2000 Hz; 2000-3500 Hz; 3500-6000 Hz et 6000-15000 Hz. J'ai déterminé ces bandes expérimentalement, en écoutant (et faisant écouter) de la musique d'orchestre enregistrée, et en éliminant de l'ensemble chaque fois une seule bande, à l'aide d'un filtre de réjection. J'ai réglé ces bandes de telle façon que leur ab-

HT LA DENSITÉ SPECTRALE INTÉGRÉE.



L'écoute complète d'une oeuvre musicale permet de porter un jugement global sur la "sonorité" la "musicalité" de l'instrument, de la formation, de la salle etc. Pour objectiver ce jugement on relève à l'aide d'un appareillage approprié le pourcentage d'énergie contenue dans des "bandes sensibles" déterminées expérimentalement. Le diagramme final est hautement significatif de la "sonorité". La superposition de diagrammes est très parlante et permet de comparer des instruments de musique, des voix, des chaînes électro-acoustiques, des salles, des places dans une même salle etc. Le diagramme de densité spectrale intégrée complète les informations fournies par le sonagramme.

sence produise une différence franche de sonorité qui puisse être définie par un terme usuel (basses, grave, médium-grave, médium, médium-aigu; aigu, suraigu, stridence) et j'ai appelé ces bandes les " bandes sensibles ".

J'ai alors demandé à un de mes amis électronicien (A. SOLÉ) de me fabriquer un petit intégrateur qui cumulait l'énergie contenue dans ~~chaque~~ une des bandes sensibles, et, à la fin de la pièce, il était possible de " mesurer " la quantité d'énergie contenue dans cette bande. Un filtre passe-bande classique permettait de choisir la bande voulue. Lorsqu'on a repassé une pièce 8 fois, on obtient alors un diagramme très significatif de l'écoute d'ordre lointain : lorsqu'une salle, un instrument, .. a une sonorité " creuse, claire, sombre etc.. " cela se lit directement. Il devient alors facile de comparer des " sonorités " de salles, ou de places dans une même salle (si on a fait des enregistrements simultanés d'un même concert à des places différentes). Cette méthode est bonne mais fastidieuse. Entretiens ^{le lab. d'électro} ~~nique~~ ^{du Département de Mecc.} Université de Paris VI (Prof. SIESTRUNCK et SAPALY) m'a fabriqué un appareillage plus opérationnel, qui permet le relevé des diagrammes de densité spectrale intégrée en une seule lecture de l'enregistrement. Cette méthode s'est avérée tout à fait intéressante en beaucoup de domaines, mais tout particulièrement dans celui qui nous concerne ici. Pour le montrer je donnerai quelques uns des diagrammes que j'ai relevés à Fontevraud; ils suffiront pour se faire une idée de la méthode que résume la planche " HORS TEXTE " ci-jointe.

La figure 6 donne quatre exemples précis. En abscisse on porte les bornes des bandes de fréquence, en ordonnée le pourcentage d'énergie contenue dans chaque bande en fonction de l'énergie totale en présence.

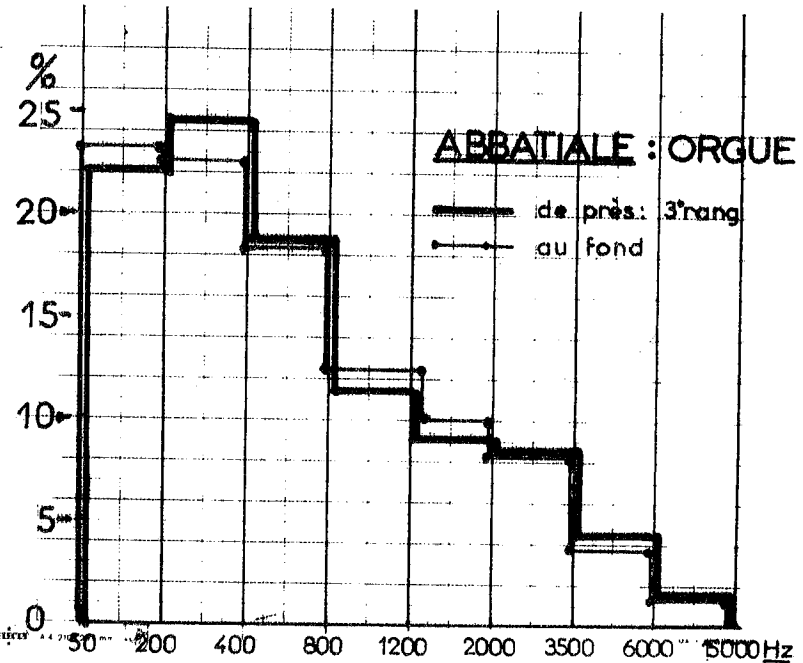
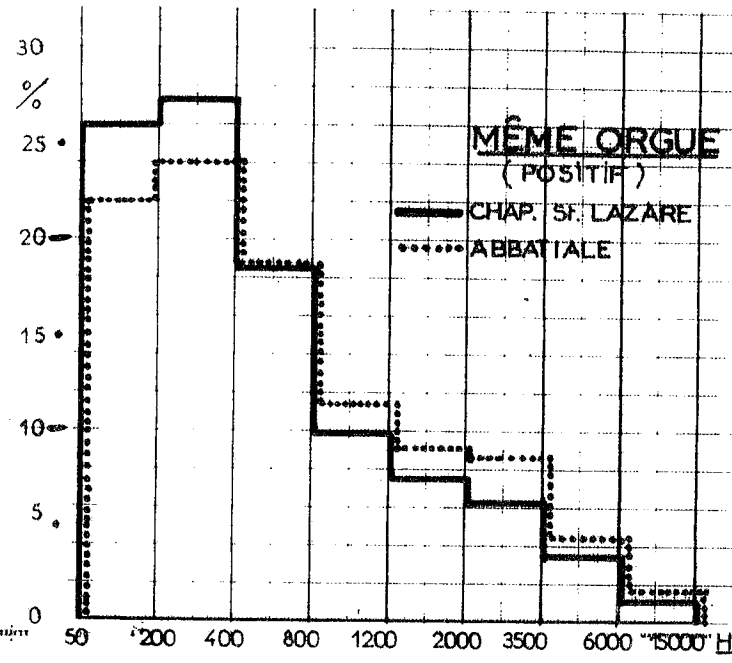
- Fig. 6a : Le même orgue (petit positif de 5 jeux) dans deux salles différentes

Une occasion extraordinaire s'est présentée à Fontevraud de comparer le même orgue dans deux salles tout à fait différentes.

L'instrument était un petit positif à 5 jeux : Les relevés que l'on donne ici correspondent à deux œuvres musicales utilisant la totalité des registres; la première est jouée dans la chapelle St Lazare, la deuxième en l'Abbatiale. L'enregistrement est fait près de l'instrument (à 5 mètres environ). Les pièces durent 5 minutes environ. Cette durée est suffisante pour avoir un aspect statistique de la densité spectrale intégrée indépendamment du morceau joué. Si nous avions pu le faire, il aurait été mieux encore de faire exécuter la même pièce par le même organiste dans les deux locaux; mais cela était impossible. L'un des relevés que l'on trouve ici correspond donc à l'enregistrement d'une pièce jouée par M. GIL lors du concert du 29 Juin à la chapelle St Lazare, la salle étant normalement occupée; l'autre était un concerto d'orgue joué en l'Abbatiale par le directeur de la Maîtrise de Chichester.

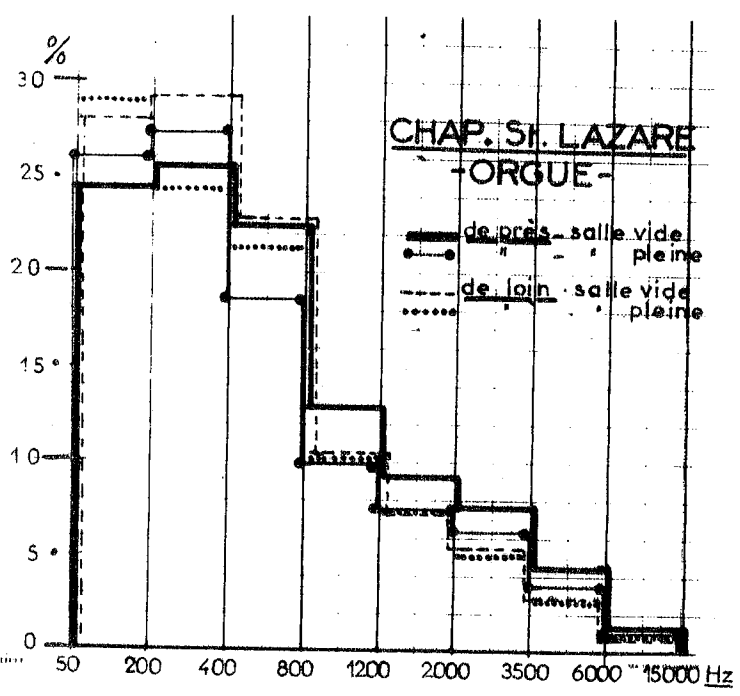
Dépouillons les diagrammes comparatifs. Dans la chapelle St Lazare (traits pleins), on vérifie que les deux bandes graves contiennent plus d'énergie que dans l'Abbatiale (pointillé). Ce fait semble paradoxal : il ne l'est pas. En effet, l'orgue utilisé n'est qu'un petit instrument ne comportant pas de tuyaux très graves. S'il s'était agi d'un grand orgue avec des tuyaux de 32 pieds, il est à parier que l'on aurait observé l'inverse. Ici, les " basses " et le grave sont physiquement faibles, et se perdent dans l'immensité de la nef de l'Abbatiale : d'où le résultat. Dans la bande importante de 400 à 800 (médium grave) les deux diagrammes sont très comparables. Dans la région du médium, du médium aigu et de l'aigu les deux diagrammes diffèrent notablement : le même orgue " sonne plus clair " dans l'Abbatiale - ce qui n'était pas évident a priori. L'Abbatiale favorise aussi quelque peu la zone de stridence et de suraigu. Bref, dans l'ensemble, le même orgue sonne moins grave, plus clair et plus aigu dans l'Abbatiale. Ce résultat semble insolite : nous l'avons dit ! Mais en dehors du fait qu'il s'agit d'un petit instrument sans " basses ", il faut aussi insister sur le fait que l'enregistrement a été fait de très près. Les résultats auraient été différents à distance, parce que le médium et l'aigu sont absorbés différemment (filtrage par l'air et les

Diagrammes de densité spectrale intégrée

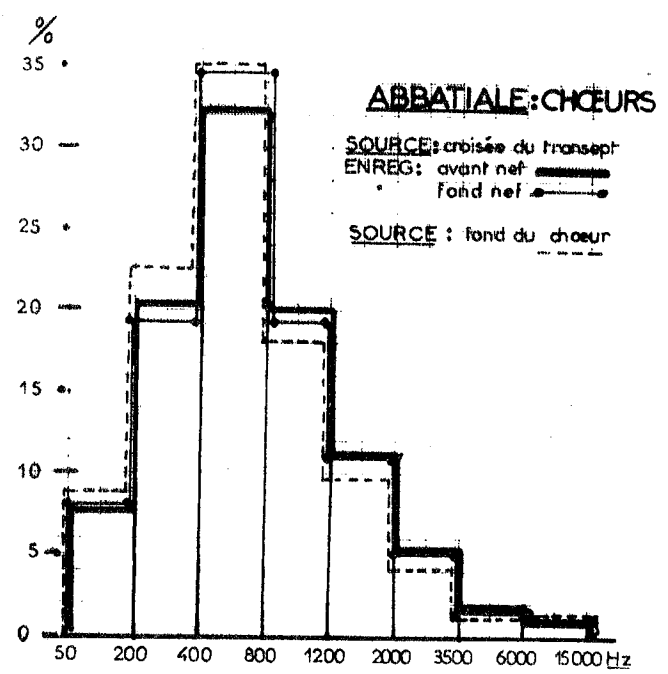


(a) On compare le même orgue dans deux salles différentes.

(b) On compare la même pièce enregistrée simultanément de près et de loin.



(c) La même pièce est enregistrée de près et de loin, salle vide et salle pleine.



(d) Les diagrammes de chant différent beaucoup de ceux de l'orgue.

cloisons). Pour le montrer nous avons fait une autre expérience : voici les résultats.

- Fig. 6b : Le même orgue entendu de près et de loin

Nous avons enregistré le même concerto (Camidge) simultanément de près en avant de l'Abbatiale (3° rang des chaises) et de loin, vers le milieu de la nef (environ 35 mètres de la source). Il est clair que la "balance" sonore est assez fortement modifiée. De loin, on gagne en "basses" et dans le médium et le médium aigu; mais on perd le grave, dans l'aigu et le suraigu. Bref, la salle modifie la sonorité, la musicalité de l'instrument de façon importante, variable selon la place occupée par l'auditeur, dont les jugements subjectifs peuvent donc différer plus ou moins fortement selon le cas. Le relevé de densité spectrale intégrée est donc très significatif.

- Fig. 6c : Rôle de l'état d'occupation d'une salle de musique

L'expérience fut faite à l'occasion du concert du 29 mai, l'orgue étant installé dans la chapelle St Lazare. Après les tests (cliquette, claquette, crécelle, parole etc..) faits le matin, le local étant vide, nous avons enregistré tout le concert, simultanément à 3 mètres de l'instrument (3° rang du public) et vers l'arrière de la salle. J'ai relevé le diagramme de densité spectrale intégrée en ces deux points, la salle étant donc occupée. Une expérience très intéressante était à faire : j'ai demandé à l'organiste, M. GIL s'il acceptait de rejouer, après le concert, la salle étant vide, l'une des pièces données salle pleine. C'était un cas idéal : même salle, même instrument, même pièce, même musicien; atout supplémentaire : l'orgue est un instrument sur lequel le musicien ne peut guère agir pour modifier la sonorité...

Les relevés de densité spectrale salle vide et pleine sont effectivement d'un très grand intérêt, parce qu'ils montrent l'influence de la présence du public sur la "sonorité" de la salle. Considérons par exemple l'enregistrement fait en avant de la salle vide : (gros traits) comparativement à celui qui est obtenu salle pleine. La différence est considérable : de près, lorsque la salle est pleine, on gagne notablement en "basses" et en grave (ce qui n'était pas évident a priori...) mais on perd dans la bande de fréquence supérieure à 400 Hz (médium, aigu et suraigu). Le "timbre"; la "sonorité" sont donc fortement altérés par la présence du public : on le sait empiriquement; ici on le prouve, on le "mesure"! Les effets ne sont d'ailleurs pas les mêmes, selon la place que l'on occupe, comme on peut le vérifier sur le diagramme (6c). Il est donc clair que ce genre de diagrammes nous informe bien sur les propriétés musicales d'une salle.

- Fig. 6d : Rôle du type de source musicale

Jusqu'à présent nous avons parlé d'orgues. Il est bien évident que la répartition statistique de l'énergie acoustique lors d'un concert utilisant soit d'autres instruments, soit la voix, va différer très notablement de celle que l'on obtient avec un orgue. Dans ces conditions la salle va réagir tout à fait autrement étant donné que le contenu spectral statistique varie avec chaque type de sources. A Fontevraud, l'occasion était bonne pour le montrer. En effet, le concert du dimanche 20 Juin comportait l'exécution à capella de nombreuses oeuvres vocales par la Maîtrise (remarquable...) de Chichester (Angleterre) composée d'une dizaine d'enfants et d'autant d'adultes interprétant de la musique liturgique. A priori, on s'attend ici à des sonorités claires de voix enfantines; on ne devrait guère trouver de "basses"! Tout le concert a donc été enregistré, simultanément de près (3° rang) et vers le milieu de l'Abbatiale, qui n'était occupée, en fait, que sur la moitié avant de la nef.

Si on considère les diagrammes de densité spectrale intégrée relevés de près et de loin (fig.6d), et qu'on les compare avec les diagrammes précédents relative à l'orgue, on ne peut manquer d'être frappé par les différences fondamentales d'allure, qui

correspondent bien aux différences de sonorité entendues. Dans les basses, on trouve peu d'énergie, ce qui est évident lorsqu'il s'agit de petits chanteurs. On en trouve notablement plus dans le grave, en raison de l'accompagnement des voix d'adultes. C'est la région de 400-800 Hz qui est la plus intense. L'énergie décroît ensuite assez graduellement en allant vers le suraigu et la stridence. Le diagramme de densité spectrale intégrée de ces " voix célestes " diffère donc énormément des diagrammes d'orgue, et la sensation découlant de l'écoute d'ordre lointain que nous avons tirée sur place à l'écoute directe correspondait parfaitement à ces différences.

J'ai relevé ainsi de nombreux autres diagrammes relatifs aux concerts de Fontevraud; en partant toujours d'enregistrements simultanés, faits avec des appareils magnétiques professionnels identiques et fiables (Nagra IS, SNN). Il est bien impossible de les donner tous ici, mais ces quelques exemples suffisent pour montrer sans équivoque possible l'intérêt qu'il y a de compléter les données obtenues avec le sonographe par les diagrammes de densité spectrale intégrée. Tous ceux que nous avons donnés ici, sont faits avec le " montage sur table " que m'a fabriqué A. SOLE, que je remercie très vivement. Les relevés, avec cet appareillage, sont un peu fastidieux puisqu'il faut repasser, pour chaque diagramme, 8 fois la même pièce complète de musique! Mais désormais les choses iront beaucoup plus vite puisque nous disposons d'un appareil opérationnel, l'IDS, qui fait les huit relevés en un seul passage de la bande.

Voici à présent quelques conclusions pratiques à propos des lieux d'animation de Fontevraud. Les résultats sont évidemment partiels et lacunaires : il était impossible de faire plus d'observations et d'enregistrements en deux jours, d'autant plus qu'il y avait à l'époque des visites de touristes, des répétitions d'artistes etc...

IV. QUELQUES RESULTATS ET CONCLUSIONS SUR QUELQUES LOCAUX ET LIEUX

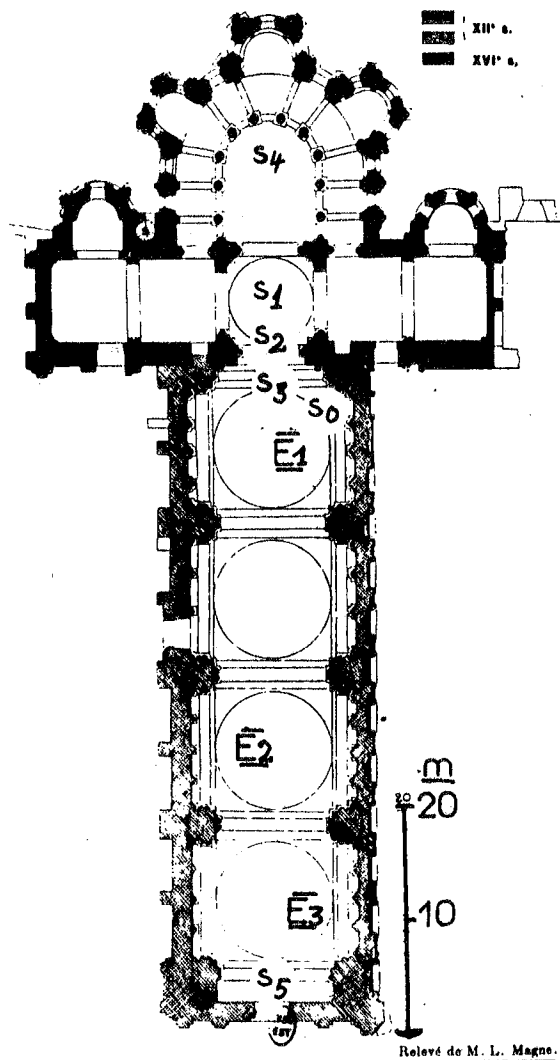
DE FONTEVRAUD

Nous n'avons eu le temps matériel de faire des tests systématiques et des enregistrements de concerts que dans l'Eglise Abbatiale et dans la Chapelle St Lazare. Nous avons cependant pu faire quelques essais et sondages dans le petit réfectoire St Lazare, dans le Cloître St Benoît, et le petit cloître St Lazare (où se passait une animation théâtrale pour des enfants).

- 1°) EGLISE ABBATIALE (fig.7). Une scène, surélevée d'un mètre environ, était dressée à la croisée du transept. Les quelques tests (cliquette, claquette, crécelle, parole) faits en direct avec l'aide de deux " auditeurs " ont permis de montrer en quelques minutes qu'il fallait absolument éviter de mettre les chanteurs et l'orgue au milieu de la croisée du transept comme c'était prévu à l'origine. Les murs latéraux, lisses et nus, provoquaient des échos multiples et des brouillages tels que ni la musique ni la parole ne pouvait être " bonnes " en disposant la source à ce point. Et cela d'autant plus que le ^(5 mètres)choeur de cette église Abbatiale est relié à la nef par une ouverture très étroite, particularité architecturale assez étonnante, mais malencontreuse acoustiquement, car on est sûr d'avoir des problèmes acoustiques si l'on s'avise à mettre l'orgue ou les chanteurs à cet endroit.

Le seul test de " discours synthétique " aurait suffi pour faire des " prédictions " réalistes ! En mettant la source au milieu de la croisée du transept, on trouvait un pourcentage d'intelligibilité de :

- 45 % pour un auditeur assis en avant de la nef, au 3ème rang des chaises.
- 15 % pour un auditeur placé vers le fond de la nef.

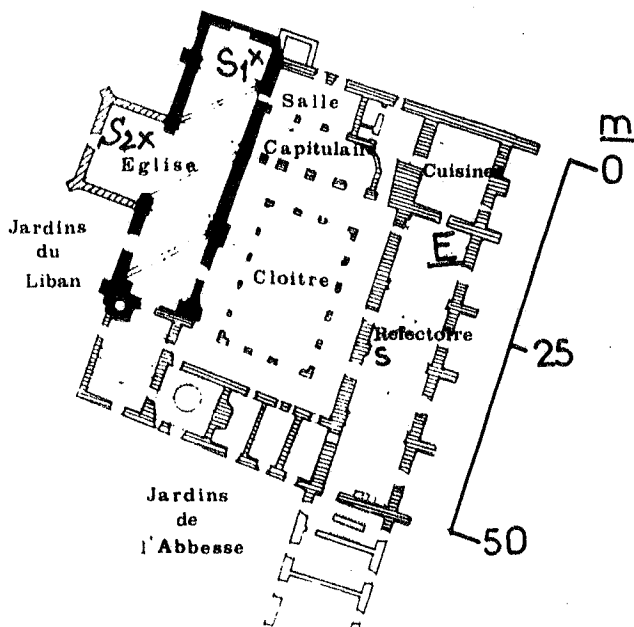


7. L'ÉGLISE ABBATIALE

— La source sonore est placée successivement en S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 . Pour chaque position, on enregistre simultanément en deux (ou plusieurs) points (E).

— L'extraordinaire resserrement au point de séparation chœur - nef (en S_2) pose bien des problèmes acoustiques... L'Abbatiale ne convient qu'à certains types d'instruments et d'écriture musicale. Encore, faut-il bien placer la source!

PLAN DU PRIEURÉ SAINT-LAZARE



8. L'ÉGLISE ST LAZARE

Ses dimensions modestes, en font un local adapté à des musiques à tempo assez rapide. Le local étant occupé, la musique y "sonne" bien, la source étant en (S_1). Selon le cas, le point (S_2) est préférable: l'intelligibilité de la parole dans le chant sera meilleure ici.

Un pourcentage de 45 % est déjà la limite et ne correspond qu'à 90 % d'intelligibilité dans un discours normal ! Avec 15 %, on est sûr de ne rien comprendre, sauf un mot de-ci de-là !

La source a été déplacée : au lieu de se placer au milieu du transept, le locuteur s'est mis au plan de jonction chœur-nef, un peu en avant dans la nef.

Les pourcentages d'intelligibilité sont passés à 70 % (de près) et 30 % (de loin) : l'intelligibilité a presque doublé ! Du même coup, la musique (chant ou orgue) dans les passages rapides, est devenue assez nette pour être acceptable - eu égard aux types de musiques exécutées !

Nous avons eu l'occasion de discuter de tout cela avec le responsable, M. RIEU, avec qui nous sommes tombés d'accord qu'il ne fallait absolument pas placer les chanteurs au milieu de la croisée du transept, mais le plus possible en avant de la scène, au plan de jonction chœur-nef. L'orgue fut placé franchement en avant du plan de séparation chœur-nef, dans la nef même... C'était certainement une sage précaution. Si nous en avions eu le temps, nous aurions pu faire une expérience comparative en plaçant l'orgue successivement en plusieurs points : au milieu de la croisée du transept, en avant ou sur le côté de la nef. Mais les tests de " sources artificielles " que nous avons faits au préalable le matin, avant le concert, avaient suffi pour montrer ce qu'il ne fallait surtout pas faire, si on voulait éviter un désastre. Les analyses faites ultérieurement au laboratoire : sonagrammes et diagrammes de densité spectrale intégrée ont totalement confirmé les conclusions des essais en direct, et montré que les sources de tests que nous utilisons ainsi que les méthodes de dépouillement sont expéditives, efficaces et réalistes. Il n'est plus douteux que si l'on avait disposé l'orgue et les chanteurs au milieu de la croisée de transept, la qualité musicale des concerts aurait été compromise.

Les sonagrammes ont effectivement montré qu'il n'y avait à proprement parler pas d'échos notables dans la nef de l'Eglise Abbatiale, si on plaçait les sources aux points où étaient l'orgue et les chanteurs. Mais il existe par contre un fort trainage des sons graves et même des harmoniques inférieurs de la voix : il ne peut donc être question d'écouter ici des musiques à sons très graves en succession rapide. De plus, si un orgue ou une formation musicale ne sont pas " avarés " en basses, cela sonnera le " tonneau " ! Considérons le pouvoir séparateur temporel pour l'aigu, relevé à l'aide de la crécelle. Il indique clairement que, la source étant placée au plan de jonction (ou en avant) du chœur, les premiers rangs d'auditeurs séparent à peine quelque 30 ms - ce qui est tout juste suffisant pour l'intelligibilité de la parole. De loin, vers le milieu de la nef, ce pouvoir séparateur tombe à quelque 250 millisecondes, et il est exclu dans ces conditions de comprendre de la parole normale. Lorsqu'une phrase est prononcée, on ne percevra nettement que la première ou les deux premières syllabes. Si, dans ces conditions, on voulait faire un discours intelligible en parlant depuis l'avant de la scène, il faudrait, même pour des auditeurs placés tout en avant, adopter un style de parole très particulier. Exemple : " mes amis... (arrêt de 3 secondes)... nous voici (arrêt de trois secondes) ... réunis (3 secondes) pour écouter (3 secondes) etc... Il est non moins certain aussi que si l'on veut exécuter de la musique dans ces lieux il faudra adopter un tempo lent, ménager de nombreuses " pauses " entre les " phrases " musicales. Il faudra d'ailleurs choisir des œuvres dont l'écriture soit adaptée au " trainage " du local. Le compositeur s'arrangera pas exemple de telle façon que deux ou trois notes qui se succèdent (et se chevauchent nécessairement de façon audible pendant plusieurs secondes) soient consonantes entre elles. Ainsi leur superposition déterminera une sensation " harmonique " du côté de l'auditeur... Il est certain que les orateurs, compositeurs et musiciens habiles utilisant de telles salles on depuis tou-

jours tenu compte, empiriquement, de leur " sonorité " ! Certains facteurs d'orgues aussi... Que l'on se rappelle donc l'histoire de l'organier Gottfried SILBERMANN qui, avant d'accepter de faire un devis ou avant de réaliser un orgue, se promenait, paraît-il, dans l'église en cause, en long et en large, frappant le sol de sa canne et " auscultant " ainsi la salle pour savoir " comment elle sonnait ". Que faisons-nous d'autre avec nos cliquettes, claquettes, crécelles etc..? Nous avons simplement sur SILBERMANN l'avantage de disposer de moyens pour objectiver les résultats, ce qui facilite grandement les " pronostics " !

Résumons. L'analyse des signaux de tests et des concerts faits en l'Abbatiale montrent avec évidence que l'utilisation d'un tel local pose de graves problèmes. On ne peut y envisager que des musiques pas trop " graves ", pas trop " rapides ", pas trop modernes (problème de la consonance des sons qui se chevauchent). Encore faut-il de toutes façons soigneusement sélectionner les points où l'on disposera les sources et les auditeurs. Toute une étude reste à faire, car nous n'avons pu sonder que quelques points. Mais cela suffisait pour poser le problème de ce local, où les difficultés sont encore accrues par la présence des files de coupoles de la nef, et la curieuse solution de continuité entre le chœur et la nef. En tout cas il semble exclu de donner ici des spectacles parlés, sauf s'il existait des remèdes! Nous verrons ce point plus loin.

2°) LA CHAPELLE ST LAZARE (fig.8). Elle est beaucoup plus petite que l'Abbatiale, et pose pour cela, de toutes façons, des problèmes acoustiques moins dramatiques... Nous y avons fait les tests que vous connaissez bien maintenant, et tiré sur place quelques conclusions pratiques immédiates. Les sources " artificielles " ont été successivement placées en avant, sur la petite scène où allait être installé l'orgue, puis au fond de la salle, puis enfin, en avant du curieux appentis latéral, fortement surélevé (1,5 mètre au moins). Ces tests, sommaires, permettaient cependant de conclure qu'il vaudrait mieux placer l'orgue en ce point, en avant de l'appentis. Ceci s'est vérifié dans les analyses sonographiques faites ultérieurement, le choix de cette place détermine moins de brouillage dans le grave, une meilleure netteté dans l'aigu (important pour un petit orgue), et évite les échos nuisibles. En salle vide, la source étant sur la " scène ", le pouvoir séparateur (crécelle), même au 3° rang, était assez déficient (quelque 80 millisecondes). Il dépassait 120 ms au fond! Lorsque la source était placée en avant de l'appentis latéral, le pouvoir séparateur était bien meilleur (quelque 50 ms). Il aurait fallu pouvoir refaire les tests la salle étant occupée, pour tirer des conclusions définitives sur les possibilités de son utilisation pour des spectacles parlés ou des colloques! Il est certain que l'état d'occupation joue un rôle notable. J'ai pu le vérifier en enregistrant la même oeuvre tout de suite après le concert, en salle complètement vide. La figure (5c) montre à quel point la " sonorité " de la salle change dans les diverses conditions.

3°) PETIT REFECTOIRE ST LAZARE. La géométrie de ce local (fig.8) est à priori plus défavorable que celle de la Chapelle. Je n'ai fait que quelques tests rapides par manque de temps. Comme le local est très allongé (largeur : 4,5 m environ pour une longueur de 30 m environ), on aura nécessairement des problèmes acoustiques si on dispose une source sonore contre l'un des petits murs, les auditeurs occupant l'ensemble de la salle. Pour le vérifier, j'ai fait divers essais. J'ai commencé par placer mes " sources artificielles " au milieu de l'un des grands murs, face à la fenêtre, le local étant vide; le magnétophone enregistreur était à l'extrémité de la salle, devant la cheminée. Avec cette disposition, on n'a pas d'échos notables; mais le pouvoir séparateur temporel est faible : de l'ordre de 100 ms. Pour de la musique de petit orgue ou de petite formation orchestrale, c'est là une valeur assez favorable; mais pour de la parole, l'intelligibilité sera douteuse. Ces conclusions peuvent se modifier si le local est intégralement occupé.

Je n'ai pas pu faire d'essais dans ce sens, mais il est présumable que la parole sera toujours mauvaise, sauf si on réussit à corriger l'acoustique du lieu. Nous y viendrons plus loin.

Lorsque l'on place les sources contre l'un des petits murs et que l'on fait les enregistrements à l'autre extrémité (30 m plus loin), il est évident que tout change. Le pouvoir séparateur, cependant, ne passe qu'à 120 ms à peu près. Sans doute le plafond très particulier est-il pour quelque chose dans cette affaire, car on s'attend à une dégradation plus importante de la netteté temporelle. Il faudrait faire ici des tests de " discours synthétique ", salle vide et occupée et des relevés de concerts réels pour définir l'usage et les dispositions les meilleurs.

4°) PETIT CLOITRE ST LAZARE. Une animation scolaire s'y déroulait lorsque nous y sommes passés; je n'ai donc pu faire aucun test. Mais il serait certainement intéressant d'étudier ce cas de près. En effet, les acteurs étaient placés à peu près au milieu du jardin. Il m'a semblé que le site était très absorbant; et dans ces conditions, l'acteur est obligé de forcer sa voix, d'où une fatigue certaine. En tout cas, et précisément en raison de l'absorption, la parole était très intelligible, très nette, sèche même; - ce qui n'est pas tellement favorable en ce qui concerne la qualité des voix dans un spectacle parlé de ce genre.

5°) CLOITRE ST BENOIT. Il mesure 60 m x 30 m à peu près. Nous avons déjà signalé un flatter-écho (écho répétitif) lorsque la source et l'auditeur se trouvent soit devant le mur de la chapelle St Benoit, à droite en entrant, soit au point symétrique, en face.

Comme un terre-plein existait sur la face nord-ouest (où des acteurs ont donné des spectacles) nous avons fait quelques essais de sources artificielles (cliquette, claquette, crécelle, parole) pour chercher à définir, en divers points de la surface du cloître, ce qu'on pouvait escompter de ce lieu du point de vue acoustique. Les quelques sonagrammes et analyses faits semblent montrer que le point le plus favorable pour disposer des acteurs ou des musiciens serait plutôt situé le long du mur de la chapelle. Mais il faudrait pouvoir faire des relevés à l'occasion d'une manifestation normale, les auditeurs étant présents. L'expérience nous a montré plus d'une fois, en effet, à quel point il faut se défier de l'étude d'une salle ou d'un lieu inoccupé. Il suffit par exemple de disposer deux ou trois personnes au bon endroit pour que tel flatter-écho disparaisse!

6°) TERRE PLEIN DERRIERE L'ABSIDE DE L'ABBATIALE. Des spectacles y sont donnés. Nous avons simplement vérifié en direct, avec la cliquette, qu'il existait des échos en divers points, provenant des murs entourant l'Abbaye. Il faudrait donc définir les points où ces échos sont perceptibles sur le terre plein, et ne pas y placer d'auditeurs. Mais il faudrait aussi faire des tests de pouvoir séparateur temporel pour juger de la netteté et de l'intelligibilité de la parole. D'une façon générale, la musique classique ne " sonne " pas très bien en plein air : la netteté est trop grande....

7°) REFECTOIRE DU GRAND MOUTIER. Nous n'avons pu faire aucun test, des travaux y étant en cours. C'est un local extraordinaire. Ses dimensions pourraient faire craindre de sérieux problèmes acoustiques (60 m x 15 m) mais je pense que les neuf travées de voûtes d'ogive devraient arranger bien des choses. Le local pourrait même être très favorables pour de la musique de grand orchestre ou de grand orgue... Tout cela reste à tester sérieusement, ainsi d'ailleurs que de nombreux autres lieux disponibles à Fontevraud, comme par exemple le Grand Dortoir, les " cuisines ", etc... Il faudrait pour cela beaucoup plus de temps que celui dont nous disposons sur place (48 heures...). Il serait surtout indispensable de faire des enregistre-

ments simultanés à l'occasion de toutes sortes de manifestations artistiques réelles; l'analyse de ces enregistrements seule permettrait de tirer des conclusions réalistes, complètes et définitives.

V. L'ACOUSTIQUE ET LES ARTISTES

- Le problème artistes

La plupart des bons acteurs, chefs d'orchestres et musiciens, saisissent bien, empiriquement, l'importance des locaux et lieux où ils se produisent. Le plus généralement, l'artiste prépare son rôle, sa partition, parfois pendant de longs mois lorsqu'il s'agit de solistes. Il répète alors chez lui ou dans un " local d'entraînement " donné. Il est bien évident que, lors de l'entraînement, l'artiste régle son jeu en cherchant à s'approcher au mieux d'un certain idéal sonore qu'il a présent à l'esprit. Mais ce " réglage " se fait évidemment à partir de ce que perçoit son oreille dans le local en présence. Voilà l'artiste prêt à faire enfin sa répétition ultime, en général dans le local du concert. Si celui-ci diffère beaucoup acoustiquement, des locaux habituels de répétition, l'artiste sera nécessairement dérouté. En faisant exactement la même chose sur son instrument, il entendra tout à fait autre chose dans ce nouveau local. Il est affolé, parce que le concert a lieu tout à l'heure, et des terreurs " métaphysiques ", le trac, l'assaillent. Comble de malheur, si la salle d'écoute est très " déformante ", les auditeurs entendront encore bien autre chose que le musicien. Comment celui-ci peut-il dès lors espérer séduire l'oreille de l'auditeur, alors qu'il ne sait absolument pas ce que ce dernier entend ? C'est un problème d'autant plus dramatique, bien entendu, que le local est plus " mauvais " : non seulement la salle abîme plus ou moins fortement le " message musical ", mais le musicien joue mal. Je connais bien cette question pour l'avoir expérimentée moi-même ! Pour y voir clair, j'ai amorcé une étude il y a bien longtemps déjà.

La méthode que j'ai mise au point à ce propos est simple. On place un microphone au voisinage immédiat de l'oreille du musicien sur la scène d'une salle, un autre à une place normale d'auditeur, en avant de la salle; un autre au milieu et au fond, par exemple. On enregistre alors simultanément à ces divers points un concert réel. Puis on procède aux analyses de sonagrammes et de densité spectrale intégrée. J'ai fait de telles expériences à l'Ecole Normale de Musique, dans la salle de concert du Conservatoire du 9^e Arrondissement, dans une petite salle de quatuor et aussi à Fontevraud. Il est chaque fois apparu clairement que le musicien ne perçoit absolument pas les mêmes images que l'auditeur normal. D'où visiblement de nombreuses prestations de qualité déficiente, où seul le local est à incriminer, et non l'artiste.

VI. PALLIATIFS ET REMEDES

C'est ici que se pose bien entendu la question cruciale : l'acousticien peut-il apporter un remède lorsque l'acoustique du lieu est en cause ?

S'il était possible de modifier les lieux, de disposer des panneaux, des faux-plafonds etc, on pourrait agir notablement sur la mauvaise qualité d'un local. Des " corrections " heureuses ont parfois pu être réalisées ainsi. Mais voilà : à Fontevraud il s'agit de monuments historiques qu'il n'est pas question de modifier en ce qui concerne l'aspect visuel. On pourrait sans doute disposer des revêtements de sol absorbants sans trop de difficultés. Ceux-ci ne résolvent, hélas, que très rarement à eux seuls un problème de déficience acoustique !

Ce que l'acousticien peut faire, par contre, c'est de chercher à définir la place optimale pour la source d'une part, les auditeurs d'autre part. Il suffit effectivement parfois de déplacer légèrement un musicien soliste ou un acteur pour améliorer considérablement la qualité de sa prestation. Cela ne coûte rien mais suppose une étude intégrale des lieux et non seulement quelques sondages comme nous l'avons fait. En tout cas c'est un remède efficace et qui n'est pas onéreux.

On pourrait sans doute, dans beaucoup de cas disposer simplement quelques " paravents " mobiles derrière les musiciens ou chanteurs, des sortes d'"abat-sons", réfléchissants ou absorbants, peu visibles en tout cas, et permettant d'obtenir dans certains cas une amélioration considérable.

On pourrait aussi penser reprendre, et cela fait depuis longtemps partie de mes projets, les essais de "file " tendus aux bons endroits, totalement invisibles, mais qui, au dire de certains expérimentateurs, seraient très efficaces. On a beaucoup écrit et discuté sur ce point autrefois! L'organier Cavaillé Coll avait fait des expériences systématiques pour améliorer l'acoustique de certaines cathédrales trop "sonores". L'acousticien Sabine cite également des tentatives faites sur ce point aux U.S.A. D'autres recherches ont été faites en Angleterre. En fait, les avis sont très divergents quant à ce procédé. Les uns crient au miracle; d'autres en rient (Sabine). La vérité ne peut sortir que d'essais systématiques qu'il faudrait faire sur place, dans les conditions d'emploi normales des sources. Les tests et analyses proposés plus haut permettraient de se faire des opinions claires, objectives. Des expériences de ce genre ne seraient pas onéreuses du tout. Les résultats pourraient cependant être importants et utilisables en particulier dans les lieux historiques d'animation. Je cite, en passant que dans la Chapelle du Rosaire, de Lourdes, comportant une grande coupole, on a disposé sous celle-ci un grand filet de pêche qui s'avère efficace pour éviter les focalisations et autres ennuis acoustiques inhérents à l'existence des coupoles (rappelons en passant que la nef de l'Abbatiale est une file de 4 coupoles). J'ai posé à ce sujet des questions à l'organiste de Lourdes; il m'a répondu que sa chapelle était considérée comme bonne pour la musique d'orgue. Mais évidemment, il ne peut dire ce qu'elle serait si on enlevait le filet.

Signalons au passage, qu'il existe actuellement des filets de pêche japonais en nylon parfaitement invisibles à distance. Il faudrait faire des essais systématiques pour vérifier l'efficacité des filets en ce domaine.

Je n'ai aucune idée préconçue pour ou contre les fils et filets; mais je crois qu'on ne parle pas gratuitement pendant des siècles de phénomènes de ce genre sans qu'il n'y ait quelque réalité tangible en présence. En tout cas nous avons à présent les moyens de vérifier s'il s'agit de mythes ou de réalités! En tout état de cause il convient d'être prudent avant de se prononcer: il ne s'agit pas de faire n'importe quoi, de tendre des fils ou des filets n'importe où et n'importe comment, ni de prendre n'importe quel filet... Pour tel filet disposé en tel point, l'efficacité peut être considérable; en d'autres points elle peut être nulle. On pourrait reprendre à ce sujet toutes les discussions et polémiques relatives aux célèbres vases de VITRUVÉ, dont l'efficacité est controversée depuis deux millénaires...

Une solution souvent adoptée de nos jours pour corriger une salle ou en atténuer la mauvaise qualité, consiste à installer une "sonorisation", c'est à dire des microphones devant les sources et des colonnes de haut-parleurs dispersés partout dans le local. Cette solution est rarement bonne lorsqu'il s'agit de spectacles de qualité; elle est souvent exécrable lorsqu'il s'agit de musique. Il est facile d'analyser les raisons acoustiques de ce fait. Que l'on imagine simplement un auditeur placé au fond de l'Abbatiale, à 60 m de la source située, elle, dans le transept. Calculons d'abord la durée que mettra un signal acoustique pour lui parvenir par voie aérienne. C'est bien facile: dans l'air, le son met 3 millisecondes pour faire un mètre; pour arriver au fond de l'Abbatiale, il mettra donc quelque 180 millisecondes. Si un microphone capte le son à la source et le transmet à un haut-parleur placé à côté de l'auditeur, la propagation sera quasi instantanée. Le ~~malheureux~~ auditeur va donc percevoir chaque son deux fois de suite à un intervalle de $1/5^0$ de seconde environ. Si on ajoute les

...../

inévitables distorsions et effets parasites provenant des amplificateurs et haut-parleurs utilisés généralement dans ce cas, on comprend aisément pourquoi on ne peut escompter un résultat final de qualité. Il est vrai que cela n'est guère gênant pour certains spectacles, mais pour Fontevraud ce serait certes dommage.

VI. CONCLUSIONS

Je n'avais jamais visité Fontevraud! L'invitation de M. FONTAINE m'a permis de combler une lacune... Le premier but de mon voyage était de me faire une idée sur place des lieux que j'avais appris à connaître sur documents photographiques, seulement, d'écouter les deux concerts annoncés, afin d'avoir quelques données directes relativement aux conditions acoustiques en présence et aux qualités et défauts des locaux, appréciés de façon tout à fait subjective.

Mais comme nous avons fait depuis longtemps de nombreux essais de salles et sélectionné quelques tests simples permettant de mieux définir les variables en présence, j'avais à tout hasard apporté mes "gadgets acoustiques" : cliquette, claquette, crécelle, et des appareils d'enregistrement de haute qualité. Mon but était de tirer quelques conclusions immédiates, subjectives, in situ et de faire des enregistrements en vue d'une recherche acoustique systématique en laboratoire. Les résultats obtenus, quoique partiels et provisoires, m'ont semblé suffisamment intéressants pour mériter une réunion du GAM.

Mon propos n'était pas du tout de faire ici de grandes théories sur les salles en présence, de faire des oracles scientifiques relativement aux qualités et défauts que révéleront, à l'usage, les locaux de Fontevraud, de donner des formules magiques aux responsables pour que tout soit parfait. Les "salles" en présence à Fontevraud posent des problèmes acoustiques assez redoutables, qui ne seront pas résolus à l'aide de quelques formules mathématiques, même si on en appelle à l'ordinateur. Il ne faut se faire aucune illusion sur ce dernier point; l'ordinateur résoud vite et bien tous les problèmes où une grande complexité est en présence; mais pour qu'il puisse le faire, il faut lui fournir les données dans les moindres détails et lui dire de même ce qu'il doit faire de ces données. Or sur ces deux points on est fort loin du compte en acoustique des salles. Aussi me suis-je fixé des buts beaucoup plus modestes et plus pratiques. Il s'agissait de commencer par voir la réalité sur place, condition sine qua non pour pouvoir poser le problème correctement. Ensuite il fallait mettre à l'épreuve les méthodes que j'ai conçues et expérimentées en d'autres lieux et voir s'il était possible grâce à elles, de mettre en évidence les variables essentielles dans les conditions d'emploi des locaux. Ces méthodes n'ont de sens que si elles sont simples, utilisables sur place par les responsables des spectacles et concerts, et si elles leur permettent de saisir et de jauger les phénomènes en présence : échos, traînages, netteté des sons, intelligibilité de la parole, tonalité ou "sonorité" des locaux. Le praticien, sur le terrain n'a que faire des grandes théories : il lui faut des résultats pratiques ! Les tests que j'ai proposés devraient permettre d'éviter des désastres acoustiques, de rechercher empiriquement, mais rapidement et efficacement, les points les meilleurs d'un local pour disposer les sources sonores et les auditeurs.

Pour le dépouillement en laboratoire d'acoustique des tests sonores et des concerts enregistrés, il fallait proposer des méthodes adéquates permettant d'objectiver les résultats subjectifs : l'expérience montre que celles que je propose ici sont satisfaisantes. Les résultats de ces recherches ont permis de mieux saisir ce qui est en cause et de réfléchir aux remèdes possibles, bref, de poser le problème et d'ouvrir la porte à des recherches ultérieures plus détaillées, en particulier en ce qui concerne le problème des "corrections acoustiques" par fils et filets, les "paravents" ou panneaux suspendus, amovibles, etc... De telles études permettraient certainement de corriger un certain nombre de défauts qui s'avèrent d'ores et déjà gênants, en particulier en ce qui concerne l'intelligibilité de la parole et la qualité esthétique de certains types de musique.

Il n'était évidemment pas question d'épuiser en si peu de temps le " cas Fontevraud "; mais je crois que des recherches approfondies en utilisant les méthodes préconisées ici apporteront des réponses précises à de nombreux problèmes acoustiques que les colloques, concerts et animations théâtrales ne manqueront pas de mettre crûment en lumière. J'espère, par la présente étude, avoir apporté quelques éléments pratiques, utilisables, susceptibles de contribuer à parfaire les animations que mérite le cadre de Fontevraud.

PARIS, le 18 Octobre 1976

E. LEIPP

o
o o

BIBLIOGRAPHIE

- 1°) MELOT (M) - L'Abbaye de Fontevrauld
Petites monographies des Grands Edifices de la France - E. Jacques Lanore, Paris 1971).
- 2°) JOUBERT (C) - L'Abbaye de Fontevraud.
Revue : Les monuments historiques de la France 3/1973 - p.1-16.
- 3°) LEIPP (E) et CASTELLENGO (M) - L'intelligibilité de la parole dans le chant.
Journées d'Etudes du Festival International du Son. Chiron. Paris (1969).
- 4°) CANAC (F) - L'acoustique des théâtres antiques - ses enseignements.
Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (1967).
- 5°) TRAN VAN KHE - LEIPP (E) - Quelques instruments traditionnels vietnamiens.
Bulletin du GAM, n° 55 (Mai 1971).
- 6°) LEIPP (E) - Un test réaliste d'intelligibilité de la parole.
Exposé au Groupement des Acousticiens de Langue Française le 24/4/75.
Ed. Interne de l'Université de Paris VI (Mécanique. à paraître dans REVUE d'ACOUSTIQUE (Paris).
- 7°) LACHEZ (Th.) - Acoustique et Optique des salles de réunions.
chez l'auteur, Paris (1879) - 515 pages.
- 8°) LEIPP (E) - Traitement optique de réverbération. Une autre façon de penser le problème.
Revue d'Acoustique, Vol.7 n° 28 (1974), p.6 à 12.
- 9°) SANTON (F) - a) L'Acoustique des églises : exemple de quelques Abbayes provençales.
Conférences des journées d'Etude du Festival International du Son.
Ed. RADIO - Paris (1976).
b) Etude acoustique d'une salle voûtée.
Revue d'Acoustique, Vol.9 n° 36 (1976), p.51.

10°) LEIPP (E) - Métrologie et audition : précision et adéquation des méthodes en acoustique " auditive "

- Edition Interne Université de Paris VI (Mécanique)
- Exposé au GALF le 13 Juin 1974. Paru, tronqué, dans la Revue d'Acoustique Vol. 9 N° 36 (1976), p.33

o
o o

D I S C U S S I O N

M. GENET-VARCIN - Il est certain que dans des locaux comme l'Abbatiale de Fontevraud on a fait autrefois de la musique et des " discours "... Les usagers savaient certainement ce qu'il fallait faire pour avoir le meilleur rendement dans les deux cas; et la chaire du prêtre était sûrement non au bout de la nef, mais au milieu. Et puis, n'y avait-il pas des " vases acoustiques " ?

M. LEIPP - En relisant le cinquième livre du traité de Vitruve l'autre jour, j'ai eu l'occasion de me rappeler certaines de nos préoccupations, au laboratoire, relativement aux vases acoustiques. Une thèse avait été soutenue à Marseille sur ce point; mais en fait le problème de la signification de ces vases reste incertain. Il faudrait expérimenter sur ce point. J'avais effectivement pensé qu'on pourrait reprendre ce problème et penser à l'utilisation de vases comme correctif acoustiques à Fontevraud... Pour ce qui est de la parole, les prédicateurs devaient avoir de toutes façons des problèmes à Fontevraud, à cause des dimensions (longueur de nef : 60 m) et des quatre coupes. Toute une étude reste à faire. Pour ce qui est de la musique, on comprend aisément que le style d'écriture ainsi que le style d'exécution se soient pliés à l'acoustique du lieu. Prenons un exemple. Si l'on chante une certaine note, et si on arrête le son à un moment donné, cette note continuera à sonner deux ou trois secondes en s'atténuant graduellement; mais si après l'arrêt de la première note on en chante immédiatement une deuxième, par exemple à la tierce supérieure, il est évident que la note actuelle se mêlera avec le traînage de la note précédente. Si les deux notes sont consonantes, l'effet sera agréable : on chantera en fait tout seul à deux voix... Si on chante encore une troisième note avant que la première ne soit auditivement éteinte, on chantera à trois voix... Il est dès lors clair que le style de composition et les pauses ménagées ici et là, détermineront soit une musique " consonante ", considérée comme agréable à l'oreille des musiciens classiques; alors que si l'on fait se suivre rapidement des notes dissonantes entre elles, il se produira des " grincements " discordants désagréables ! On ne peut donc pas jouer une musique quelconque dans n'importe quel local si on recherche une " sonorité " heureuse....

M. MOIROUD - Alors, soyons assez sages pour ne pas vouloir exécuter à tout prix une musique d'orgue quelconque en des lieux qui ne sont pas adaptés à cette musique..

M. LEIPP - J'abonde dans votre sens ! J'entends souvent des organistes exprimer leur désir : ils veulent un orgue universel pour interpréter n'importe quelle musique en n'importe quel lieu : c'est évidemment possible, mais la qualité des concerts ne peut être optimale.

M. GENET VARCIN - Je me demande si on n'a pas supprimé les jubés parce que leur rôle sur l'acoustique des lieux était néfaste.

...../

M. LEIPP - C'est assez probable, les jubés modifiaient à coup sûr l'acoustique des lieux... Dans quelle mesure ? On pourrait faire des tests.... Mais je crois savoir que les orgues étaient souvent placés sur les jubés...

M. J.J. BERNARD - J'ai assisté à une harmonisation d'orgue à l'église de Vernon; l'organier, avant de commencer son travail, frappait plusieurs fois dans es mains, sans doute pour estimer l'acoustique des lieux....

M. LEIPP - A ce propos je rappelle la légende - qui n'en est sans doute pas une, et que m'a racontée autrefois M. MEYER-SIAT. L'organier ~~Gottfried~~ Silbermann, avant de faire un projet d'orgue, se promenait de long en large dans l'église considérée, donnant sur le sol, de ci de là, des coups de canne afin, certainement, de sonder l'acoustique des lieux. Une longue expérience lui avait certainement appris à faire des corrélations entre les " coups de claquette " qu'il donnait ainsi et ce qu'il fallait faire pour construire un instrument optimal dans les conditions en question. On raconte qu'il abandonnait souvent des projets et des commandes à ses confrères... qui se discréditaient ensuite du fait de l'acoustique " impossible " des lieux ! Silbermann faisait certainement des opérations mentales que nous simulons avec le sonographe et l'Intégrateur de densité spectrale...

Une chose est sûre : les tests que je propose, en particulier celui de " discours synthétique " permettraient certainement à un organier habile de savoir bien mieux ce qu'il convient de faire en tel lieu qu'en frappant dans les mains ou en tapant sur le sol avec une canne.... Nous avons pu le vérifier dans la salle du Palais des Congrès : prévisiblement il était impossible d'installer ici un orgue dans de bonnes conditions !

M. LEOTHAUD : Ne pourrait-on avoir l'idée d'expérimenter en construisant une maquette des locaux de Fontevraud ?

M. LEIPP - Il se trouve que nous avons fait des essais dans ce sens, en réalisant la maquette, à l'échelle 1/4, d'une de nos pièces de laboratoire, et en utilisant la méthode de SPANDÖCK qui consiste à diffuser dans une telle maquette de la musique ou de la parole enregistrée en transposant la vitesse de défilement de la bande à l'échelle de la maquette (on passait de la musique 4 fois plus vite par exemple). Puis on dispose un micro à tel point de la maquette, et après retransposition en sens inverse de la bande captée, on écoute ce que cela donne lorsqu'on déplace un mur, ou lorsqu'on soulève un plafond, etc.. L'expérience a montré que c'était une manipulation amusante, mais qu'on ne pouvait rien en tirer de réaliste et la raison en est simple. D'abord, on transpose bien les dimensions métriques, mais non le fluide (l'air) où sont rayonnés les phénomènes acoustiques, ni, d'ailleurs, l'état des surfaces etc... Mais il y a beaucoup plus grave. On sait que les sons graves, disons en dessous de 1000 Hz, se propagent plus ou moins par sphères concentriques, alors que le suraigu (au-dessus de 3000 Hz) est extrêmement directionnel. Un événement acoustique normal de parole ou de musique comporte toujours un mélange de grave et d'aigu. Lorsqu'on transpose tout de 4 fois, tout devient aigu et suraigu : le phénomène change complètement de nature. La méthode est séduisante : il ne faut pas trop en escompter de résultats utilisables, sauf peut-être pour les échos....

En résumé, le problème d'acoustique des salles est vraiment plus compliqué qu'on ne l'imagine habituellement, et finalement les connaissances empiriques des spécialistes qui cumulent leur expérience personnelle avec celle de leurs prédécesseurs. Les études " mathématiques " sont valables pour des artefacts et des sons simples de haute fréquence, mais dans l'état actuel des connaissances, l'acoustique des salles ne peut être traité convenablement par les voies de l'acoustique physique classique. Je n'oblige personne à penser comme moi, mais regardez autour de vous les salles qui se sont faites récemment.

M. GUEUENS - Avez-vous une explication pour la disparition des graves dans les grands édifices ?

M. LEIPP - Comme les sons aigus se propagent en ligne droite (à peu près...) ils réalisent des faisceaux " cohérents " qui ne dispersent pas leur énergie. Les graves se propageant par sphères, il est évident a priori qu'ils s'affaiblissent plus que les aigus avec la distance... De plus, ils subissent des " pertes de charge " par frottement, non négligeables....

Tout ce que je puis dire, c'est qu'il y aurait intérêt à relire Vitruve et à revoir de très près le problème des théâtres antiques où l'on plaçait souvent le locuteur à 1,5m ou 2 m d'un mur. Pour quelle raison ? Je vois l'explication suivante. Lorsque je parle normalement, on m'entend à peu près aussi bien derrière que devant moi... S'il y a un obstacle derrière moi, à 1,5 m par exemple, cela fera trois mètres pour l'aller et retour d'un son, soit une durée d'environ dix millisecondes. Les deux phénomènes sont trop proches pour être séparés auditivement : ils fusionnent; mais entre le premier et le second, les cellules nerveuses auditives ont le " temps de se reposer " : c'est un problème bien connu des physiologistes (période réfractaire absolue et relative). Avec un décalage suffisant entre les deux sons (direct, et réfléchi par le mur du fond) l'oreille " entend plus fort " que si les deux sons (aller et retour) étaient simultanés. C'est un problème de neurologie et non un problème de sommation d'énergie.

M. CASTELLENGO - On pourrait alors installer parfois aux lieux où les troubles acoustiques sont importants, des parois vitrées derrière les locuteurs ou musiciens....

M. LEIPP - Bien sûr, et dans le cas des monuments historiques, cela ne détruirait pas l'aspect des lieux... Je pense beaucoup plus au plexiglass pour ma part....

M. CARFANTAN - Quand on enregistre un chanteur, une soprano par exemple, dans une salle sourde, la chanteuse chante tout à fait autrement qu'en salle normale; on accuse le " trac " : ça ne doit pas être cela.

M. LEIPP - J'ai soulevé cette question tout à l'heure. Il est clair que le musicien a, " dans sa tête ", un idéal sonore qu'il cherche à matérialiser; il s'entraîne à se faire des " programmes " de mouvements à exécuter, qui sont fonction, évidemment de ce qu'il entend avec son oreille lorsqu'il joue. Dans une salle sourde, il entend tout à fait autre chose que dans une salle normale. Alors il est dérouté; ses " programmes préparés " ne " marchent " plus et il ne peut les refaire tous immédiatement, en temps réel : il joue mal !

Bref, je pense que vous êtes tous convaincus que si les problèmes d'animation relevant de l'acoustique étaient simples ils seraient résolus depuis longtemps et nous ne serions pas réunis ici ce soir ! Mais qu'il existe désormais des moyens pratiques pour tester une salle efficacement et aussi des méthodes scientifiques pour objectiver les choses perçues... Pour chaque local, on peut donc optimiser les conditions de " fonctionnement " acoustique; mais il est évident que cela implique une étude détaillée sur place pour chaque cas particulier - et en architectures historique les cas sont vraiment " particuliers " chaque fois ! En tout cas, des solutions existent : le but de notre réunion était de le montrer, en donnant quelques exemples précis relatifs à Fontevraud, un " cas-type " particulièrement intéressant.