



**HAL**  
open science

## Qualité acoustique des lieux d'écoute

Catherine Semidor-Signoret

► **To cite this version:**

Catherine Semidor-Signoret. Qualité acoustique des lieux d'écoute. [Rapport de recherche] 643/90, Ministère de l'équipement, du logement, des transports et de la mer / Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur; Ecole nationale supérieure d'architecture de Bordeaux. 1989. hal-01907779

**HAL Id: hal-01907779**

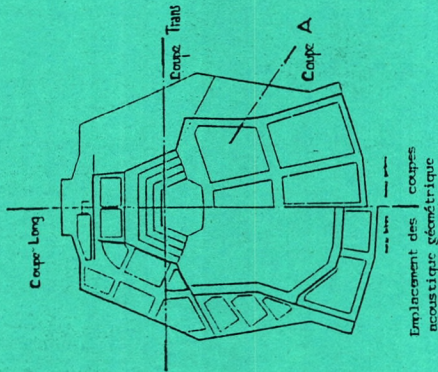
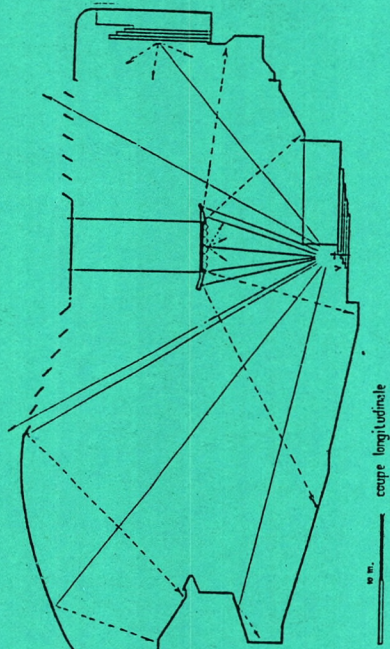
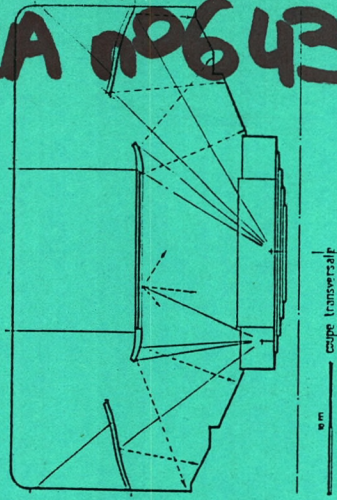
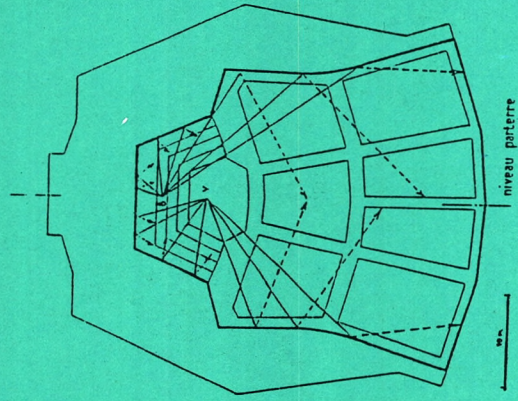
**<https://hal.science/hal-01907779>**

Submitted on 29 Oct 2018

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

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

BRA n°643

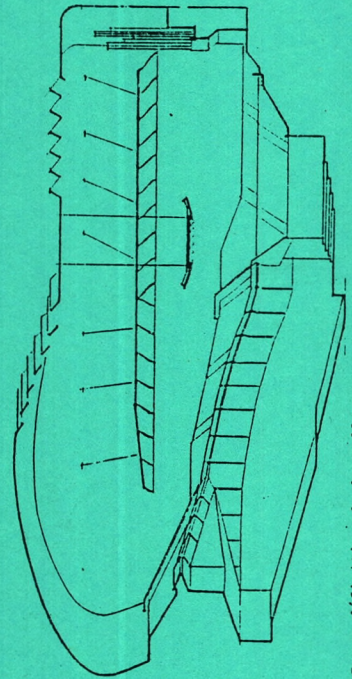
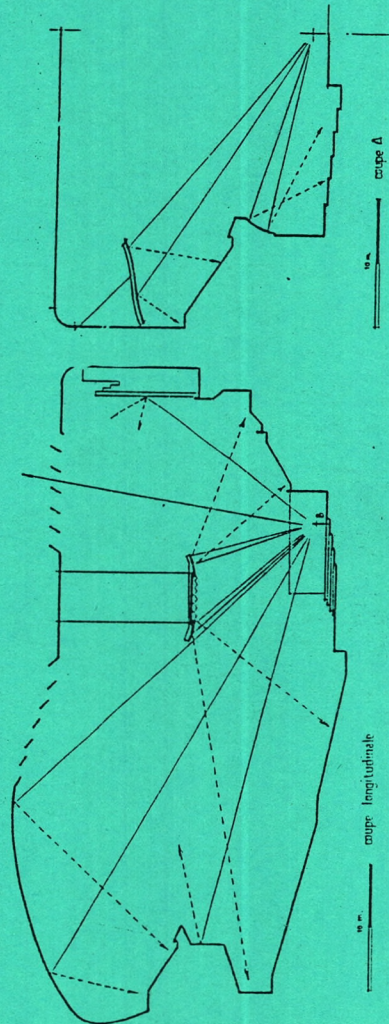


# Labo © - Ecole d'Architecture de Bordeaux

C. SEMIDOR-SIGNORET - Groupe Acoustique Architecturale et Urbaine



Troisième proposition



décembre 1989  
rapport de recherche  
convention n° 8701491

C. SEMIDOR-SIGNORET  
Labo C - école d'architecture  
de Bordeaux

## "QUALITE ACOUSTIQUE DES LIEUX D'ECOUTE"

"Le présent document constitue le rapport final d'une recherche remise au Bureau de la recherche Architecturale en exécution du programme général de recherche mené par le Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports avec le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur. Les jugements et opinions émis par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports  
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme  
Sous-direction de l'Enseignement de l'architecture et de la Recherche  
Bureau de la Recherche Architecturale

L'acoustique architecturale traite de la qualité acoustique des lieux ainsi que de leur protection vis à vis des bruits extérieurs et intérieurs.

La qualité acoustique des lieux d'écoute dépend du type de message qui devra être perçu dans ces lieux. Les problèmes qui se posent, ont tout à la fois un aspect technique, social et psychologique, le facteur humain étant prépondérant.

De ce fait les méthodes de mesure des phénomènes acoustiques doivent prendre en compte ces facteurs.

C'est pourquoi en collaboration avec l'UAR 868 du CNRS le labo "C" de l'école d'architecture de Bordeaux s'intéresse à la méthode proposée par E. LEIPP.

Cette méthode a été utilisée pour tester plus de cent vingt lieux très divers (de la salle de classe à la cathédrale). Le dépouillement numérique de ces très nombreux tests est maintenant possible grâce à l'acquisition de matériel nouveau (carte pour le traitement du signal en temps réel - magnétophone numérique,...)

La corrélation des résultats des mesures acoustiques avec les paramètres architecturaux qui pourront être relevés par photogrammétrie doit permettre la validation de cette méthode par rapport aux méthodes impulsionnelles.

Après un bref rappel sur les méthodes traditionnelles (géométriques, statistiques...) on trouvera une description de critères de E. LEIPP.

Tous les travaux effectués par l'équipe jusqu'à ce jour et décrits par la suite, doivent permettre de relier les premiers paramètres cités plus haut avec des facteurs subjectifs d'écoute et donc de déterminer des éléments pertinents pour la qualification des lieux d'écoute.



## I - INTRODUCTION

En regard à certaines autres spécialités de la physique, l'acoustique est une science dans laquelle beaucoup de phénomènes restent à expliquer. On sait exploiter depuis l'Antiquité les effets acoustiques qui se rapprochent des effets optiques, mais on sait, même de nos jours, encore mal déterminer les caractéristiques intrinsèques d'absorption de l'énergie sonore, d'un matériau.

De plus lorsqu'on travaille dans le domaine de l'audible, en particulier pour tout ce qui touche la perception sonore, on s'aperçoit que l'aspect subjectif prend une place importante dans la façon d'analyser les données résultant des mesures.

### I-1- Petit historique de l'acoustique architecturale

La conception des théâtres grecs et romains montrent une maîtrise des contraintes tant visuelles qu'auditives et une utilisation de l'architecture du lieu pour améliorer l'efficacité de la transmission des messages sonores.

Depuis cette époque jusqu'au début du siècle la connaissance empirique de certaines lois de propagation du son a permis de disposer de lieux où la communication parlée est assurée d'une façon remarquable (Epidaure).

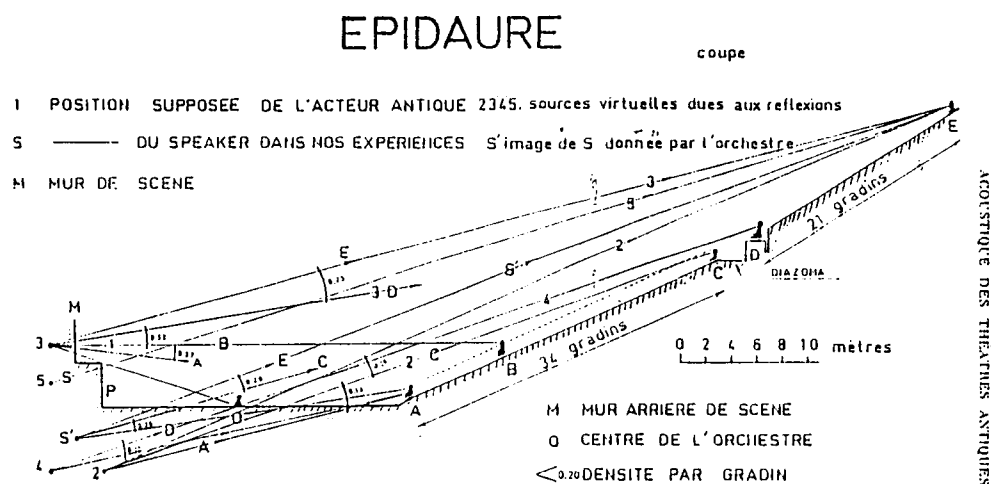


FIG. VI-4. — Coupe du théâtre d'Epidaure.  
 1, Position supposée de l'acteur antique.  
 2, 3, 4, 5, Sources virtuelles dues aux réflexions.  
 S, Position du speaker dans nos expériences.  
 S', Image de S donnée par l'orchestre.  
 M, Mur de scène.  
 O, Centre de l'orchestre.  
 < 0,20 densité par gradin.

Les éléments tant architecturaux que musicaux concernant les manifestations musicales jusqu'au Moyen Age sont si peu nombreux que l'on peut mal évaluer la réussite des lieux d'écoute qui leur étaient destinés.

Simplement il semblerait que jusqu'à une époque récente l'influence se soit préférentiellement faite du lieu sur la musique et non l'inverse. On adaptait la composition musicale au type de salles dans lesquelles les pièces devaient être exécutées, le jeu musical étant fortement déterminé par le volume et la nature des surfaces de l'espace d'écoute.

Par exemple dans les églises romanes ou les abbayes cisterciennes, les notes du plain-chant égrennent une mélodie mais la réverbération des lieux entraîne une harmonie par superposition des notes et la lenteur du chant devait en permettre une meilleure compréhension en s'adaptant à cette grande réverbération.

De même à la fin du Moyen-Age la vision cosmique du monde amène à une fusion étroite entre lieux religieux (cathédrale gothique) et musique résonnante qui est le reflet du concept médiéval de l'harmonie éternelle (musique des sphères de Boèce,...)

La musique de cour est interprétée dans les salons à l'acoustique claire et intime, dont les murs sont habillés avec des tapisseries, des draperies qui vont absorber le son et remplis d'une assistance importante, par rapport à un volume restreint, qui se trouve très proche des musiciens. On y verra donc se développer une musique riche en harmonique, très ornementée (de la Renaissance au Baroque) qui se joue souvent sur des instruments à cordes qui ne sont pas très puissants (vihuela, clavecin, luth...).

Jusqu'au 17ème siècle les lieux des manifestations musicales sont réservés soit au domaine religieux, soit aux salons privés des palais. Ces locaux ne sont pas spécialement destinés à la musique et l'on a vu que c'est l'interprétation qui s'adapte au lieu.

A partir du 18ème siècle se construisent un peu partout en Europe des salles conçues pour des concerts publics.

Les orchestres sont formés d'un nombre de musiciens plus faible que celui des orchestres symphoniques actuels. Les instruments évoluent en devenant plus puissants ou sont remplacés par des instruments de la même famille qui ont également une sonorité plus puissante. De même les formes musicales changent (naissance de la forme concerto,...). Enfin les musiciens sont sensibilisés par le fait que le lieu influence l'exécution d'une pièce musicale et tentent d'en utiliser les propriétés à travers le répertoire choisi.

Malheureusement l'extension à l'architecture de principes mis en évidence sur les instruments de musique conduit à des idées fausses qui perdurent jusqu'à nos jours (ex : si une salle est tout en bois elle va résonner comme un violon...).

Depuis longtemps on a mis en évidence dans des bâtiments (églises, théâtres anciens,...) des éléments architecturaux devant contribuer d'une façon ou d'une autre à favoriser une écoute convenable. Mais aucune étude ne se propose de quantifier les résultats et on se contente de reproduire les cas qui semblent le mieux fonctionner sans se rendre compte que la copie ne peut pas être tout à fait semblable à l'original et que ce sont peut être ces petites différences qui vont jouer sur la qualité acoustique.

Il faut attendre le 19ème siècle pour trouver les premières tentatives de compréhension théorique des phénomènes observés avec en particulier l'architecte Lachez (1848), et les physiciens Helmholtz (1863), Rayleigh (1877) et Sabine (1898).

## **I-2- Principes d'étude**

Sabine lance les prémices de l'acoustique physique appliquée à l'architecture et base ses travaux sur le concept de temps de réverbération défini comme étant le temps nécessaire à un signal sonore pour chuter le 60 dB après que l'on ait coupé la source.

Toute une méthodologie se développe autour de cette idée et de nombreux traités (Knudsen, Cremer) sont publiés. Ils présentent ces notions sous un aspect très mathématisant où le facteur perceptif n'est pas pris en compte.

Depuis, plusieurs théories sont apparues qui procèdent de façon différente dans l'étude du comportement d'un lieu d'écoute.



### I-2-1- Méthode basée sur l'acoustique statistique

Ce mode d'analyse et/ou de précision est entièrement dérivé du calcul du temps de réverbération tiré des travaux de Sabine. De nombreux échecs ont montré que cette méthode, utilisée seule, ne tenait pas suffisamment compte de l'architecture du lieu (forme en particulier) pour donner des résultats satisfaisants.

Elle pêche de plus par des défauts liés à l'utilisation de paramètres tels que le coefficient d'absorption Sabine des matériaux et éléments mis en oeuvre dans la salle et dont on sait pertinemment que les valeurs sont tributaires de la méthode de mesure et qu'elles seront différentes entre le laboratoire d'essais et in situ (surface mise en oeuvre, disposition des matériaux les uns par rapport aux autres,...)

De ce fait des chercheurs (cf. Meisser du Laboratoire National Acoustique) tentent actuellement de mettre en place des méthodes de caractérisation qui soient plus fiables.

### I-2-2- Etude sur maquettes

Dans ce cas on réalise à une échelle comprise entre 1/30 et 1/8 une maquette de la salle à étudier. A la même échelle, dans les domaines de la fréquence et du temps, on procède dans cette maquette à certains tests pratiqués dans les salles en vraie grandeur, ce qui permet de prévoir une partie du comportement de la salle avant sa réalisation. En particulier la visualisation des échogrammes peut amener à modifier les dimensions de la salle ou l'orientation de certains éléments architecturaux.

C'est une étude en 3D qui se réfère à l'acoustique géométrique (propagation d'un "rayon" sonore) et qui, en conséquence, ne tient pas compte de l'aspect ondulatoire du phénomène sonore.

De plus la réduction d'échelle pose plusieurs problèmes difficiles à résoudre vis à vis de la propagation des ondes dans l'air, des propriétés absorbantes des matériaux mis en oeuvre dans la maquette par rapport à la réalité, de la modélisation des sources sonores employées, ainsi que des microphones utilisés lors des tests.

Nos premiers travaux à l'Ecole d'Architecture de Bordeaux ont porté sur l'étude acoustique d'une maquette à 1/30è réalisée par des étudiants pour leur diplôme de fin d'étude.

Ce choix peut se justifier par le fait que la maquette est un outil de simulation facile à appréhender par l'architecte et qu'elle reste une aide dans sa conception des volumes, bien que peu de salles aient finalement été construites conformément à leur maquette.

En effet, il faut noter que les salles sont souvent modifiées au cours de leur réalisation alors que l'étude acoustique prévisionnelle est terminée et ne peut matériellement être reprise. De ce fait, il existe très peu de cas permettant de corréler les résultats obtenus sur maquette avec les tests réalisés dans la salle terminée.

Le prix de revient relativement élevé de la construction d'une maquette étant responsable de cet état de choses, J.D. Polack tente de résoudre ce problème en proposant de fabriquer des maquettes en carton ; actuellement il en est au stade de validation de cette proposition.

### **I-2-3- Simulation numérique**

L'apparition au cours des dernières années d'importantes puissances de calcul a permis le développement de méthodes de simulation numérique. Toutes les méthodes (soit dite "des rayons" soit dite des "sources-images") permettent le calcul de la réponse impulsionnelle d'une salle pour une source omnidirectionnelle et un point récepteur donnés. Basées les unes et les autres sur l'acoustique géométrique elles souffrent des limites déjà évoquées à propos des hypothèses que cela impose. De plus les caractéristiques des matériaux utilisés dans le programme sont celles mesurées par la méthode de Sabine donc également entachées d'erreurs.

Du fait de la complexité des salles réelles, l'espace et le temps de calculs exigés par ces programmes obligent à des simplifications dans les formes, le nombre d'éléments "actifs" à prendre en compte,...

Une nouvelle méthode dite des "cônes", mise au point par J.P. Vian permet de tenir compte de la dispersion de l'énergie due à la diffusivité des surfaces. Le problème rencontré est de déterminer les valeurs de ces paramètres. De plus les hypothèses faites sur le rayonnement des instruments enregistrés pour des tests d'écoute musicale simulée, ne sont pas adaptés.

Un partie des travaux effectués par notre groupe avec des musiciens de l'Orchestre de Bordeaux-Aquitaine voudrait servir à une meilleure modélisation des sources sonores.

## II - METHODES DE MESURES ET ANALYSE DES DONNEES

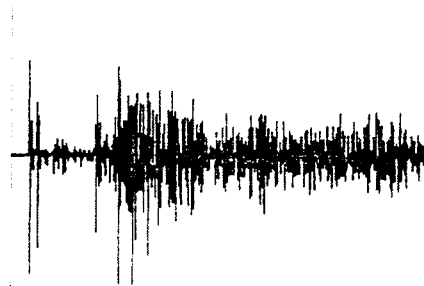
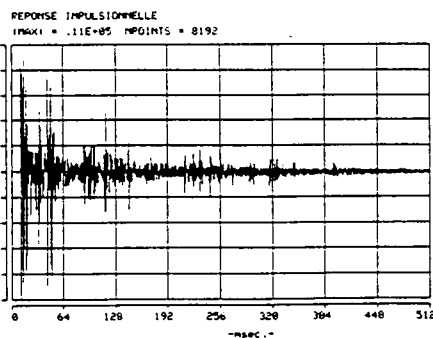
### II-1- Méthode impulsionnelle

Cette méthode utilise comme source sonore soit un pistolet, soit des claquettes qui donne des sons brefs et intenses pouvant être assimilés à l'attaque du son par un instrument de musique et exciter les modes propres de la salle.

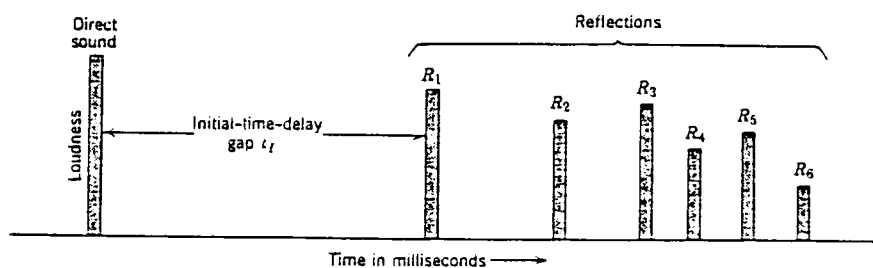
Le problème posé par ces sources est que l'on n'est pas sûr de la pureté du Dirac ainsi envoyé (du fait d'un second choc du percuteur dans le cas du pistolet par exemple).

On peut employer également des sources normalisées (bruit blanc ou bruit rose).

Un récepteur, à sonomètre et/ou enregistreur, permet de relever les échogrammes en quelques points de la salle.



The first 3ms of the model impulse response (150 ms full size).



On peut distinguer sur les enregistrements de l'évolution du signal dans le temps le son directement arrivé au microphone des réflexions sur différents éléments de la salle. On peut également déterminer le temps de réverbération (définition Sabine) de la salle ainsi que la présence d'échos francs.

### II-1-1- Critères de mesure

L'analyse du signal permet d'accéder aux critères suivants :

- le Early Decay Time (EDT) ou temps de réverbération sur les 80 premières millisecondes

- la Clareté C =  $10 \log \frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt}$  où p(t) est la pression acoustique instantanée mesurée

- la force totale du son G =  $10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_a^2(t) dt}$  endB où p<sub>a</sub>(t) est la pression anéchoïque à 10m de la source.

- la fraction d'énergie latéral LEF =  $\frac{\int_{0.005}^{0.08} p_l^2(t) dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}$  où p<sub>l</sub>(t) est due à l'effet des réflexions latérales

- l'impression spatiale SI = ( 14,5 LEF-0,7) w(t) où

$$w(t) = \begin{cases} t/5 & t < 5\text{ms} \\ 1 & 5 \text{ ms} \leq t < 80\text{ms} \\ (160-t)/80 & 80 \leq t < 160 \\ 0 & 160 \leq t \end{cases}$$

- le coefficient d'intercorrélation aurale IACC degré de cohérence qui compare l'audition de chaque oreille par rapport à l'audition totale durant l'écoute utile de 50 ms.

## II-1-2- Critères subjectifs

Depuis 1950, il est apparu que les paramètres à prendre en compte pour la détermination de la qualité acoustique d'un lieu d'écoute sont non seulement ceux de type objectif que nous venons d'évoquer, mais également de type subjectif dû à la présence d'auditeurs et d'exécutants ayant des caractères psychophysiosociologiques différents.

Il a donc fallu mettre en place des méthodes d'analyse permettant de relier les facteurs objectifs de mesure et d'architecture, et les facteurs subjectifs. Le premier à proposer des relations entre les deux domaines a été L. Beranek qui a travaillé sur des salles connues mondialement et a tiré de cette étude des critères d'appréciations.

Beaucoup de chercheurs se sont inspirés de ces travaux en les affinant par leur contribution tels Jordan, Kuttruff, Meyer, Barron ou Gade...

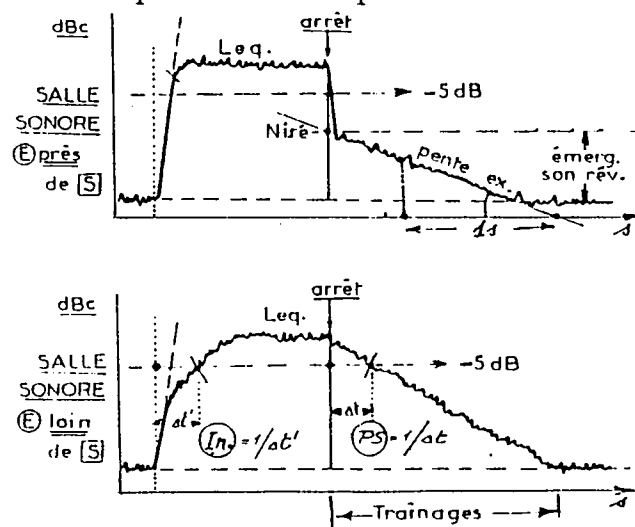
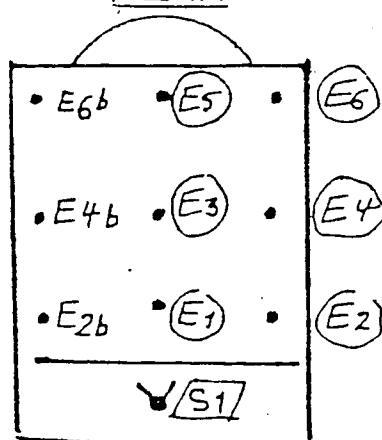
On pourra remarquer dans la liste qui suit que très souvent le vocabulaire employé, qui peut être de plus différent entre acousticien, musicien et architecte, fait référence à la vue (couleur et lumière) ou au toucher par comparaison des sensations éprouvées.

CRITERES OBJECTIFS	CRITERES SUBJECTIFS
E D T ou T R	Réverbération - Vivance - Chaleur - Définition - Timbre
C	Clarté - Brillance - Intelligibilité -
G	Niveau sonore - Plénitude -
LEF, SI, I ACC	Impression de spatialité - Equilibre - Intimité - Diffusion -

## II-2- Méthode de LEIPP

Cette méthode est plus facilement compréhensible par des non-physiciens tels que les architectes, parce qu'elle est plus globalisante et tient d'avantage compte des facteurs humains. Le signal n'est plus impulsionnel. Il est émis par un générateur de bruit rose constant en intensité par bande de fréquence normalisée. Il faut à ce son un certain temps pour arriver à plénitude au-dessus du bruit de fond qui est également mesuré. Ensuite on coupe ce signal, il faut alors un certain temps au son pour s'éteindre, temps que l'on mesure également.

On enregistre ce signal en différents points de la salle pour différentes positions de la source sur la scène. PLAN



Car il faut bien noter qu'il y a 2 types de confort à respecter pour qu'une salle soit réussie: *\*LEIPP !!*

- celles des auditeurs dans la salle
- celles des musiciens ou des acteurs sur scène qui doivent pouvoir s'entendre entre eux et avoir l'impression que le son passe dans la salle.

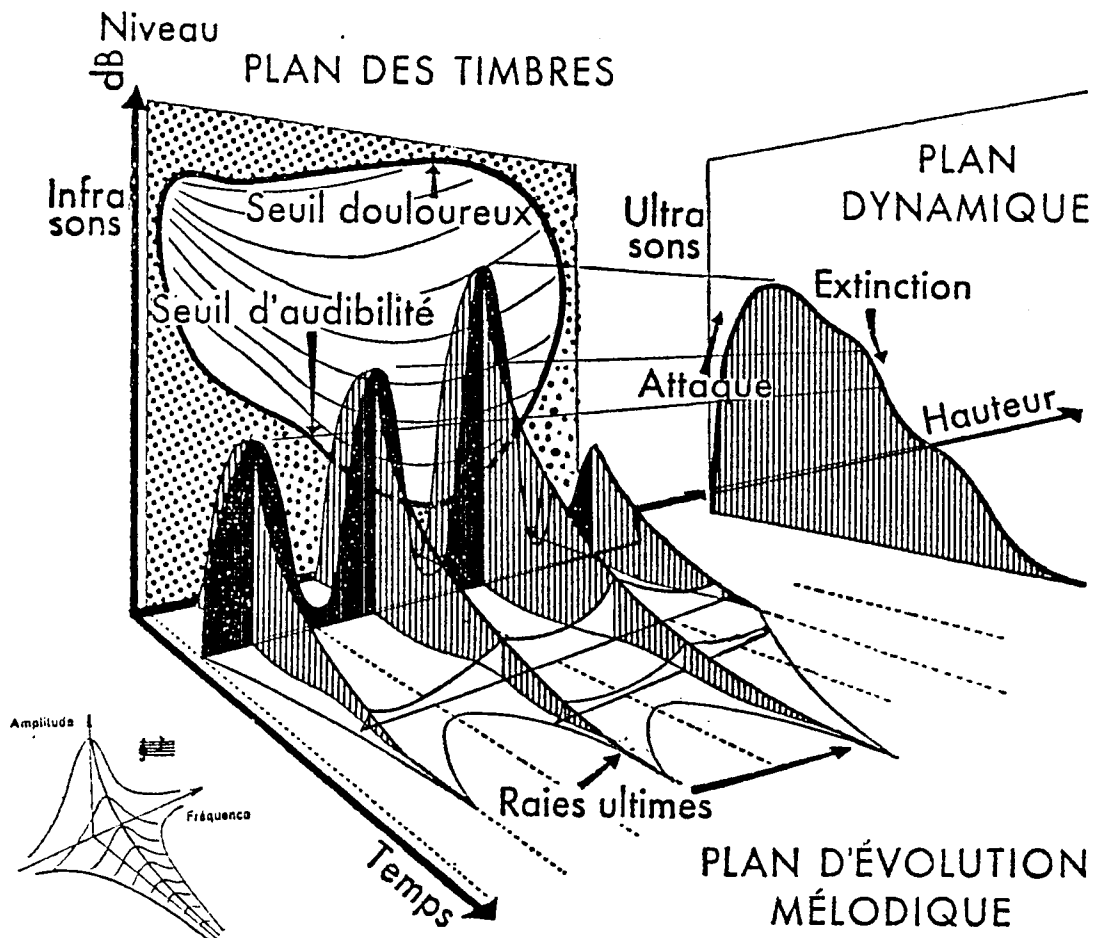
Avec la méthode d'E.Leipp, on travaille en considérant trois éléments dans leurs complexités respectives :

- une source variable, selon qu'il s'agit de la parole, du chant ou de divers instruments
- un canal, c'est à dire la salle caractérisée par des propriétés physiques particulières
- un auditeur avec ses qualités perceptives propres

Les phénomènes sonores sont très complexes : le son varie dans l'espace, avec l'effet de la distance, dans le temps puisqu'il finit par s'éteindre, en fréquence au cours d'une phrase musicale ou parlée.

On distinguera donc trois plans

- le plan harmonique lié au timbre, au spectre de la source
- le plan dynamique lié à l'intensité et ses variations dans le temps et l'espace
- le plan mélodique lié à la clarté de la perception du son à l'évolution de la fréquence dans le temps



La représentation tridimensionnelle de l'objet sonore. L.H.T. Dans le plan L.H. se projette sur l'aire acoustique le spectre instantané du son, l'évolution de celui-ci en fonction du temps trace un volume représentatif de l'objet sonore. Chaque tranche d'épaisseur du présent contient un « symbole sonore » reconnaissable.

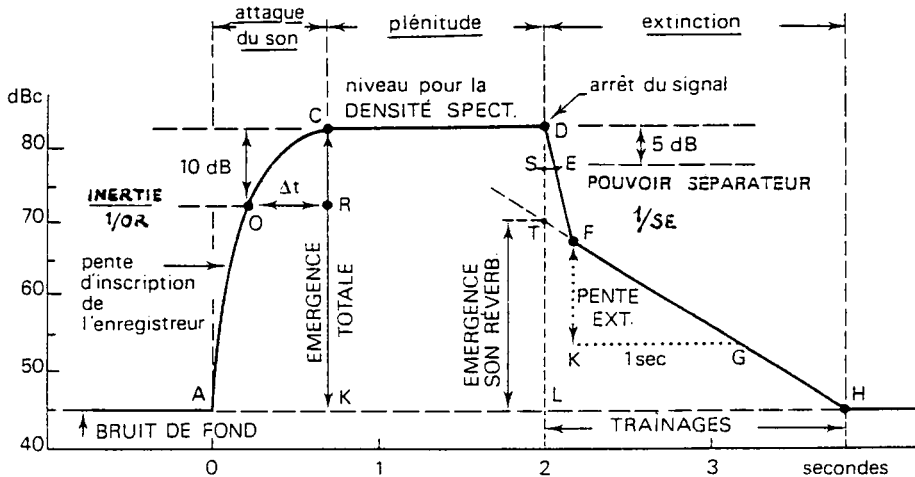
L'analyse de la déformation du signal sonore par le canal donnera les critères objectifs de mesure.

## II-2-1- Critères de la méthode de LEIPP

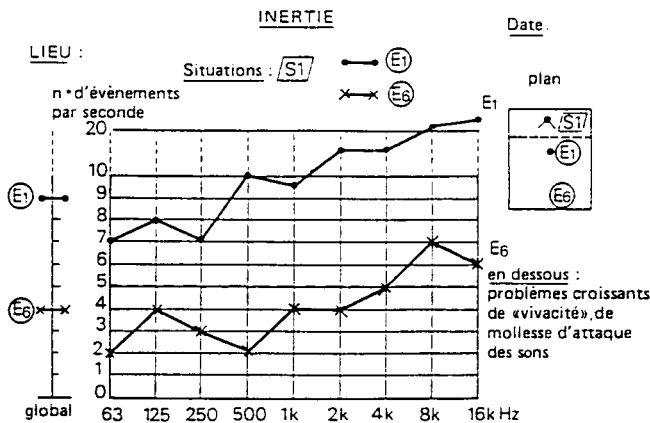
La méthode de LEIPP permet d'établir un certain nombre de critères d'appréciation des qualités des salles.

Les divers éléments appréhendés sont :

- le temps que met le son pour arriver à sa plénitude et qui caractérise l'inertie de la salle - c'est une constante plus ou moins brève.
- l'analyse fréquentielle du son en plénitude qui permet de définir la densité spectrale
- le temps que met le son perçu à se noyer dans le bruit de fond et qui mesure l'effet de trainage, caractéristique de la salle dans sa façon de déformer les sons.
- le temps que met le son pour chuter de 5dB juste après extinction de la source et qui permet de déterminer le nombre d'événements perceptible distinctement par seconde.



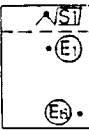
— Le document acoustique de base (schéma). C'est l'enregistrement de niveau, relevé en global et pour les 9 bandes d'octave pour une situation d'écoute donnée. La figure est suffisamment explicite pour montrer comment on en extrait les critères physiques (en majuscules) permettant de remplir la fiche caractéristique.





LIEU : salle CNSM

date : 23.11.81



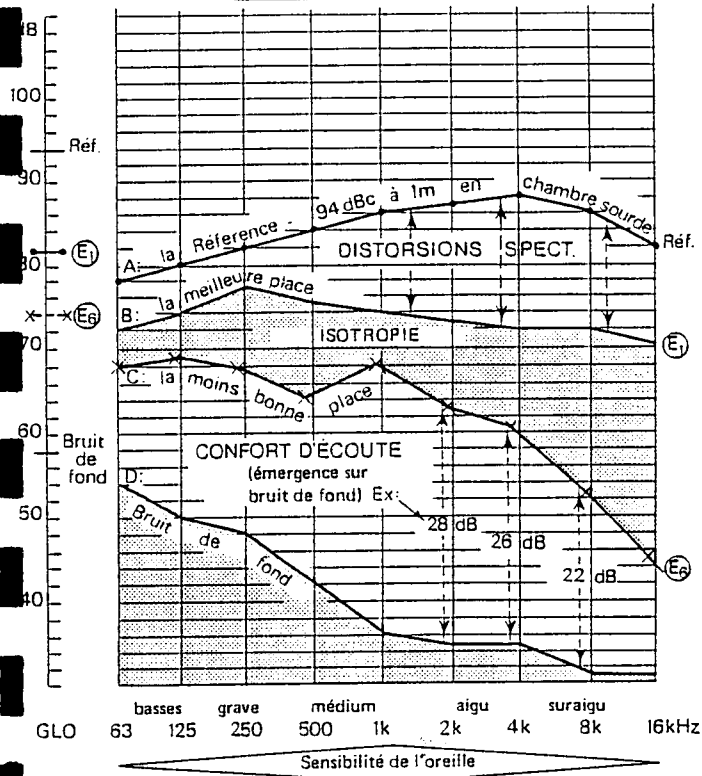
Situations : S1

E1

Réf. 94dB-1m

E6

### DENSITÉ SPECTRALE



### DIAGRAMMES DE TRAÎNAGES

Date

LIEU : Situations : S1 (S et E)

E1

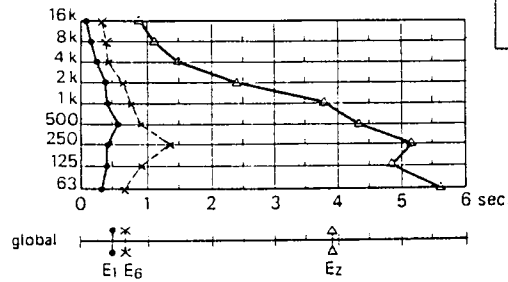
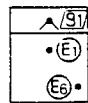
genre «OPERA»

plan

E6

E2

genre «Cathédrale»



### DIAGRAMME DES POUVOIRS SÉPARATEURS

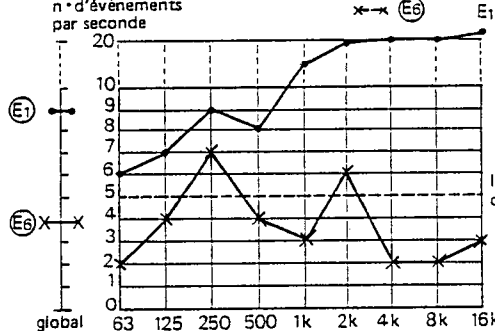
Date

LIEU : Situations : S1

E1

plan

E6



— Le diagramme de densité spectrale. A partir de la « référence » (ce qui « sort » du haut-parleur) on peut estimer visuellement, sans difficulté, les altérations de « coloration » (de timbre) aux divers points d'écoute, l'isotropie du lieu, le confort d'écoute, le bruit de fond. La superposition des diagrammes de divers lieux (sur ce que) permet de comparer « subjectivement » ces lieux et de préciser leur adéquation ou leur inadéquation à tel ou tel type de message sonore.

A titre d'exemple dans une salle très "sèche" le temps de montée sera relativement bref, la trainée très courte et l'intelligibilité bonne, mais la musique manquera d'ampleur.

Le niveau sonore est mesuré soit en valeur globale, soit par bande d'octave et comparé au spectre de la source ; les différences entre les deux spectres donne la distorsion spectrale de la salle c'est à dire sa propension à déformer le timbre des sources. La comparaison des spectres relevés en différents points d'écoute donne l'isotropie de la salle et l'émergence du signal au-dessus du bruit de fond le confort d'écoute.

La superposition des différents diagrammes permet une comparaison rapide de divers lieux d'écoute et leur classement en fonction de la pertinence de leur utilisation pour tel ou tel type de manifestation (concert, théâtres, conférences, musique enregistrée,...)

## II-2-2- Critères subjectifs

Comme précédemment ces critères peuvent être mis en correspondance avec les critères subjectifs utilisés par les musiciens :

- "l'écho" terme se rapportant la réverbération de l'acousticien à ne pas confondre avec le phénomène physique qui désigne un son réfléchi distinct à l'oreille du son direct
- la vivance de la salle (réverbération importante pour les fréquences hautes)
- la chaleur de la salle (réverbération importante pour les fréquences basses)
- la définition du son (quand on distingue un son du suivant ce qui n'est pas le cas pour une forte réverbération)
- la coloration qui est liée au timbre et à sa déformation

CRITERES OBJECTIFS	CRITERES SUBJECTIFS
<u>Plan dynamique</u>	
Niveau sonore global et par octave	force du son - confort d'écoute
Trainage	résonance - halos sonores
Isotropie - Spatialité	qualité des places - nuages acoustiques
Bruit de fond	présence de bruits gênants
<u>Plan harmonique</u>	
Distorsion spectrale	coloration - balance sonore - fusion - fidélité - sons moelleux / aigres sons brillants / ternes
<u>Plan mélodique</u>	
Pouvoir séparateur - Intelligibilité	clareté - définition - salle sèche - bourdonnante - grommellante
Inertie d'une salle - Constante de temps Transitoire	mollesse - vivacité - netteté des attaques

Dans certaines salles, il faudra parler lentement pour se faire comprendre, sinon les syllabes se chevauchent à l'écoute ou on ne perçoit qu'une masse confuse de notes pour une pièce de virtuosité. Si l'inertie d'une salle est trop grande les coups d'archet rapides n'ont pas le temps d'être transmis.

### III - DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE DES CRITERES DE QUALITE ACOUSTIQUE DES LIEUX D'ECOUTE

#### III-1- Les acquis

Le décès brutal en janvier 1986 d'E.LEIPP, directeur de recherche au CNRS UA868, a interrompu les recherches qu'il avait engagées. Il laisse malgré tout à l'équipe qui a repris son travail (Philippe JOUENNE, UA868 et Catherine SEMIDOR-SIGNORET, Ecole d'Architecture de Bordeaux encadrés pour leur thèses par le Professeur J. SAPALY, Université de Paris VI) un nombre important de salles testées (voir liste jointe en annexe) par la méthode qu'il a mise au point.

Cette équipe grâce à la collaboration de l'Orchestre National de Bordeaux Aquitaine a pu enrichir corpus de salles allemandes et autrichiennes et procéder à des mesures de directivité d'instruments (une cinquantaine) en chambre sourde (IUT "A" Département Mesures Physiques - Université de Bordeaux I) avec les musiciens de l'orchestre.

L'expérimentation se décompose comme suit :

- enregistrement en chambre anéchoïque des instruments par 16 micros disposés sur une demi-sphère autour des musiciens selon un protocole préconisé par l'INRS, sur un magnétohone multi-pistes.
- restitution devant des auditeurs de différents mixages de ces pistes jusqu'à ce qu'ils reconnaissent l'instrument, tel qu'il serait perçu si le musicien était sur scène.

La deuxième partie de cette manipulation se fera dans une salle de spectacle pouvant contenir une centaine d'auditeurs couplée avec un studio d'enregistrement équipée de matériel professionnel (console de mixage 16 voies, magnétophone 16 pistes,...) mise à notre disposition par le Centre d'Informatique Appliquée à la Musique et à l'Image dépendant du Ministère de la Culture.

Cette étude, en vue d'appréhender les coefficients de directivité ainsi que l'appréciation subjective lors de l'écoute, fournira :

- une meilleure connaissance des instruments pour les prises de son
- une meilleure connaissance des critères objectifs que doit présenter une bonne salle pour l'écoute satisfaisante de chaque instrument.
- la possibilité d'améliorer les logiciels de simulation

Les subventions obtenus pour l'année 1988 tant par l'UA CNRS 868 que par l'Ecole d'Architecture de Bordeaux, ont permis grâce à l'achat de matériel informatique d'automatiser le dépouillement des bandes magnétiques enregistrées sur les lieux de mesure. Le programme d'acquisition est à présent opérationnel et nous amène à planifier une sortie des données accumulées, très prochainement.

De même l'acquisition d'un magnétophone numérique stéréophonique (PCM Sony) et de deux microphones de studio autorise la prise de données en écoute binaurale qui ne pouvait être faite avec le matériel (mini-nagra) dont nous disposions jusqu'à présent.

Les subventions accordées à l'Ecole d'Architecture de Bordeaux tant par la Région Aquitaine et la Mission Bruit du Ministère de l'Environnement que par la D.A.U. nous a permis d'acheter d'une chaîne d'acquisition et de dépouillement de données photogrammétriques par le système Rolleimétrie MR2.

### **III -2 - Choix du matériel de photogrammétrie**

Le système photogrammétrique Rollei nous a séduit car il comporte :

- une chambre de relevé acceptant des pellicules standard donc qui donne une facilité de développement, au prix de revient du cliché normal : Rolleiflex 3003 métrique (35 mm) boîtier avec grille réseau 820001 - magasin 36/72 vues.

- un objectif permettant des photographies à l'intérieur sans déformation, avec une précision bien supérieure à nos besoins : Distagon 3.5/18 mm métrique - résolution minimum 25 paires de lignes sur l'ensemble de l'image à pleine ouverture, déviation du centre image inférieure à 50 um - calibration avec courbes de distorsion.

Cet ensemble de faible encombrement et de poids raisonnable permet d'envisager des déplacements sans problèmes, en particulier dans le cas de tournée à l'étranger comme nous l'avons fait avec l'ONBA en 1986.

Une fois la prise de données effectuées, l'analyse en est faite par le système de restitution MR2 (cf annexe 3).

Ce système comprend :

- une table à digitaliser GRT format A2 avec curseur loupe 5 touches.
- un logiciel permettant les opérations suivantes :
  - \* détermination des coordonnées objet
  - \* calibration simultanée de la chambre
  - \* ajustement des faisceaux perspectifs
  - \* sortie des résultats sur imprimante en traceur

L'Ecole de Bordeaux équipée par la Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme du logiciel IKO Light de synthèse d'image, se donne donc les moyens de relever des bâtiments intérieurs et extérieurs de rentrer les données sur ordinateur pour pouvoir les traiter (métrage, représentation sous des angles différents de la prise de vue,...) et par inter-façage avec des logiciels de type Autocad et IKO Light d'en modifier l'apparence architecturale et de le sortir sous forme d'image de synthèse (vidéo).

### **III-3 - Perspectives pour l'architecte**

Nous disposerons donc bientôt de tout le matériel permettant d'acquérir et de traiter les données tant acoustiques que visuelles relevées dans les lieux d'écoute, ceci grâce à une méthode de tests reflétant de façon satisfaisante les jugements subjectifs sur un panel important en nombre et en genre de salles.

Il s'agit à présent d'établir un fichier de caractéristiques architecturales (géométrie - nature des matériaux mis en oeuvre,...) et de le relier aux fichiers des critères acoustiques pour faire émerger les facteurs communs à toutes les salles convenant à un type d'utilisation donné.

On pourra de plus introduire dans un logiciel de simulation de salles ces mêmes caractéristiques architecturales et vérifier que l'on retrouve les paramètres objectifs mesurés lors des tests acoustiques.

Il sera également envisageable de comparer les résultats obtenus avec une étude statistique des avis subjectifs des auditeurs et des exécutants se produisant dans une salle.

On offre ainsi aux concepteurs un modèle prévisionnel simple d'approche, un outil facilement consultable qui leur indiquera les effets possibles d'une forme,... sur le confort d'écoute et pourra leur éviter des choix préjudiciables à la qualité acoustique d'un lieu.

En conclusion, on peut prévoir pour les prochaines étapes, la recherche d'un logiciel prévisionnel. Les premiers contacts pris avec le laboratoire d'informatique de l'Ecole Normale Supérieure laissent espérer des perspectives fructueuses. Ce sera là, l'objet de la suite de notre projet de recherche commun avec l'Unité de Recherche associée au CNRS 868.

# ANNEXE 1

∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞

LISTE DES SALLES ACTUELLEMENT TESTÉES

## SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGIS- TREMENT	Salle de pa- role	Salle ensei- gnement musi- cal	Salle de mu- sique classi- que	Eglise à con- certs	Salles poly- valen- tes
Salle polyvalente de LAVAL	6/2/79					X
Salle DUBAN, Beaux-Arts	23/3/79	X				
Chapelle de la SORBONNE	23/3/79				X	
Abbaye de FONTEVRAUD Abbatiale Grand réfectoire Chapelle St Lazare Cloître St Benoit Cuisine Romane Chevet Abbatiale	3/6/79	X			X	
Salon d'appartement (L)	16/6/79	X				
Abbaye de NOIRLAC Abbatiale Dortoir des moines Réfectoire	21/10/79				X	
Salle polyvalente de REDON	2/9/79					X
Salle de l'ancien conservatoire	24/11/79			X		
Eglise AMERICAINE. Quai d'Orsay	8/12/79				X	
Salle du GAM (Université Paris VI)	14/12/79	X				
Eglise St-SEVERAIN	16/12/79				X	
Amphi de physique, rue Cuvier	11/1/80	X				
CNSM Salle FAURE	1/2/80		X			
Salle BERLIOZ	1/2/80		X			
Musée instrumental	1/2/80		X			
Eglise Orthodoxe St IRENEE	8/2/80				X	
CNSM Salle d'ORGUE Gymnase	9/2/80 9/2/80		X			
Eglise Orthodoxe St IRENEE (repeinte)	13/5/80				X	
Salle OCKEGHEM (Tours)	18/8/80			X		
NOTRE DAME de Paris (Chant Grégorien)	6/11/80				X	
Eglise BON SECOURS	6/12/80				X	



## SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGISTREMENT	Salle de parole	Salle enseignement musical	Salle de musique classique	Eglise à concerts	Salles polyvalentes
Eglise BON SECOURS	24/1/81				X	
Salle WAGRAM	26/1/81					X
Amphi 65 (Université Paris VI)	7/3/81	X				
OPERA DE PARIS	26/2/81			X		
Amphi MUSEUM	23/3/81	X				
GRANGE DE MESLAY (scène latérale)	3/4/81			X		
GRANGE DE MESLAY (scène au fond)	6/5/81			X		
Salle d'écoute PHONOTHEQUE (BN)	1/6/81		X			
NOTRE DAME de Paris (Orgue)	3/6/81				X	
Théâtre des Champs Elysées	30/6/81			X		
Eglise REDEMPTION	7/7/81				X	
CNSM Salle Sarah BERHNART	30/9/81		X			
Salle MOUNET-SULLY	30/9/81		X			
Salle RAVEL	30/9/81		X			
Salle SAINT-SAENS	30/9/81		X			
Salle CHERUBINI	30/9/81		X			
"Grenier" avant rénovation	30/9/81		X			
Salle hexagonale ORLEANS	30/10/81	X				
CNSM Salle César FRANCK	5/11/81		X			
Salle BIZET	5/11/81		X			
Salle WIDOR	5/11/81		X			
Salle RAMEAU	5/11/81		X			
Salle DEBUSSY	5/11/81		X			
Salle PIERNE	5/11/81		X			
Salle PUGNO	5/11/81		X			
Salle MARSICK	5/11/81		X			
Salle FRANCHOMME	5/11/81		X			
Salle COUPERIN	5/11/81		X			
Salle n° 7 (rue d'Edimbourg)	5/11/81		X			
Salle n° 8 (rue d'Edimbourg)	5/11/81		X			
Salle E (rue d'Edimbourg)	5/11/81		X			
Salle F (rue d'Edimbourg)	5/11/81		X			
Eglise des BILLETTES	18/12/81				X	
Salle du conseil MECANIQUE (Paris VI)	15/1/82				X	

## SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGIS- TREMENT	Salle de pa- role	Salle ensei- gnemen musi- cal	Salle de mu- sique classi- que	Eglise à con- certs	Salles poly- valen- tes
Cathédrale AMERICAINE (av. Georges V)	5/2/82				X	
"OEUF" du CNAM	19/2/82	X				
Salle polyvalente ANCENIS	26/2/82					X
Théâtre en rond	8/3/82	X				
Salle MELPOMENE (Beaux Arts)	30/4/82	X				
Théâtre HEBERTOT	20/5/82	X				
Salle PLEYEL (disposition orchestre)	1/7/82			X		
Thermes de CLUNY	22/10/82					X
LA ROUXIERE	28/10/82					X
Espace de projection IRCAM	30/10/82					X
Pièce de travail (labo L)	8/11/82	X				
Salle CORTOT (Ecole Normale Musique)	8/12/82			X		
Eglise Saint-Louis en l'Isle	13/12/82				X	
Salle PLEYEL (disposition théâtre)	18/12/82	X				
Salle CHOPIN (PLEYEL)	18/12/82			X		
Salle PLEYEL (disposition piano)	18/1/83			X		
CNSM - salle du TRAC (résonateurs à fente)	20/1/83		X			
ORANGERIE de MEUDON	28/1/83					X
CNSM - salle du TRAC (sans résonateurs)	16/2/83		X			
Eglise St PIERRE LA VILLETTE	18/2/83				X	
Gare AUSTERLITZ (test intelligibilité de la parole)		X				
1ère série de tests	12/82					
2ème série de tests	2/83					
3ème série de tests	3/83					
ENSET (Cachan) - amphi 12	14/3/83	X				
Salle 136	14/3/83	X				

## SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGIS- TREMENT	Salle de pa- role	Salle ensei- gnemen musi- cal	Salle de mu- sique classi- que	Eglise à con- certs	Salles poly- valen- tes
Gare de REIMS - 1ère série de tests	15/4/83	X				
2ème série de tests	29/4/83	X				
Petite salle du Conservatoire Boulogne Billancourt	22/4/83		X			
Eglise de SOUVIGNY	23/4/83				X	
Théâtre municipal ORLEANS	26/4/83	X				
CNSM "GRENIER" après rénovation	23/5/83		X			
CNSM Salle du TRAC (nouveaux résonat.)	24/5/83		X			
Salle d'écoute CAMURAT (lutherie)	10/11/83		X			
Salle polyvalente de REUILLY (Indre)	14/11/83					X
Eglise de Saint-ROCH	20/1/83				X	
COMEDIE FRANCAISE	1/2/84	X				
OPERA COMIQUE	2/3/84			X		
Théâtre romain ORANGE	30/3/84	X				
Théâtre romain VAISON LA ROMAINE sans scène ni mur du fond	30/3/84	X				
avec scène et mur du fond	27/7/84	X				
Salle du Musée GREVIN (théâtre à l'italienne)	27/6/84			X		
Cathédrale de STRASBOURG	10/10/84				X	
Gymnase de RIS ORANGIS	16/11/84					X
Eglise de MITRY-MORY	2/12/84				X	
Musée de l'Homme (salle instruments de musique indonésiens)	4/12/84		X			
Carrières de MEUDON	13/12/84					X
Eglise St GERMAIN l'AUXERROIS Fontenay sous Bois	15/12/84				X	
Crypte rue des Saints Pères	15/2/85	X				

## SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGISTREMENT	Salle de parole	Salle enseignement musical	Salle de musique classique	Eglise à concerts	Salles polyvalentes
Eglise de COLMAR (enregistrement orgue)	22/2/86				X	
Chapelle expiatoire Louis XVI (Paris)	14/4/86	X				
Stadthalle INGOLSTATD (RFA)	8/4/86			X		
Brucknerhaus LINZ (AUT)	9/4/86			X		
Grooses Festspielhaus SALZBURG (AUT)	10/4/86			X		
Gasteig MUNICH (RFA)	13/4/86			X		
Schwabenlandhalle STUTTGART (RFA)	15/4/86			X		
Rhein-Mosel-Halle KOBLENZ (RFA)	26/4/86			X		
Eurogress AACHEN (RFA)	27/4/86			X		
Stadthalle an Johannisberg WUPPERTAL	28/4/86			X		
Forum LEVERKUSEN (RFA)	29/4/86			X		
La Halle aux Grains TOULOUSE	29/1/87			X		
Salle de cours- lycée St Lambert Paris	6/2/87	X				
Salle cours - collège Joliot Curie Fontenay sous Bois	19/3/87	X				
Salle de cours - collège Emerainville	19/3/87	X				
"Pyramide" de l'école d'architecture de Bordeaux	22/4/87	X				
Palais des sports de Bordeaux - configuration orchestre	23/4/87			X		X
Salle audiovisuelle de l'université Paris VI	7/5/87	X				
Eglise de BARSAC (33)	9/5/87				X	
Philharmonie BERLIN (RFA)	4/10/87			X		
Salle polyvalente de Pompignac (33)						X
- nue	Jan-88					
- avec habillage fibreux	Avr-88					
- complète (sans siège)	Jui-88					
- vide (avec siège)	Avr-89					
- pleine	Avr-89					

SALLES TESTEES

DESIGNATION	DATE ENREGIS- TREMENT	Salle de pa- role	Salle ensei- gnemen musi- cal	Salle de mu- sique classi- que	Eglise à con- certs	Salles poly- valen- tes
Salle du "Pin Galant" Mérignac (33) - nue - stade intermédiaire - vide (avec siège)	Jui-88 Oct-88 Déc-88 Fév-89			X		X

**ANNEXE 2**

∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞

**BIBLIOGRAPHIE**



## Acoustique architecturale

- AUGOYARD, JF. *La production de l'environnement sonore*. Cresson, 1985.
- BARRON, M. *Listener survey of U.K. auditoria*. Proceedings of the Institute of Acoustics, 1985.
- BARRON, M. *Objective survey of U.K. concert halls*. Proceedings of the Institute of Acoustics, 1982.
- BAXA, DE. - SEIREG, A.  
*The use of quantitative criterias for the optimum design of concert halls*. JASA, Vol 67 n°6 p 2045-2054. 1980.
- BERANEK, L. *Music acoustics and architecture*. John Wiley and son's New York, 1962.
- CANAC, F. *L'acoustique des théâtres antiques - Ses enseignements*. CNRS, 1967.
- DALLEAS, A. *Conception et réalisation de la chambre anéchoïque de l'Iniversité de Bordeaux I*. Thèse, université de Bordeaux, 1975.
- FORSYTH, M. *Architecture et musique*. Ed P. Mardaga 1987.  
*Buildings for music*. MIT Press and Cambidge university press, 1985.
- HAMAYON, L. *Influences réciproques des contraintes acoustiques et de la conception architecturale*. Plan construction, Paris, 1974.  
*L'acoustique bâtiment. Nuisances et solutions*. Placoplâtre, Nathan, Paris, 1986.
- HAMAYON, L. & MICHEL, C.  
*Guide d'acoustique pour la conception des bâtiments d'habitation*. Editions du Moniteur, Paris, 1974.
- IZENOUR, JC. *Theater design*. Mac Graw Hill. New-York, 1977.
- JORDAN, V.L. *Acoustical designe of concert halls and theaters*. Applied Science Publishers 1980.
- JOSSE, R. *L'isolation acoustique des logements*. Eyrolles, Paris, 1963
- JOSSE, R. *Notions d'acoustique à l'usage des architectes, ingénieurs et urbanistes*. Eyrolles, Paris, 1977.
- KNUDSEN & HARRIS  
*Acoustical designing in architecture*. John Wiley and son's New-York, 1950.



- KUTTRUFF, H. *Room acoustics*. Applied Science Publishers, 1950.
- LAMORAL, R. *Acoustique et architecture*. Masson, 1975.
- Problèmes d'acoustique des salles et des studios*. Collection technique et scientifique du CNET. Chiron, 1967.
- LAMORAL, R. - CREMER, L. - FUTTERER, T.  
*L'acoustique du palais Acropolis à Nice*. Acustica Vol. 62, p 75-83, 1986.
- LIENARD, P. - FRANCOIS, P.  
*Acoustique industrielle et environnement*. Eyrolles 1983.
- MACKENZIE, R. *Auditorium acoustics*. Applied Science Publishers, 1975.
- MALCURT, Ch. *Simulation informatique pour prédire les critères de qualification acoustique des salles. Comparaison des valeurs mesurées et calculées dans une salle à acoustique variable*. Thèse, université de Toulouse, 1986.
- MATRAS, JJ. *Acoustique et électroacoustique*. Eyrolles
- MEISSER, M. *La pratique de l'isolation acoustique dans le bâtiment*. Eyrolles, 1978.
- L'acoustique du bâtiment par l'exemple*. Editions du Moniteur, Paris, 1983.
- L'isolation acoustique des façades. Choix de différents éléments constitutifs*. CATED, Paris, 1983.
- La correction acoustique des locaux*. CATED, Paris, 1983.
- PUJOLLE, J. *Lexique-guide d'acoustique architecturale*. Eyrolles, Paris, 1971.
- La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments*. Editions du Moniteur, 1978.
- Du bruit chez vous, que faire ?* Editions du Moniteur, Paris, 1980.
- RAES, AC. *Isolation sonore et acoustique architecturale*. Chiron, Paris, 1965.
- REICHARDT, W. *Die akustische Projectierung der SEMPER-Oper in Dresden*. Acustica, Vol. 58, p 253-267, 1985.
- SIEBEIN, G.W. *Project design phase analyses technics for predicting the acoustical qualities of buildings*. College of architecture University of Florida, 1986.
- STEPHENSON, U. *Eine Schallteilchen-Computersimulation zur Berechnung der für die Hörsamkeit in Konzertsälen maßgebenden Parameter*. Acustica, Vol. 59, n°1, p 1-20, 1985.

- STROM, S. *Concert hall acoustics. Room acoustical parameters with high correlation to subjective preference.* Laboratory of acoustics/ ELAB university of Trondheim. Norway 1982.
- VORLANDER, M. - KUTTRUFF, H.  
*Die Abhängigkeit des Seitenschallgrades von der Form und der Flächengestaltung eines Raumes.* Acustica Vol. 58, p 118-129, 1985.
- COLLECTIF D'AUTEURS.  
*Colloque - Qualité acoustique des lieux d'écoute.* CNRS-ERA 537, Paris VI IMTA 1981.  
*1er salon acoustique.* Placoplâtre, 1987.
- COLLOQUE  
*11ème International congress of acoustic (ICA).* Paris, 1983  
*12ème International congress of acoustic (ICA).* Toronto, 1986.
- SYMPOSIUM  
*Acoustics and Theatre Planning for the Performing Arts.* Vancouver, 1986.
- ACTES  
*1er salon du confort acoustique de Montpellier,* 1985.  
*Acoustique des lieux clos.* Ecole d'architecture de Paris la Défense, nov. 1986.  
*Musique - Architecture.* Colloque, Abbaye de Sylvanès C.A.U.E Aveyron, nov. 1986.  
*Isolation thermique et acoustique.* Rencontres. CSTB - CFI. Paris déc, 1984.  
*Acoustique des salles.* Rencontres GALF-CSTB, Paris, avril 1985.  
*Vibration dans le bâtiment.* Rencontres GALF - CSTB. Paris, avril 1986.  
*Journée :Ambiances dans l'architecture.* D.A.U. Paris, novembre 1988.  
*Journée : Bruit au travail.* GSO-SFA/EAB Bordeaux, mars 1989.  
*Les logiciels d'acoustique en bâtiment.* CSTB, Paris, janvier 1989.  
*Colloque : Acoustique de l'habitat.* E.A.P.S-CHR, mai 1989.  
*Colloque : L'oreille dans son environnement.* Bordeaux, janvier 1989.

**ANNEXE 3**

∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞ ∞

**APPAREILLAGE ROLLEIMETRIC**

## DE LA PHOTO AU DESSIN A L'ECHELLE.

LE ROLLEIMETRIC UN SYSTEME PHOTOGRAMMETRIQUE DEVELOPPE  
PAR ROLLEI POUR DES RELEVES DIMENTIONELS DE TOUTES SORTES

Rollei Phototechnic - L'innovation au service de la science et de la technique

Depuis 1928, le nom de Rollei est synonyme d'initiatives novatrices dans le domaine des techniques photographiques.

A maintes reprises, les développements issus de Rollei ont élargi de façon décisive les possibilités de la photographie

A maintes reprises, les développements issus de Rollei trouvent leur utilisation non seulement dans la photographie créative professionnelle, mais également partout dans les domaines scientifiques et techniques, où des systèmes optoélectroniques intelligents permettent de résoudre des problèmes mieux que les méthodes traditionnelles. Les systèmes créés par Rollei se distinguent par leur caractéristiques techniques d'avant-garde et un

rapport prix-performances extraordinairement favorable; avantages résultant de méthodes de production modernes et de décennies d'expérience dans le domaine de l'optique, de l'électronique et de la mécanique de précision. La preuve en est que le nouveau système Rolleimetric est un système photogrammétrique complet, aux applications universelles.

### LE PRINCIPE

L'idée de base de la photogrammétrie est aussi simple que convaincante : au lieu de faire sur place le relevé de ponts, de façades, de monuments ou même d'accidents de la circulation, les cotes requises sont simplement fournies par une photo. Toutefois, jusqu'à présent, des relevés photogrammétriques nécessitaient des appareils compliqués et très coûteux ne pouvant être utilisés que par des spécialistes dans des champs d'application limités. Il est évident que ce procédé ne pouvait s'imposer pour des relevés courants

Le système ROLLEIMETRIC a modifié de fond en comble cette situation peu satisfaisante, puisqu'il offre

- . un champ d'applications fortement élargi,
  - . un emploi simple et rapide,
    - . des résultats de mesure hautement précis,
  - . un rapport prix-performance inégalable
  - . des résultats de mesure de grande précision
- Le principe.

### LES MOYENS

Les images faisant l'objet du relevé sont prises au moyen de caméras reflex électroniques de Rollei. Une plaque réticulée aux cotes ultra-précises, dont les repères sont reproduits lors de la prise de vue, est montée en parallèle devant le plan film. Ceci est la condition première permettant d'éliminer complètement, lors du traitement, les défauts dus à une déformation ou à une planéité insuffisante du film. Des agrandissements sur papier de ces relevés photographiques sont placés sur une table de

numérisation et explorés au moyen d'une loupe à digitaliser.

Les données ainsi obtenues permettent au PC ROLLEIMETRIC de reconstituer avec une haute précision et en trois dimensions l'objet photographié. Un traceur connecté à l'équipement fournit automatiquement les dessins en plan ou en coupe à échelle correcte.

### LES APPLICATIONS

Les possibilités d'utilisation du système ROLLEIMETRIC sont pratiquement illimitées, car tout ce qui peut être photographié peut également faire l'objet d'un relevé dimensionnel. Qu'il s'agisse de bâtiments, de chantiers, de véhicules, de situations d'accidents ou de fouilles archéologiques, tout peut être documenté par une photographie même les séquences des mouvements d'un robot industriel peuvent être enregistrées au moyen de méthodes photographiques appropriées, puis reconstituées au millimètre près

ARCHITECTURE

Relevés de batiments et de monuments lors de la restauration, de la reconstruction ou de la transformation.

ARCHEOLOGIE.

Arpentage et documentation de lieux et objets de fouilles.

GENIE CIVIL

Préparation du site, relevé et controle de la progression des travaux lors de la construction de ponts, chaussées et tunnels, ainsi que d'installations industrielles.

CONSTRUCTION AUTOMOBILE

Mesure de la déformation lors de tests de collision, ou essais sur modèles.

POLICE

Reconstitution à l'échelle de situations d'accidents, relevé et documentation des lieux en criminalistique.

MEDECINE

Relevé dimensionnel du corps humain pour l'orthopédie et la chirurgie.

AGRICULTURE ET SYLVICULTURE

Relevés quantitatifs, détermination des hauteurs d'arbres, controle de la croissance.

TOPOGRAPHIE ET MESURE INDUSTRIELLE

éométrie.

Mesure de la déformation de batiments et de machines, calcul des masses de terrain, interprétation de photos aériennes et satellites.

## PRECISION DU PROCEDE

Le système ROLLEIMETRIC fournit des résultats de mesure extrêmement précis. La précision obtenue par rapport à l'objet n'est surpassée par aucun autre système photogrammétrique. Elle est une composante de la précision image et de l'échelle de reproduction de l'objet mesuré. Selon l'agrandissement des copies sur papier, le ROLLEIMETRIC MR permet déjà d'obtenir des précisions de mesure de l'ordre de 5  $\mu$ m, ce qui correspond à une précision de mesure de 0,5 mm sur l'objet pour une échelle de reproduction de 1:100. Ainsi, un véhicule d'une longueur de 5 m, photographié avec le Rolleiflex 6006 metric, peut être mesuré à 0,5 mm près. Cette précision est amplement suffisante pour la plupart des applications. Le ROLLEIMETRIC RS permet d'augmenter la précision de mesure sur image de façon sensible. Ainsi, la même photo d'un véhicule de 5 m de long effectuée au ROLLEIMETRIC RS aboutit à une précision de mesure sur l'objet de 0,1 mm.

## L'ECONOMIE DU PROCEDE

Jusqu'à présent, les appareils de prise de vue et de reconstitution photogrammétriques n'étaient pas seulement d'une manipulation malaisée et compliquée, mais également extrêmement coûteux. Ces conditions ont toujours empêché les utilisateurs potentiels de la photogrammétrie de bénéficier de ces avantages. Ils devaient se résigner à avoir recours, comme par le passé, au théodolite, au baton d'arpenteur et autres moyens semblables. Le système ROLLEIMETRIC a complètement renversé la situation :

- le coût des systèmes de prise de vue et d'exploitation ne représente qu'une fraction du coût des équipements traditionnels
- il n'est plus nécessaire de disposer de collaborateurs spécialement formés, et l'exploitation peut se faire de façon autonome.
- le ROLLEIMETRIC permet de travailler plus rapidement et, par conséquent, de façon plus économique.

- la conception modulaire du système permet d'utiliser chaque élément de manière indépendante.

#### LA FLEXIBILITE

Un système de mesure n'est conforme à une utilisation pratique que lorsqu'il peut s'adapter aux différentes conditions d'utilisation. Dans le cas du système ROLLEIMETRIC, tous les éléments contribuent à cela.

Les appareils de mesure utilisent la base d'un système reflex à usage professionnel et bénéficient ainsi de toutes les possibilités qu'un tel système apporte sur le plan de la technique photographique

Le système d'interprétation ROLLEIMETRIC MR permet d'éliminer des relevés supplémentaires lors de la prise de vue si ce n'est que de relever une cote de distance.

Les prises de vues sont faites d'une position quelconque que le calcul détermine par lui même

ensuite au niveau de la restitution

Le ROLLEIMETRIC RS permet de traiter des prises de vue d'autres appareils, ceci jusqu'au format de photo aérienne de 23-23 cm. Et, bien entendu, les prises de vue faites avec les appareils photogrammétriques Rollei peuvent également être traitées par d'autres équipements analytiques.