



HAL
open science

Qualité acoustique des lieux

Catherine Sémidor

► **To cite this version:**

Catherine Sémidor. Qualité acoustique des lieux. [Rapport de recherche] 0935/96, Equipe interdisciplinaire sur l'acoustique et le confort en architecture et urbanisme (ERIAC); Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux; Bureau de la recherche architecturale (BRA). 1995, pp. 154. hal-03101609

HAL Id: hal-03101609

<https://hal.science/hal-03101609>

Submitted on 7 Jan 2021

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.

935

RAPPORT FINAL DU PROJET DE RECHERCHE

QUALITE ACOUSTIQUE DES LIEUX D'ECOUTE

ériac équipe interdisciplinaire sur l'acoustique et le confort en architecture et urbanisme

Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

responsable scientifique : C.SEMIDOR

DECEMBRE 1995

RAPPORT FINAL DU PROJET DE RECHERCHE

QUALITE ACOUSTIQUE DES LIEUX D'ECOUTE

ériac équipe interdisciplinaire sur l'acoustique et le confort en architecture et urbanisme

Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

responsable scientifique : C.SEMIDOR

DECEMBRE 1995

SOMMAIRE

Remerciements	
I Introduction	p 4
II Caractérisation des sources sonores	p 6
II-1 Méthodes classiques	
II-2 Protocole ériac	
III Mesures et relevés sur des salles de la CUB	p 43
III-1 Principes et méthodes	
III-2 Dépouillement et observations	
IV Modélisation par simulation informatique	p 98
IV-1 Entrée des données	
IV-2 Visualisation des résultats	
V Enquêtes auprès des auditeurs	p 121
V-1 Méthodologie	
V-2 Analyse statistique	
VI Perspectives	p 143
Bibliographie	p 144
Annexes	p 146

Remerciements

Nous tenons à remercier :

A l'Orchestre National de Bordeaux-Aquitaine:

- les musiciens pour leur patience et leur participation enthousiaste.
- G. SCHEMBRI, directeur du service promotion et communication de l'O.N.B.A., ses collaborateurs M.P. ESPUGNE-DARSE et C. PIRA pour leur gentillesse et les abonnés qui ont rempli nos questionnaires.
- D. LAURENT, directrice technique et son adjoint D.DHEUR.
- P. RENARD, directeur de scène et ses collaborateurs pour leur disponibilité.

Au service technique de la mairie de Bordeaux

M.BATAILLE pour avoir mis à notre disposition les documents architecturaux du Palais des Sports et du Grand Théâtre de Bordeaux

Au théâtre des Quatre Saisons :

M.M. DELPRAT, directrice pour son accueil ainsi que le personnel technique pour leur aide et leurs explications

A l'agence B. GONFREVILLE :

C. LAFOURCADE pour son amabilité

A l'I.U.T.A. :

Alain DALLEAS pour nous permettre d'avoir accès à la chambre anéchoïque du département "Mesures Physiques" chaque fois que nous en avons besoin.

A la société TEXAA :

M. BOSCH pour le prêt de la source B&K

A l'EAPBx :

les étudiants et le personnel qui ont participé de près ou de loin à nos travaux pour leur aide efficace.

A l'ENTPE :

J.BEAUMONT et S.AUZILLEAU pour leur précieuse collaboration et leur soutien scientifique sans faille.

Enfin les organismes qui nous ont subventionné et encouragé depuis le début de nos travaux à savoir:

- la Mission Bruit du ministère de l'Environnement (contrat n° 19/94-1994)
- le Conseil Régional d'Aquitaine (contrat n° 940204011-1994)
- le Bureau de la Recherche Architecturale (contrat n° 88724-1993)

l'ériac: A.BARLET, C.BONHOMME, L.COUTHON, P.JOANNE, P.JOENNE, C.LOUWERSE, C.SEMIDOR, C.THFOIN.

I Introduction

Comme l'indiquait le rapport intermédiaire de mai 1995, le délai supplémentaire que nous avons demandé afin de mener à bien notre projet de recherche, nous a permis de bénéficier de crédits accordés dans le courant de l'année 1994 par la Mission Bruit (en août) et par la Région Aquitaine (en novembre).

Pour des raisons de compléments budgétaires il nous était impossible d'utiliser la subvention du BRA tant que l'ensemble des financements n'était pas réuni. Ceci explique le retard que nous avons pris et justifie la prolongation qui nous a été octroyée.

Les travaux présentés portent sur un domaine plus large que celui prévu dans la demande initiale puisqu'il traduit les apports des différents membres de l'équipe de recherche reconnue en tant que telle par le conseil scientifique de l'école d'architecture et de paysage de Bordeaux.

On trouve dans ce compte-rendu l'analyse d'un certain nombre de résultats de diverses campagnes de mesures et d'enquêtes, concernant les multiples dimensions définissant la qualité acoustique d'un lieu d'écoute.

En effet on sait qu'elle est liée à la concordance de trois facteurs :

- un usage déterminé par un type de source (voix parlée, musique,...),
- un espace dont l'architecture correspond à l'usage,
- des usagers satisfaits de la façon dont ils perçoivent le message sonore.

Sur le premier facteur nous proposons quelques éléments d'une étude initiée en 1987 avec les musiciens de l'Orchestre National de Bordeaux-Aquitaine et développée par L. Couthon dans le cadre de son doctorat d'université.

Sur le deuxième nous donnons une partie des résultats d'une campagne de mesures faite sur des salles de la Communauté Urbaine de Bordeaux.

Enfin sur le troisième point nous indiquons des pistes à suivre, à partir d'observations tirées du dépouillement de questionnaires distribués aux abonnés du Grand Théâtre de Bordeaux, ainsi qu'à ceux de l'Opéra de Lyon.

Ces études ont été faites soit directement sous la responsabilité de C. Sémidor dans le cadre de stages [DelePui94],[Gay96], soit par des chercheurs de l'éricac L. Couthon [Cou96], A. Barlet [AuzBarl96] ou en collaboration avec nos partenaires scientifiques [Auz94].

Il ne s'agit pas de donner in extenso des résultats que l'on pourra trouver dans les mémoires de stages ou les thèses, mais plutôt de mettre en évidence les relations entre les différentes parties de ce projet de recherche et leur indispensable complémentarité.

A l'aide du traitement de quelques exemples nous voulons montrer la démarche de notre équipe et sa cohérence.

Le champ de recherche concerné va de l'aspect culturel au domaine technique avec comme idée directrice essentielle d'aboutir à la satisfaction des usagers, qui se présentent regroupés en deux familles aux besoins très différents:

- les auditeurs
- les exécutants

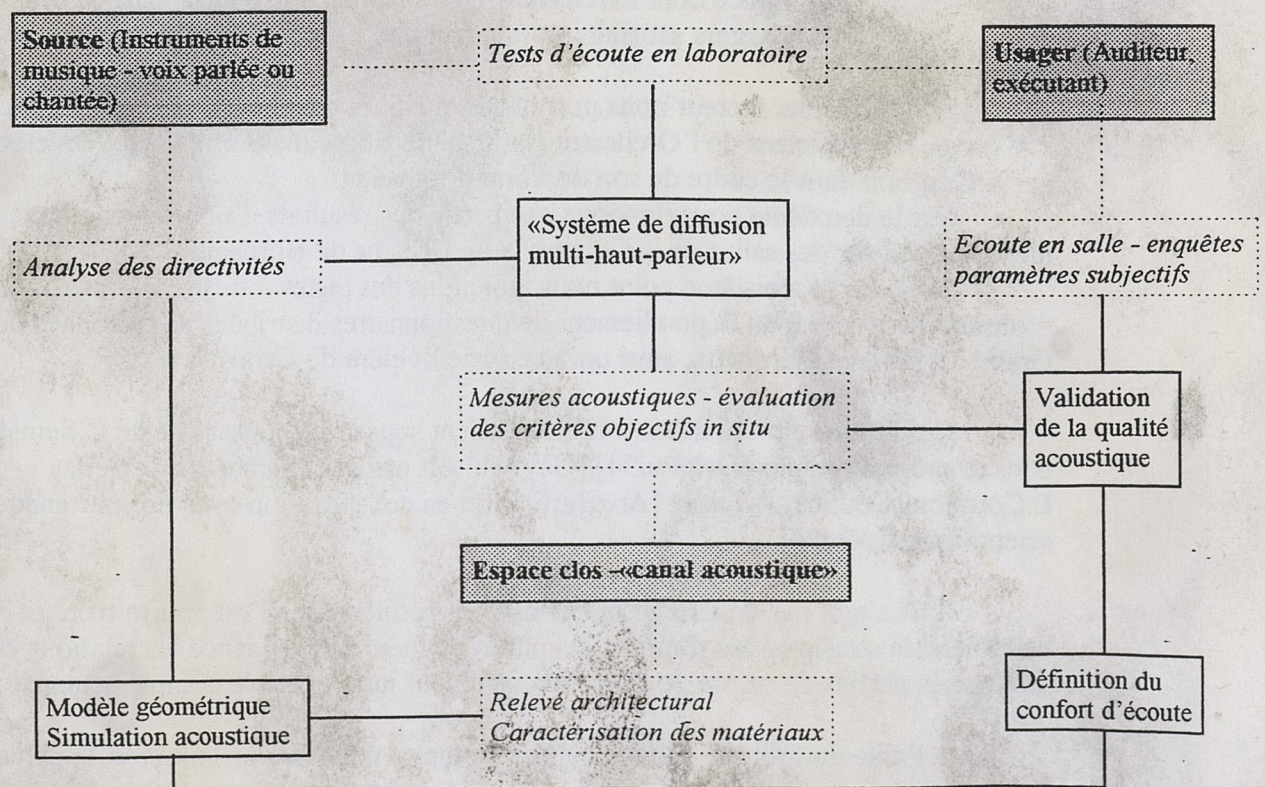
Il faut aborder la notion de confort, qui n'a de sens que par rapport à l'être humain, à la fois par la physique et par la psychosociologie.

La traduction spatiale de ces données se fait à travers le projet architectural.

La conception, la réalisation et la gestion de ces projets engagent des budgets importants et les retombées économiques ne sont pas négligeables.

Un rapport d'expertise de nos travaux fait à la demande du Conseil Régional d'Aquitaine souscrit à notre point de vue : "...il suffit de penser à ce que coûtent les erreurs commises en acoustique des lieux d'écoute, depuis la modeste salle de classe jusqu'à la salle de concert ou à l'opéra d'importance nationale en passant par les salles polyvalentes dont certaines ont été des opérations désastreuses".

Seule une approche globale peut permettre d'aborder la complexité du problème. On peut résumer l'ensemble du processus par l'organigramme suivant:



II Caractérisation des sources sonores

En acoustique des lieux d'écoute, il y a deux secteurs pour lesquels la connaissance des caractéristiques d'une source est primordiale :

- la mesure acoustique des critères objectifs.
- la simulation dans un modèle informatique.

Il est un fait avéré, corroboré par plusieurs études [Pel91], [Jou92] qu'il existe une sensibilité des critères objectifs à la source émettrice et au récepteur employés lors des mesures.

En effet certains critères tels que C80 (Clarity 80ms), ...changent dans des proportions non négligeables suivant les caractéristiques en directivité de la source employée pour générer le système excitateur permettant les mesures de réponse impulsionnelle à partir desquelles sont calculés les principaux critères objectifs.

II-1 Mesures classiques

Elles permettent d'accéder aux valeurs de directivité dans le plan vertical et horizontal.

Les données qui suivent sont tirées de mesures faites au département "Mesures Physiques" de l'Institut Universitaire Technologique de Bordeaux.

Les mesures ont été effectuées dans la chambre anéchoïque [Dal75] de ce département suivant le principe décrit dans les schémas qui suivent. Sur ces schémas les sources sont représentées dans leur position initiale.

La chaîne de mesure utilisée est composée de matériel Brüel & Kjaer: un générateur de bruit rose (lorsque le haut-parleur n'en intégrait pas), un microphone, un filtre par bandes d'octaves, un traceur pour imprimer en continu les courbes de directivité.

On appelle "source sonore" l'association du haut-parleur étudié avec un générateur de bruit. Nous avons testé trois sources, dont nous nous sommes servis dans des salles de classe de l'EAPBx pour comparer les valeurs des critères évoquée ci-dessus et évaluer leur degré de sensibilité à une partie de la chaîne de mesure.

Source Brüel & Kjaer n° 4224

Générateur de bruit rose intégré

Source Nagra DSM Monitor

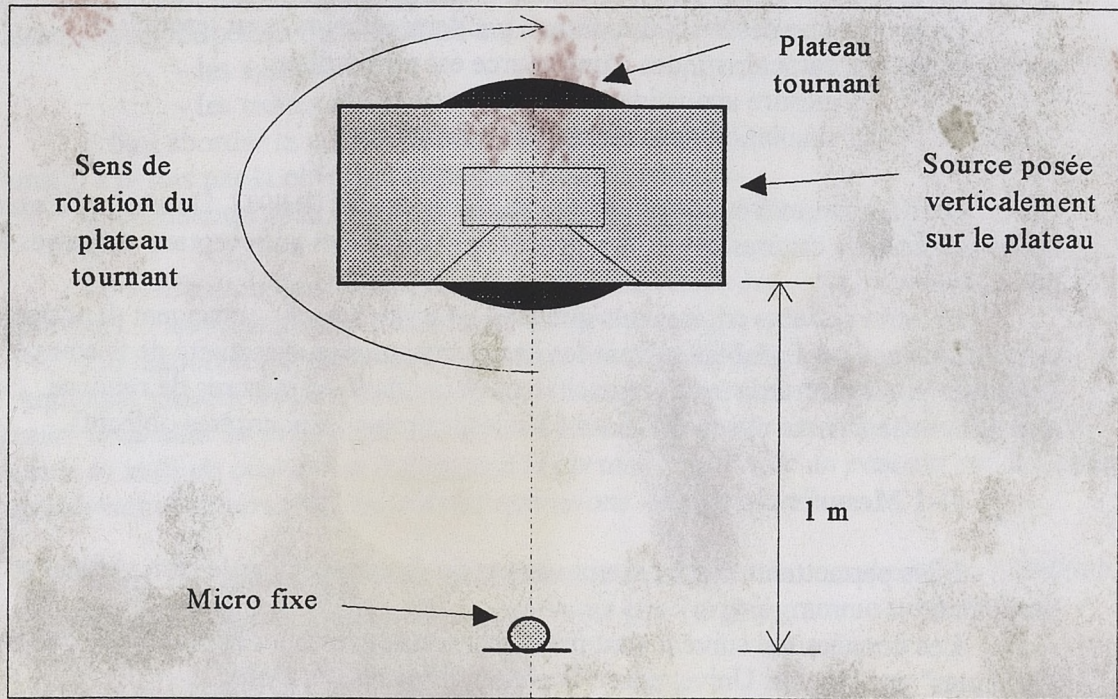
Générateur Brüel & Kjaer externe

Source Ditton Celestion

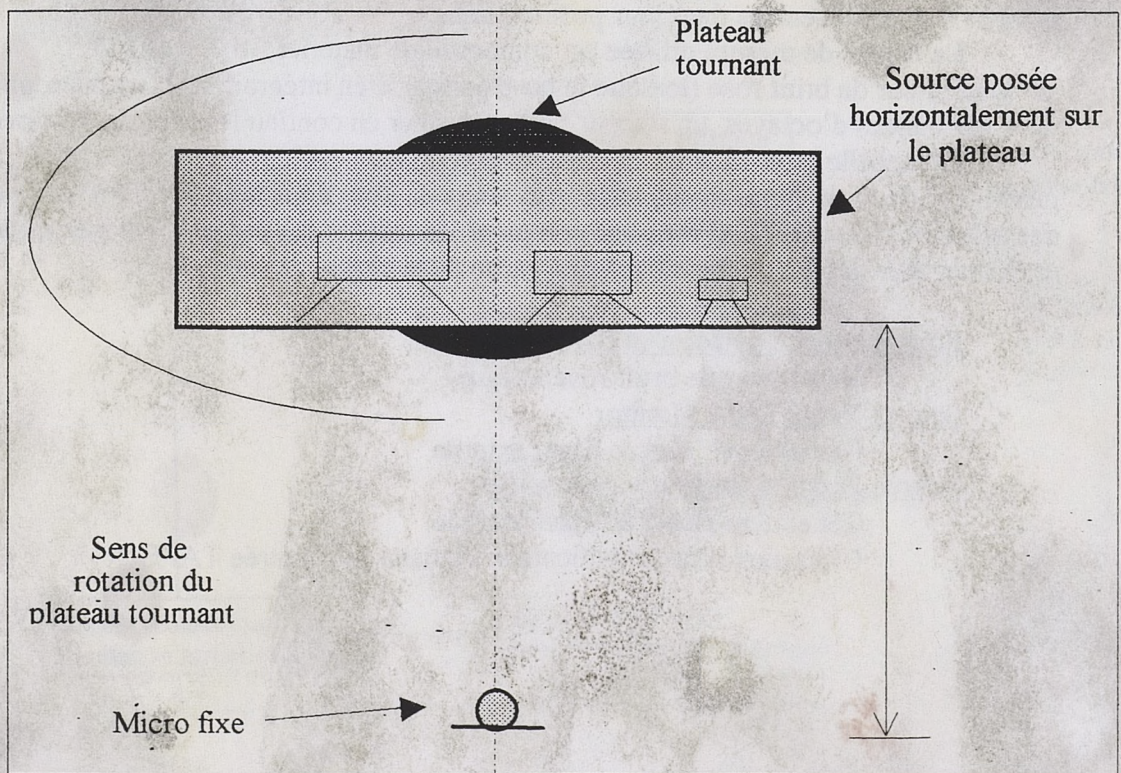
Générateur Brüel & Kjaer externe

Utilisation d'un amplificateur Yamaha sur l'entrée TAPE 2

Principe des mesures classiques de directivité en chambre anéchoïque



Directivité Horizontale



Directivité-Verticale

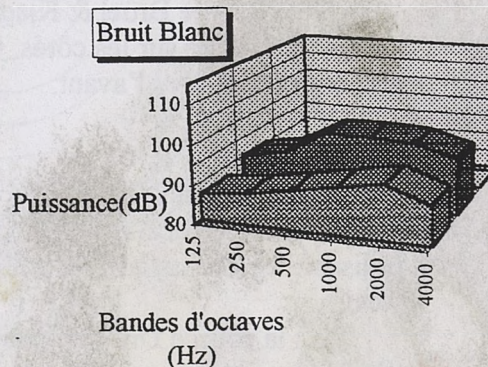
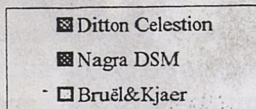
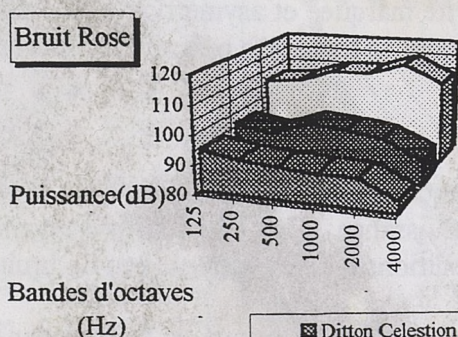
II-1-1 Résultats concernant les mesures de directivité

Ils sont présentés en deux parties :

- les puissances
- les courbes de directivité par bandes d'octaves.
- Puissances sonores des différentes sources

		F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Ditton Célestion	Bruit Rose		94	92	91	90	90	84
	Bruit Blanc		87	88	90	92	94	90
Nagra DSM	Bruit Rose		96	93,5	98	97	95	89
	Bruit Blanc		90	92	98	98	97,5	94,5
Brüel&Kjaer n°4224	Bruit Rose		106	107	111	111	115	109
	Bruit Blanc							

Les mesures de puissances sonores ont été effectuées en bruit rose et en bruit blanc excepté pour la source Brüel & Kjaer dont le générateur intégré n'émet que du bruit rose. Les résultats présentés sont en décibels, le microphone étant placé à un mètre de la source, sur la normale à la face avant.



La source Ditton Celestion, en dépit d'un niveau d'émission inférieur aux autres sources, bénéficie d'une réponse linéaire de 125 à 2000 hertz. Cette réponse chute légèrement à 4000 hertz.

La source Nagra bien que plus irrégulière, reste néanmoins tout à fait satisfaisante. Lors des essais on a pu constater un problème de saturation audible par

bande de fréquences en chambre anéchoïque. Ces perturbations apparaissent plus rapidement dans les graves que dans les aigus et d'autant plus vite que la batterie est déchargée (moins vite en position secteur). En fait la principale limite de cette source est qu'il est difficile de délivrer une puissance suffisante dans des salles de très grand volume ou dans celles dont le niveau de bruit de fond est important. Cette remarque est d'autant plus vraie dans le cas de mesures avec public.

La source Brüel & Kjaer a une vocation plus professionnelle et délivre (du moins en bruit rose) des niveaux élevés. Cette source à l'avantage de signaler sa saturation ce qui permet d'éviter des problèmes similaires à ceux de la source Nagra.

□ Courbes de directivité des sources

Les mesures de directivité ont été faites en bruit rose par bandes d'octaves. Un traceur enregistrerait, en continu, les puissances relatives en dB. Les résultats sont disposés en tableaux, le niveau maximum ramené à 50 dB. Deux types de représentations sont envisagés: un schéma global (où toutes les courbes sont superposées), un schéma éclaté (bande d'octave par bande d'octave). L'angle 0° correspond à la normale de la source.

On se reportera aux diagrammes de directivité donnés ci-après.

La directivité de la source Ditton Celestion passe progressivement d'une configuration omnidirectionnelle à 125 Hz à une configuration 'lobe frontal' à 4000 Hz. La directivité horizontale est parfaitement symétrique. La directivité verticale est asymétrique du fait de la présence de trois haut-parleurs.

La petite taille de la source Nagra lui permet d'obtenir de très bons résultats. Elle est pratiquement omnidirectionnelle horizontalement comme verticalement. L'excentrement du 'tweeter' déforme légèrement la courbe dans les aigus.

La source Brüel & Kjaer a une directivité marquée et asymétrique. Elle délivre peu de puissance sur les côtés. Ceci peut expliquer sa très forte puissance mesurée précédemment vers l'avant.

En conclusion :

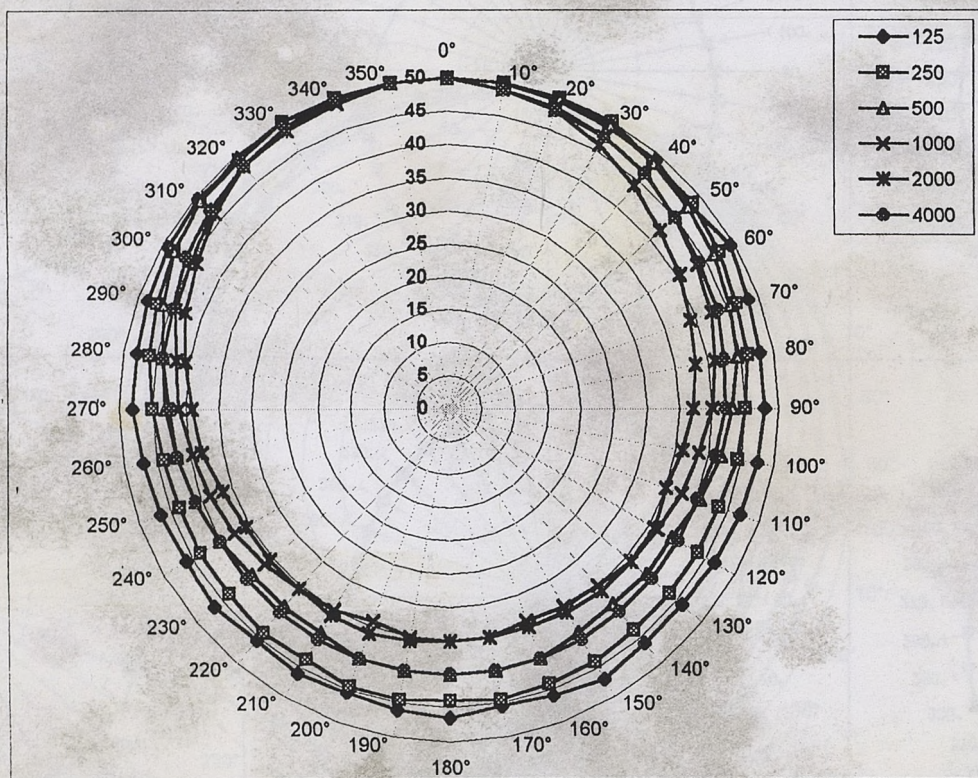
- la source Nagra DSM est légère, autonome, omnidirectionnelle dans le plan horizontal et vertical mais délivre trop peu de puissance. C'est une source polyvalente utilisable en acoustique des salles dans des conditions très favorables (peu de bruit de fond, ...).

- la source Ditton Celestion/Yamaha a une réponse quasiment linéaire par bandes d'octave, symétrique. Elle n'est pas assez puissante et non adaptée à des déplacements du fait de sa fragilité et de son poids. Il s'agit d'une bonne enceinte grand public.

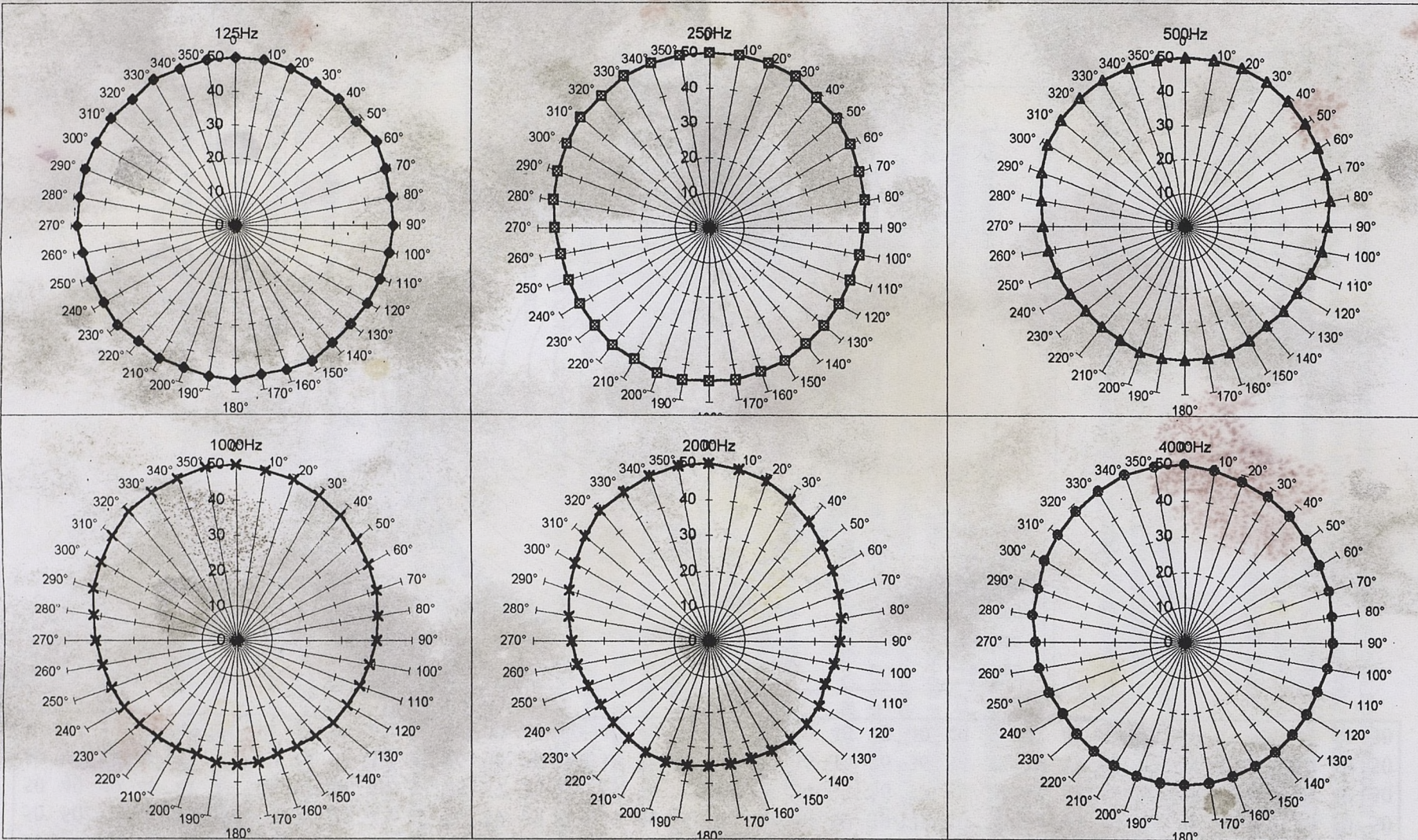
- la source Brüel & Kjaer est très puissante, elle possède un générateur de bruit rose intégré, elle est de plus autonome. Elle présente l'inconvénient d'être irrégulière en directivité comme en puissance, et d'être lourde à transporter. C'est une source adaptée aux mesures d'isolement.

Source Nagra D.S.M.
Directivité Horizontale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°		
125	50	50	50	49	49	48	50	49	48	48	48	47	47	46	46	47	46	46	47	46	46	46	46	47	46	47	47	48	48	49	49	50	49	50	50	50	50	50
250	50	50	50	50	49	49	48	47	46	45	45	44	44	44	44	44	44	45	44	45	45	45	44	44	44	44	44	45	46	47	48	49	49	50	50	50	50	50
500	50	50	50	50	49	48	47	46	45	43	42	41	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	39	39	39	40	41	42	43	44	46	48	49	50	50	50	50	
1000	50	49	49	48	47	45	44	43	41	40	39	38	37	36	35	35	34	35	35	35	34	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	47	48	49	49	50	50	
2000	50	49	48	46	44	42	41	39	38	37	36	35	36	36	36	36	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	37	38	39	41	43	44	46	48	49	50	50	
4000	50	49	48	48	47	45	44	44	43	42	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	50	



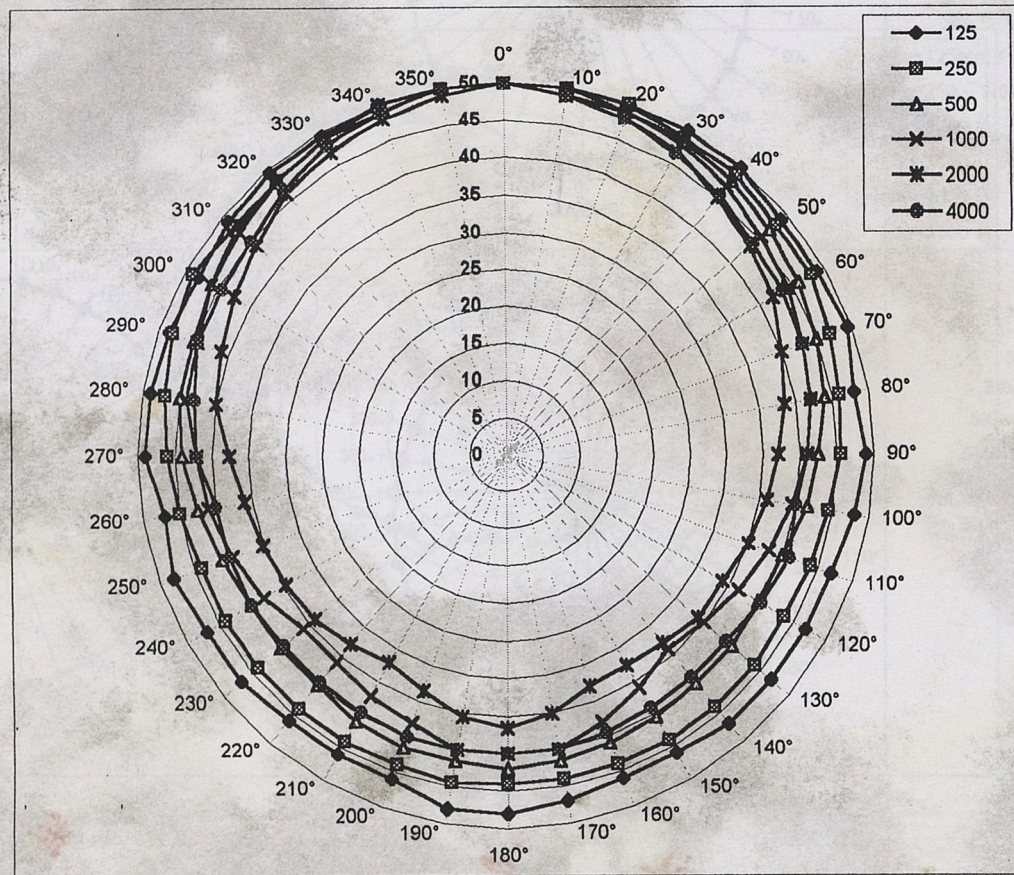
Source Nagra D.S.M.
Directivité Horizontale



Source Nagra D.S.M.

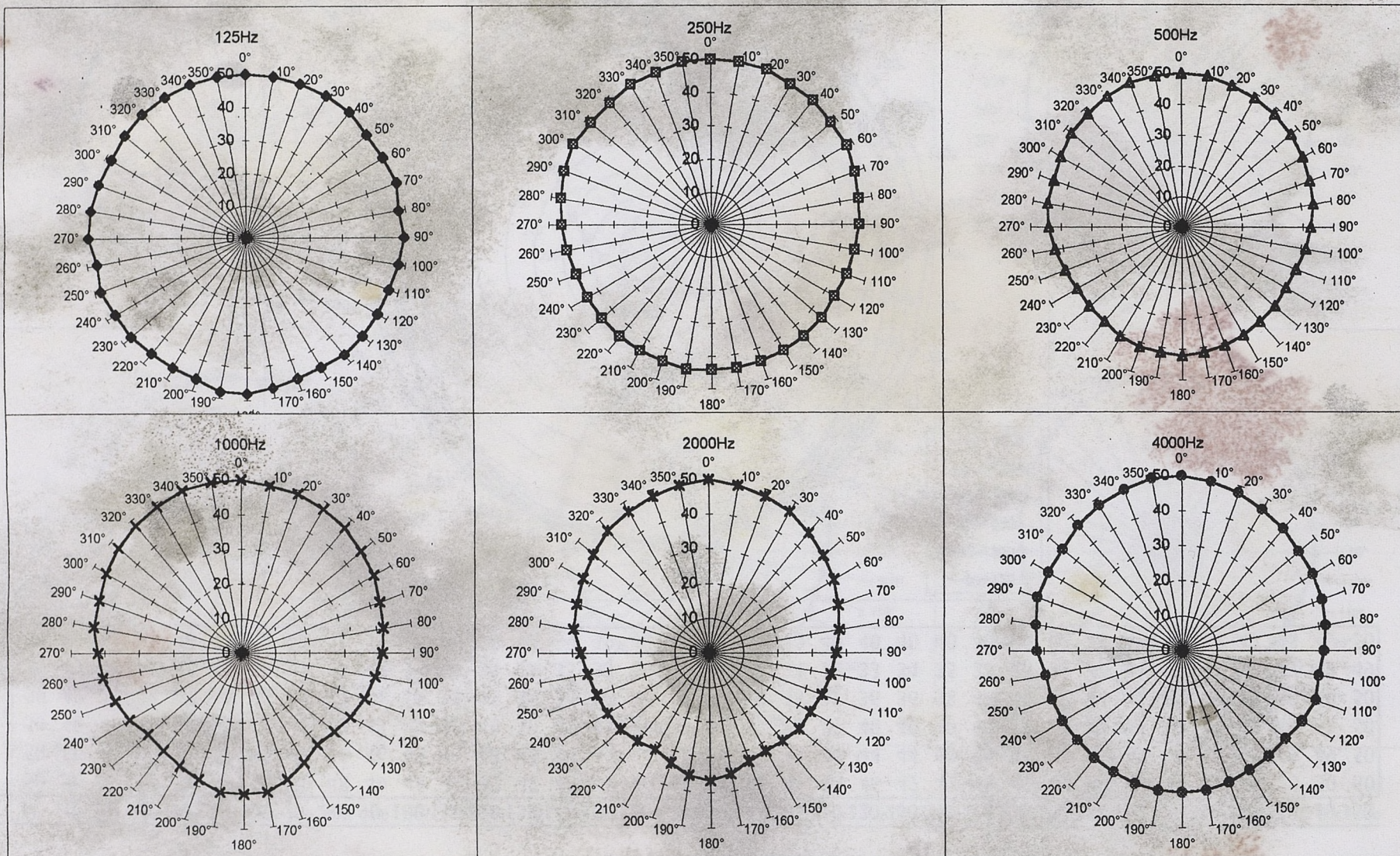
Directivité Verticale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°		
125	50	50	50	50	50	49	49	50	48	49	48	47	47	47	47	46	46	47	48	48	46	46	46	47	47	48	47	49	49	49	48	49	50	50	50	50	50	50
250	50	50	50	49	49	48	48	47	46	46	45	44	44	44	44	44	44	44	44	45	44	44	44	44	44	44	44	45	46	47	48	49	48	48	49	49	50	50
500	50	50	49	49	48	47	46	45	44	43	42	40	40	40	40	41	41	42	42	42	42	41	40	40	40	40	41	43	44	45	45	46	48	48	49	50	50	
1000	50	49	49	48	47	46	45	43	42	41	40	38	37	35	34	36	38	40	40	40	38	37	36	36	38	40	41	42	44	45	46	47	48	49	50	50		
2000	50	49	48	47	45	44	42	40	39	37	36	35	34	34	33	33	33	35	37	36	34	32	33	34	35	35	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49		
4000	50	49	48	47	46	44	44	43	42	41	40	41	40	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	42	43	45	45	45	47	48	49	50	



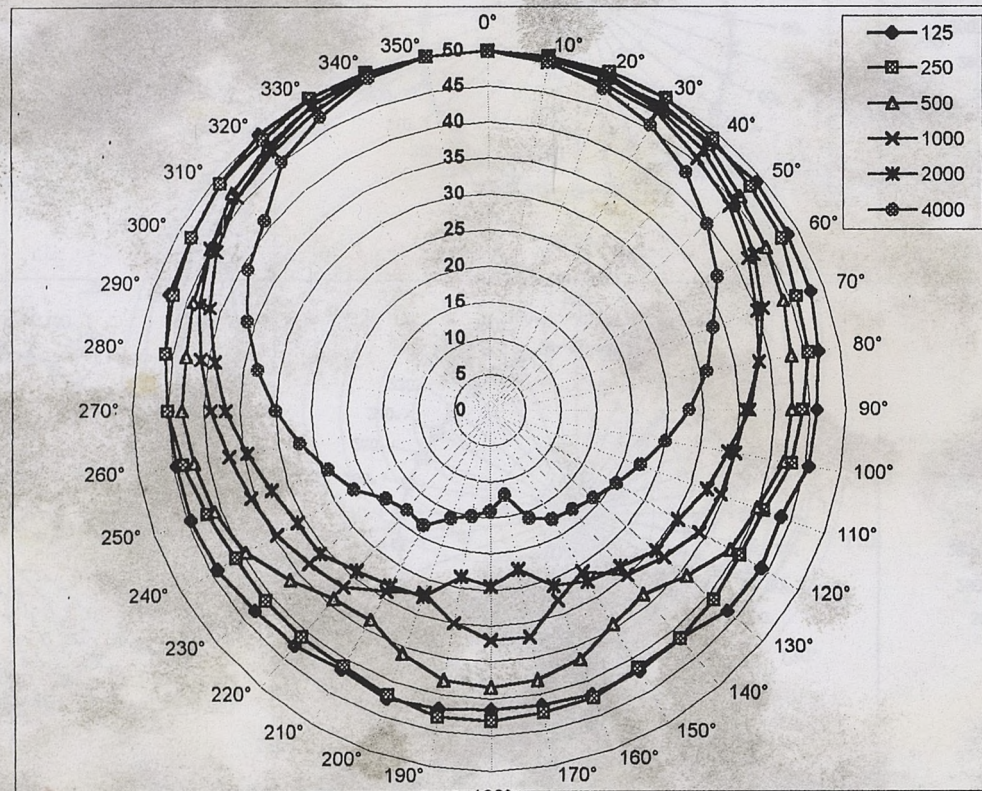
Source Nagra D.S.M.

Directivité Verticale

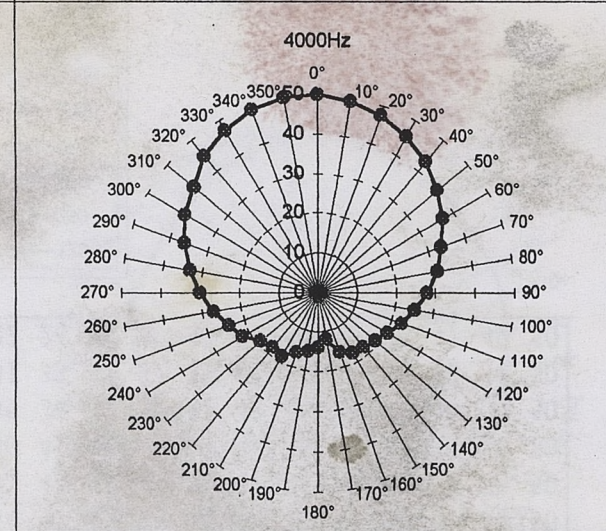
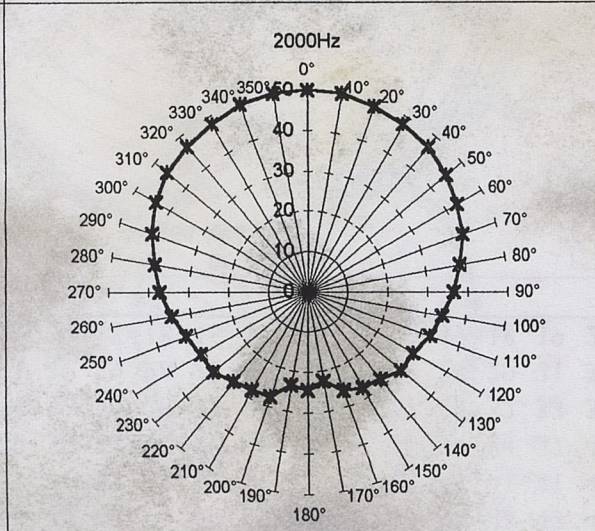
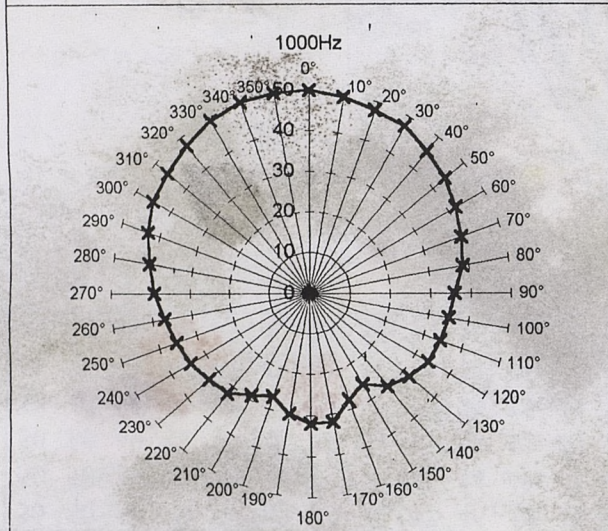
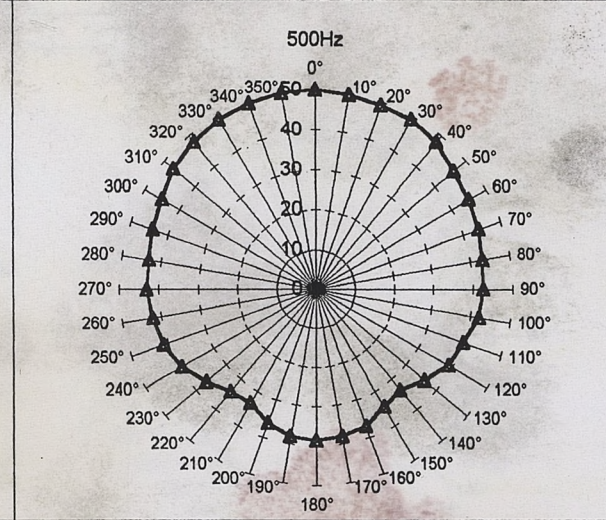
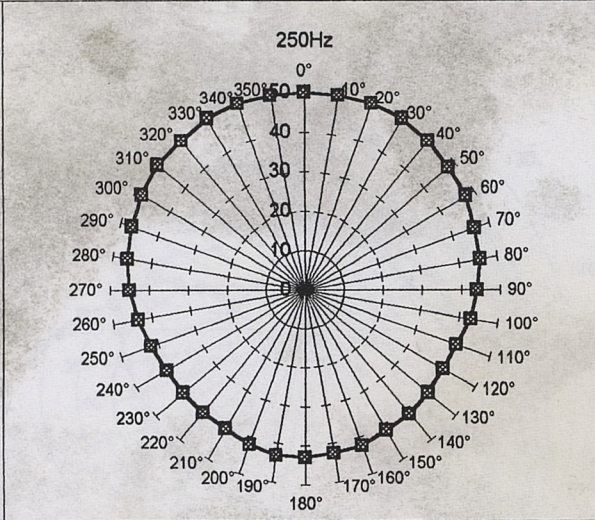
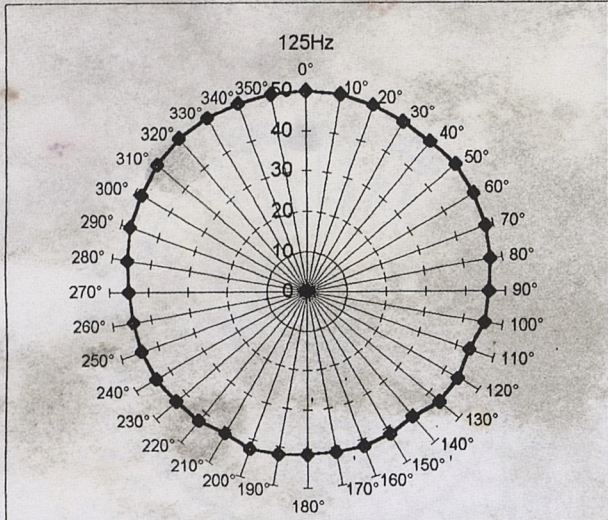


Source Ditton Celestion
Directivité Horizontale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°		
125	50	50	50	49	49	49	49	48	47	46	46	44	44	44	42	42	42	42	42	42	42	43	42	43	43	44	45	45	45	46	48	48	49	50	50	50	50	50
250	50	50	50	50	49	48	48	46	46	44	43	41	41	41	42	42	43	43	43	43	42	41	41	41	41	42	44	45	46	47	48	49	49	50	50	50	50	50
500	50	50	49	49	48	46	45	44	43	43	42	40	39	36	34	35	37	38	39	38	36	34	34	37	40	41	42	43	43	44	45	47	48	49	50	50	50	50
1000	50	49	48	48	46	44	42	40	39	36	35	35	34	32	30	26	28	32	32	30	27	29	32	33	35	36	37	39	41	43	45	46	48	49	50	50	50	50
2000	50	50	49	48	47	45	43	41	39	37	34	33	31	31	29	28	26	23	25	24	28	28	29	31	31	33	35	37	39	42	44	46	47	48	50	50	50	50
4000	50	49	48	46	43	40	37	34	31	28	25	23	21	19	18	18	16	12	14	15	16	19	18	19	22	24	27	30	33	36	39	41	45	47	49	50	50	50

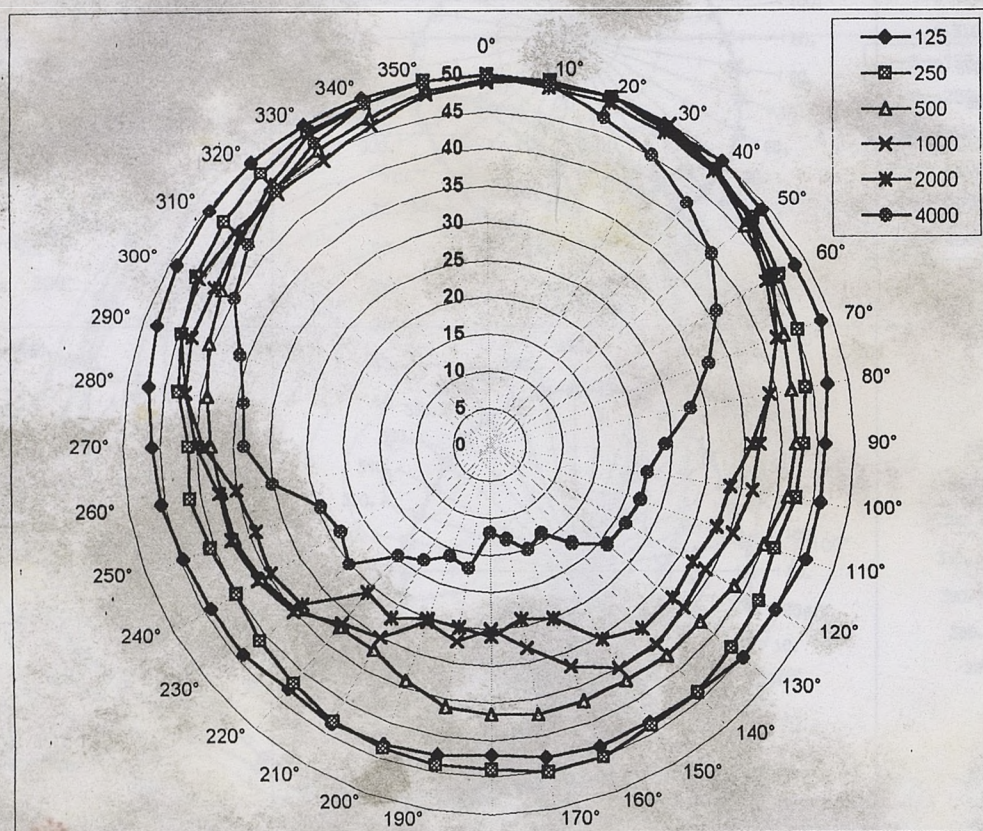


Source Ditton Celestion
Directivité Horizontale

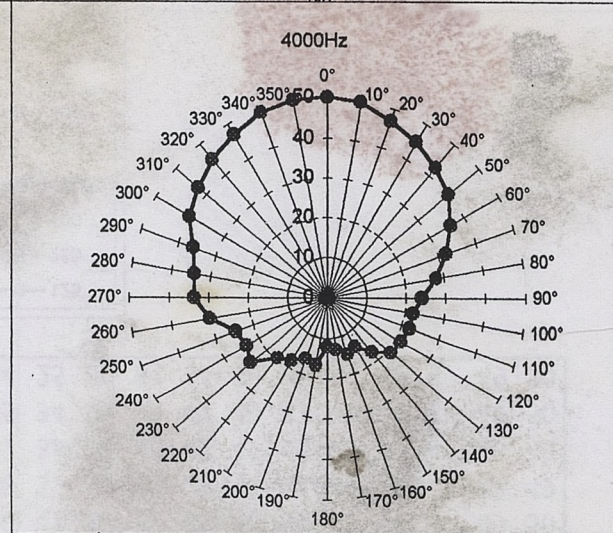
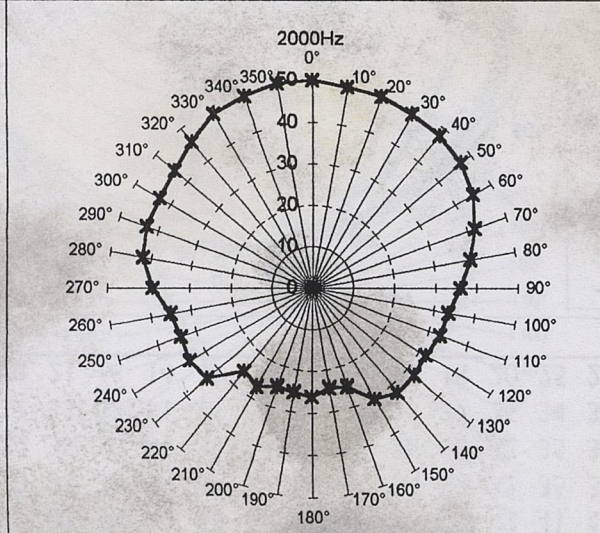
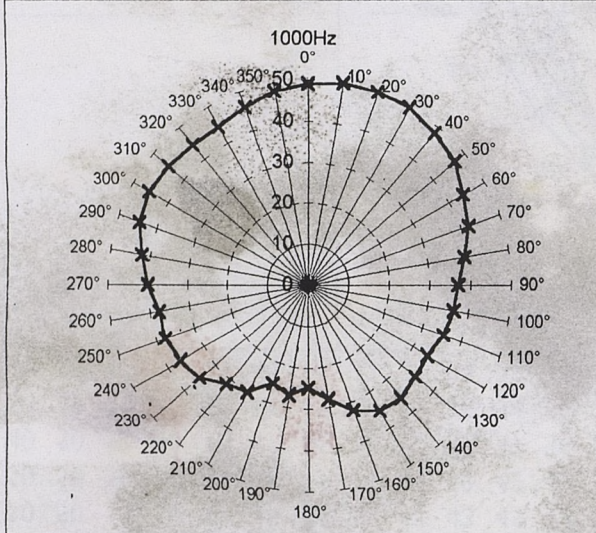
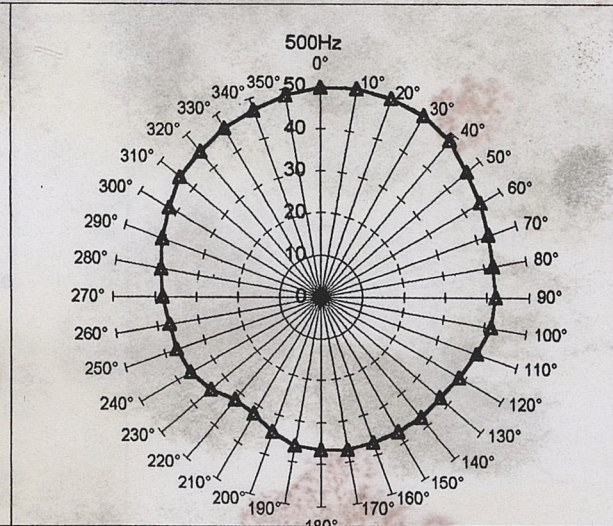
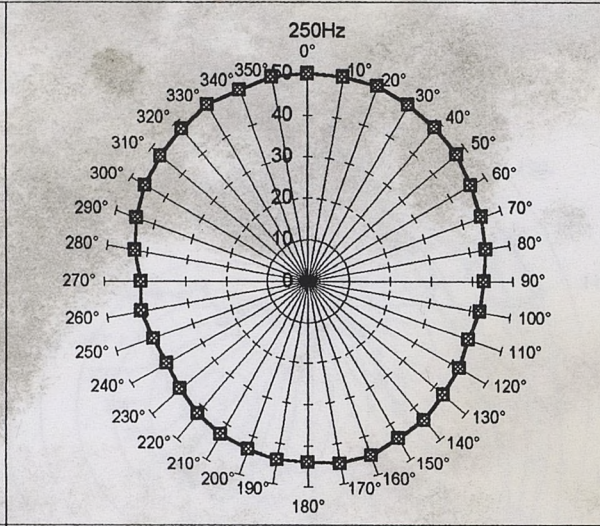
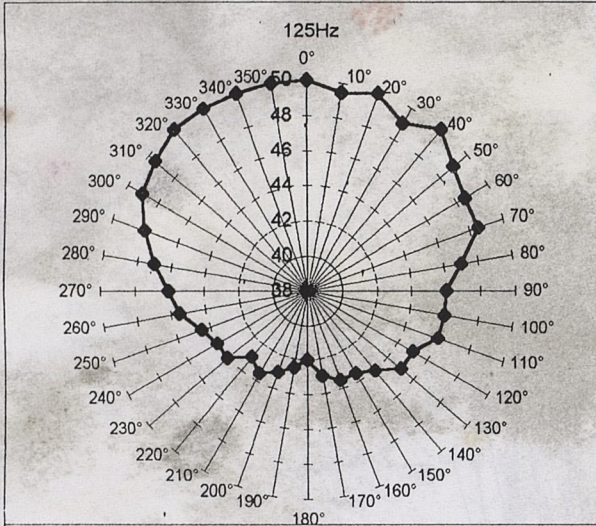


Source Ditton Celestion
Directivité Verticale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°		
125	50	50	50	49	50	49	49	49	47	46	46	46	45	45	44	44	44	43	42	43	43	44	43	44	44	44	45	46	46	47	48	49	50	50	50	50	50	50
250	50	50	50	49	49	48	46	45	44	43	43	42	43	43	44	44	45	45	44	44	44	44	43	42	41	40	41	42	41	43	45	46	47	48	49	49	50	50
500	50	50	50	50	49	46	45	43	42	42	42	40	39	38	38	37	37	37	36	34	32	32	35	36	37	37	38	39	41	42	44	45	46	47	49	49	50	50
1000	49	50	50	50	49	47	44	42	39	37	37	36	34	35	36	35	32	28	25	27	26	30	32	35	37	38	38	40	42	45	46	45	45	45	46	47	49	50
2000	50	49	49	49	48	47	45	42	39	36	34	33	32	33	33	31	25	24	26	25	25	27	26	34	35	34	35	39	42	43	43	44	46	49	49	50	50	50
4000	50	50	47	45	43	40	36	32	28	24	22	22	22	21	18	14	15	13	12	17	16	18	20	25	24	25	30	34	34	36	40	43	45	47	49	50	50	



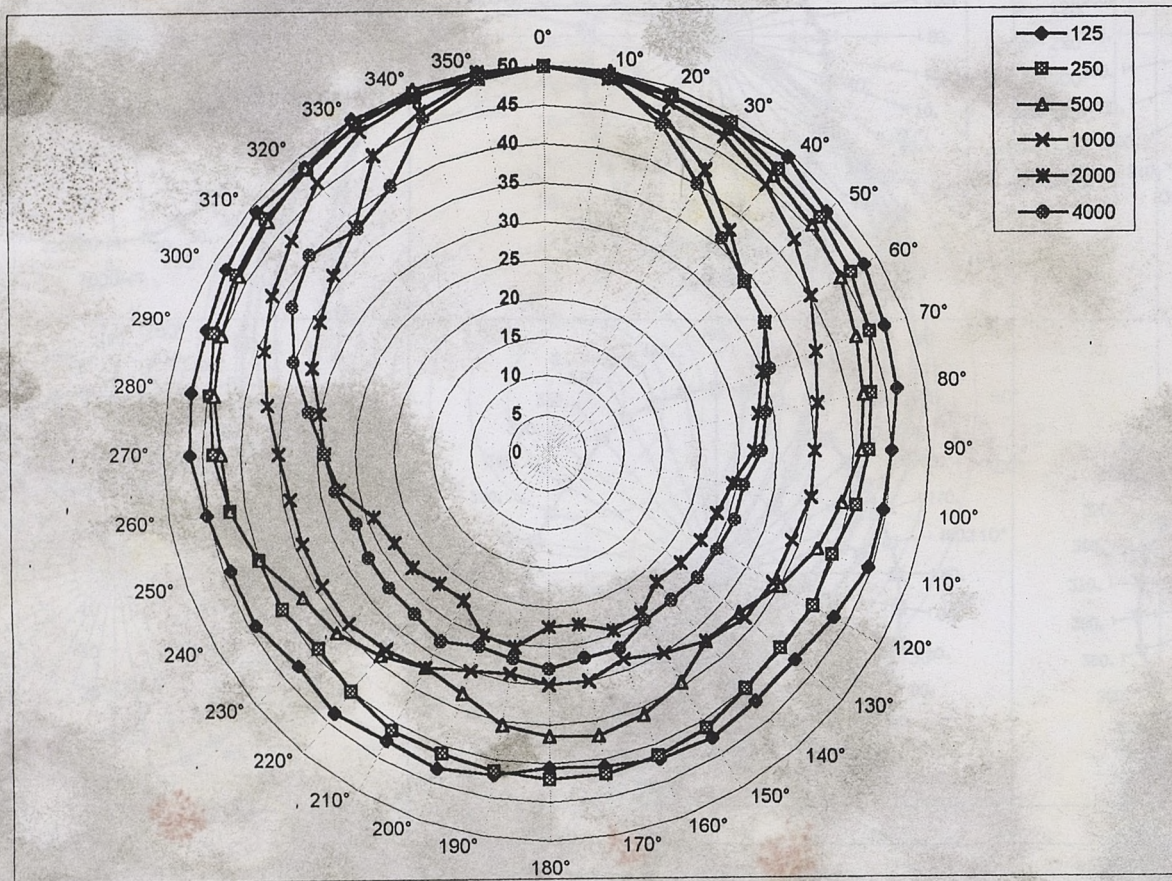
Source Ditton Celestion
Directivité Verticale



Source Brüel et Kjaer n°4224

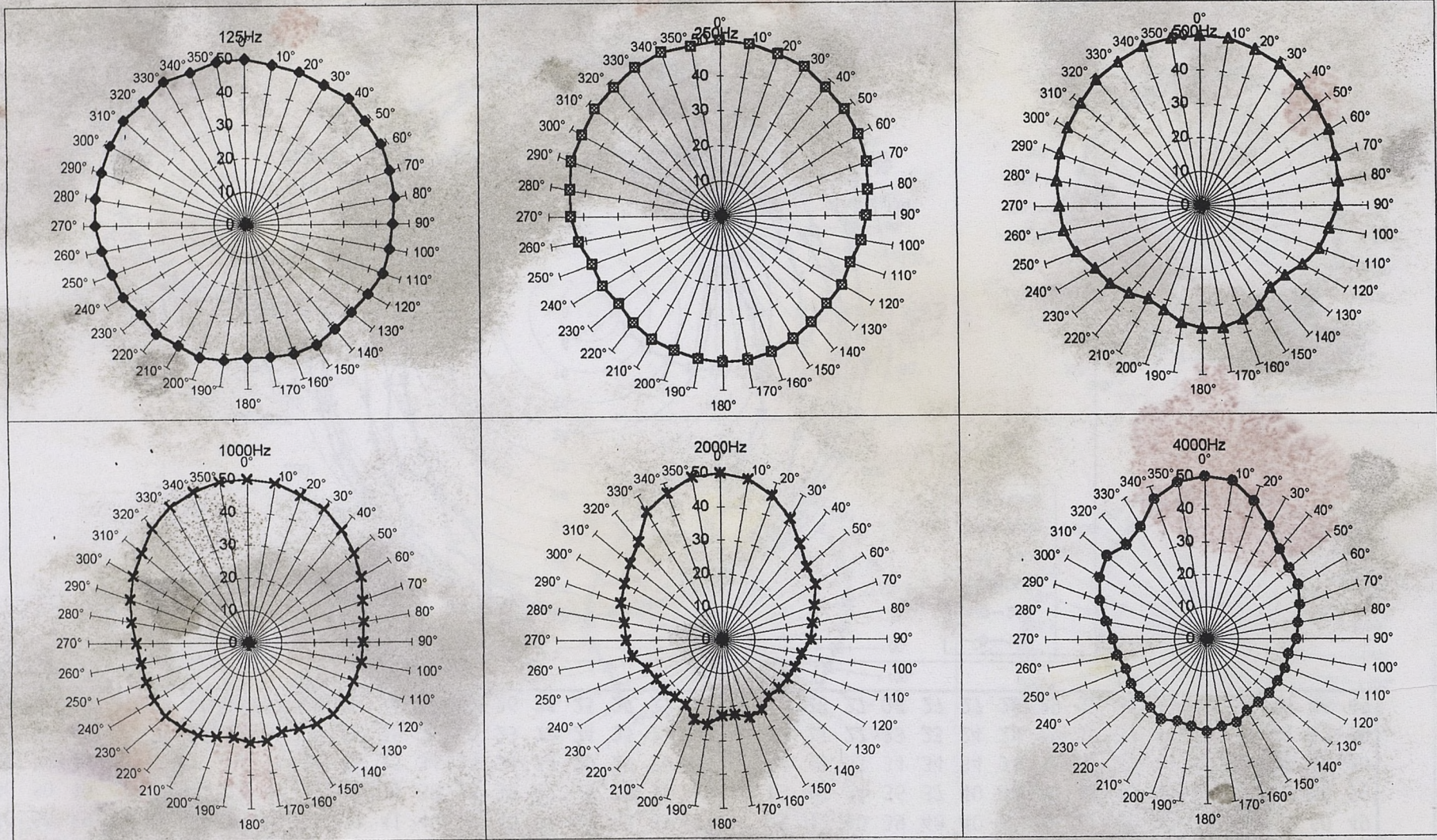
Directivité Horizontale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°		
125	50	49	49	49	50	48	48	47	47	45	45	45	43	42	42	43	42	41	41	42	43	43	44	43	44	44	45	47	47	47	48	49	49	50	49	50	50	
250	50	50	49	49	48	47	46	45	43	42	41	40	40	40	40	41	42	42	42	42	41	41	40	39	40	40	42	44	45	46	47	48	48	49	50	49	50	49
500	50	50	49	48	47	46	45	43	42	41	39	38	35	33	32	35	36	37	37	36	33	32	34	36	37	40	42	43	44	45	46	47	49	49	50	50	50	
1000	50	50	48	47	45	43	40	38	36	35	35	34	34	34	32	30	29	30	30	29	30	32	33	34	34	34	34	35	37	39	41	43	46	48	49	50	50	
2000	50	49	46	42	38	34	33	30	28	27	25	24	23	23	22	24	25	23	23	26	25	22	22	23	23	24	28	29	30	33	34	36	39	45	47	50	50	
4000	50	50	45	40	36	34	33	31	29	28	26	26	26	26	25	25	27	27	28	27	27	28	27	27	27	27	28	29	32	35	38	40	38	40	46	49	50	



Source Brüel et Kjaer n°4224

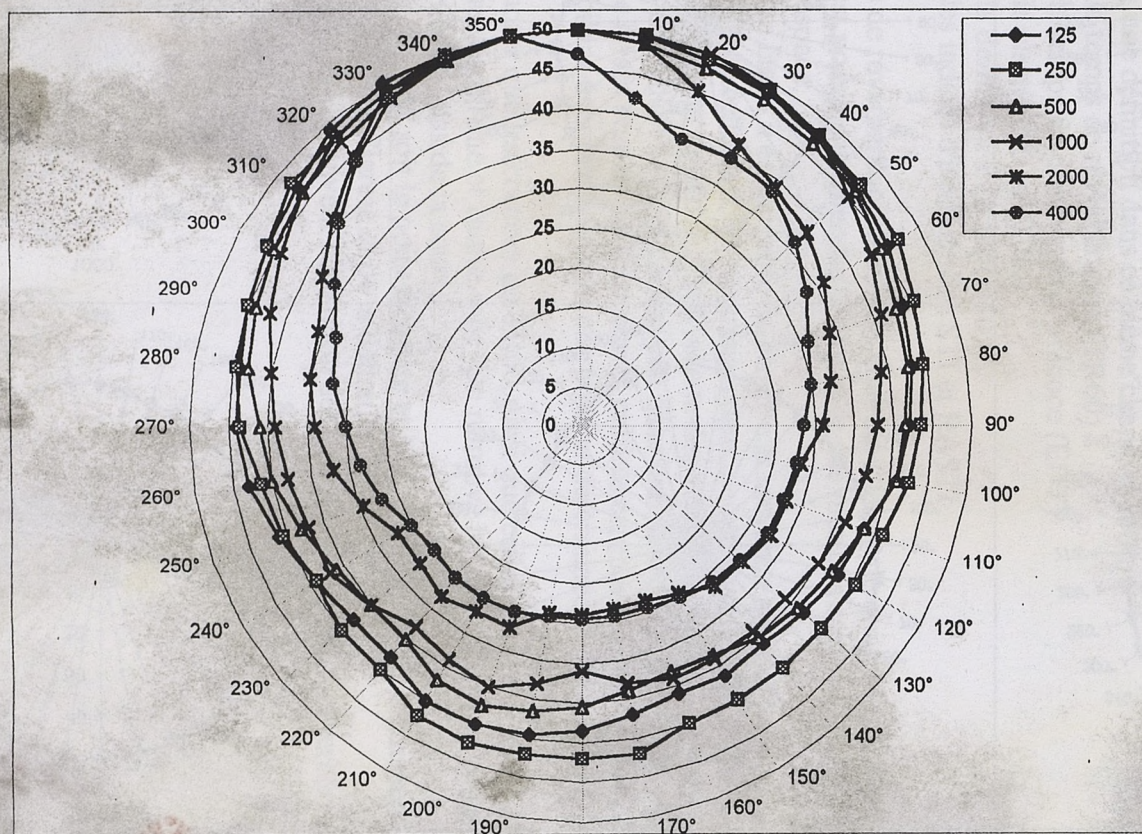
Directivité Horizontale



Source Brüel et Kjaer n°4224

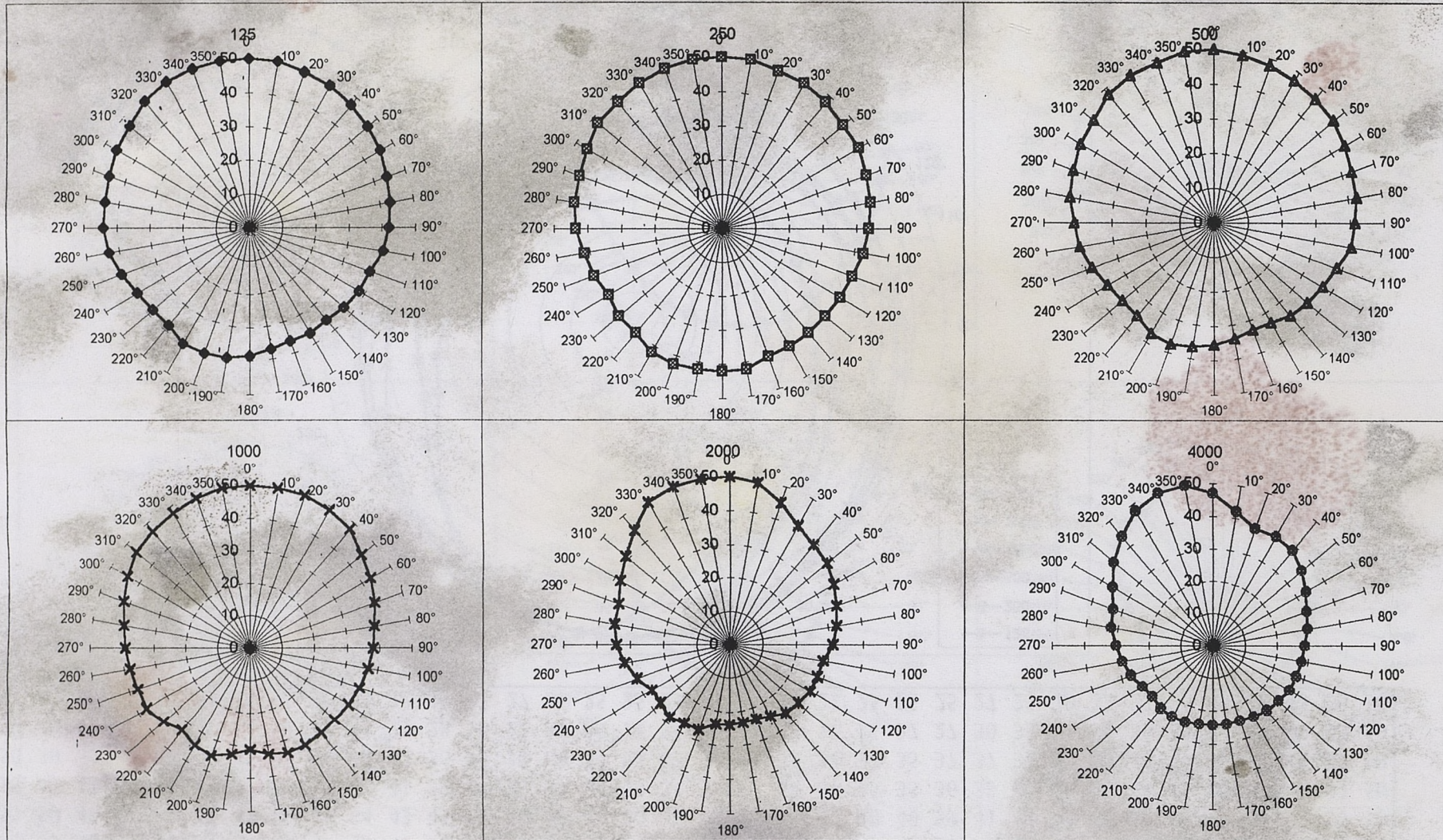
Directivité Verticale

Hz	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°			
125	50	50	49	49	48	47	46	44	43	42	41	39	38	37	36	37	36	37	39	40	40	40	38	38	39	41	43	44	44	45	46	47	49	50	50	50	50	50	
250	50	50	49	49	48	47	47	46	45	44	43	41	41	40	40	40	40	42	42	42	43	42	40	40	39	41	42	44	45	45	46	48	48	49	50	50	50	50	50
500	50	49	48	48	47	46	45	43	43	42	41	39	37	36	35	34	33	34	36	37	38	37	35	35	36	38	40	41	43	44	45	46	48	49	49	50	50	50	50
1000	50	50	50	49	48	45	43	41	39	38	37	36	35	34	34	34	34	33	31	33	35	34	33	35	37	37	38	39	40	42	44	46	47	48	49	50	50	50	50
2000	50	49	45	41	39	38	36	34	33	31	29	28	28	27	27	25	24	24	24	24	27	27	28	27	27	30	32	34	35	36	38	41	45	49	50	50	50	50	50
4000	47	42	39	39	39	36	34	31	30	29	28	28	28	27	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	29	30	32	33	36	40	44	48	50	50	50	



Source Brüel et Kjaer n°4224

Directivité Verticale



II-1-2 Comparaison des sources in situ

Notre propos est ici de comparer les valeurs de critères acoustiques caractérisant une salle, obtenus avec une méthode identique, les signaux sonores étant diffusés par des sources (haut-parleur+générateur) différentes.

En outre les conditions de mesures in situ sont nettement moins favorables qu'en chambre anéchoïque, en ce qui concerne le niveau de bruit de fond.

Les résultats suivants sont tirés de mesures faites dans deux salles de classe de l'EAPB qui sont présentées plus en détail dans le paragraphe III-2 (plan ci-après).

La méthode de mesure utilisé est celle décrite en III-1. Les critères évalués dont on trouvera une définition dans ce même chapitre, sont:

- le temps de réverbération (TR60)
- le temps de décroissance précoce (EDT)
- la clarté à 80 ms (C80)
- la définition à 50 ms (D50)
- les indices d'intelligibilité STI et RASTI

Le temps de réverbération étant une quantité statistique qui représente le volume total, il est possible de prendre la moyenne des mesures comme étant significative de l'espace.

De la même façon il est possible de prendre la moyenne des EDT (lorsque leur variation est proche de celle du TR60 correspondant, ce qui signifie que l'on se trouve en champs diffus avec une répartition équivalente des premières réflexions), ainsi que celles des indices d'intelligibilité qui varient peu dans une zone restreinte.

Par contre il faut étudier les deux autres critères en un point d'écoute puisqu'ils caractérisent les bilans énergétiques dans une portion déterminée de l'espace.

On peut noter que les courbes du TR60, ainsi que celles des EDT ont des allures très proches dans l'une et l'autre salle. On retrouve bien le fait que le temps de réverbération ne dépend pas de la source.

Par contre quelque soit le point d'écoute et la salle on observe une dispersion très nette des valeurs de la Clarté et de la définition.

Le STI et le RASTI suivent l'évolution des valeurs du temps de réverbération précoce.

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Source Ditton Celestion

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	2,41	1,75	1,71	1,40	1,28	1,15	2,20	1,82	1,64	1,40	1,44	1,13	0,53
2	2,46	1,94	1,68	1,41	1,60	1,12	2,85	1,68	1,63	1,45	1,49	1,16	0,53
3	2,40	1,94	1,56	1,40	1,31	1,18	2,46	1,79	1,74	1,74	1,60	1,25	0,50
MOY	2,42	1,88	1,65	1,40	1,40	1,15	2,50	1,76	1,67	1,53	1,51	1,18	0,52

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	1,09	-0,31	-0,19	2,26	1,65	3,94	43,39	43,23	35,28	50,08	46,83	58,68	0,50
2	-2,21	2,10	1,73	1,91	1,88	3,38	33,52	43,50	48,20	51,08	50,85	57,67	0,53
3	-1,90	-1,08	-2,33	-0,48	-0,94	1,15	16,47	19,75	18,81	27,00	27,24	39,11	0,48
MOY													0,50

Salle vide

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

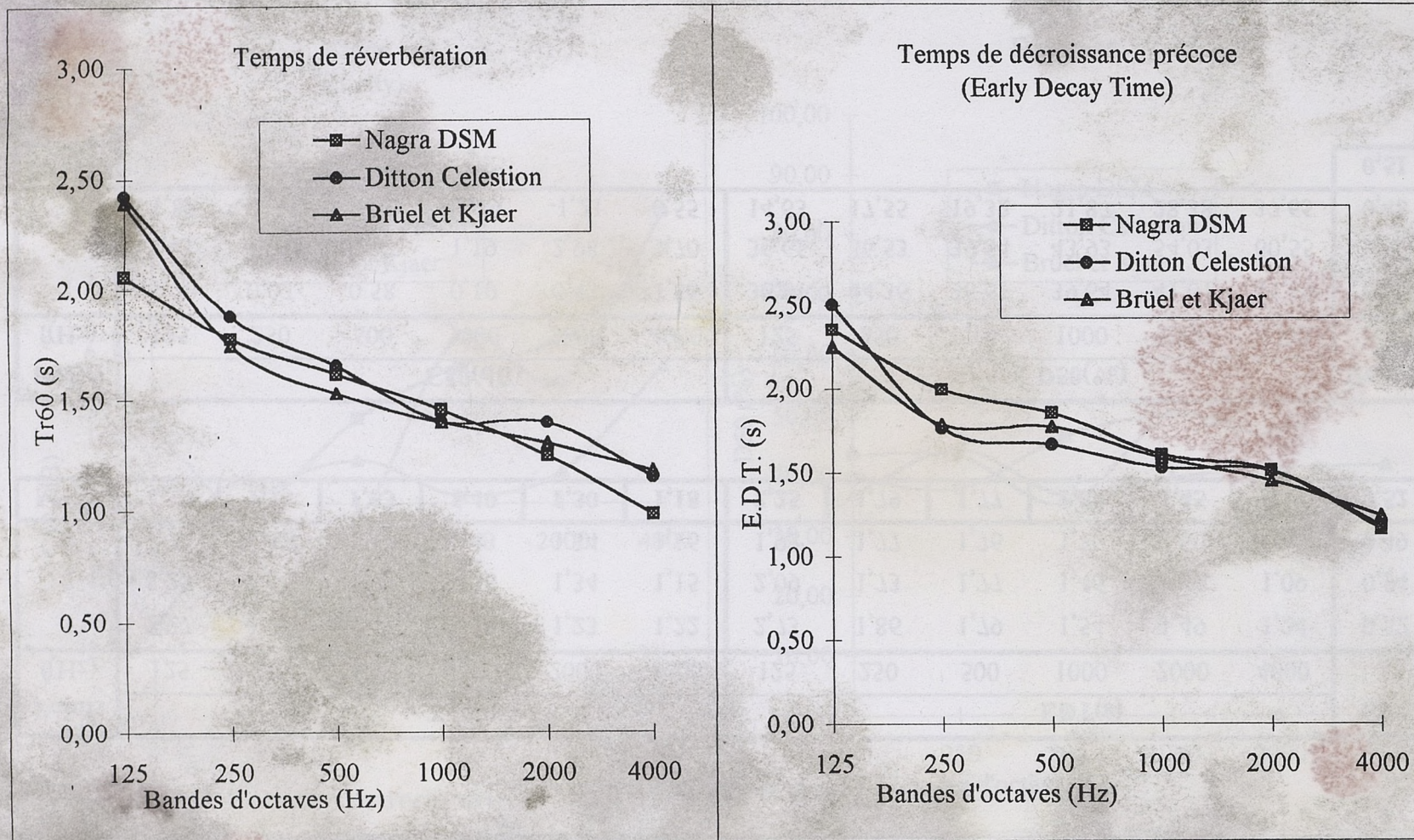
Source Nagra DSM

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	1,89	1,75	1,68	1,47	1,28	0,95	2,24	1,71	1,62	1,61	1,46	1,16	0,40
2	2,27	1,70	1,52	1,40	1,22	1,00	2,45	2,08	1,92	1,50	1,48	1,03	0,43
3	2,01	1,86	1,64	1,49	1,24	0,99	2,36	2,19	2,03	1,71	1,60	1,29	0,40
MOY	2,06	1,77	1,61	1,45	1,25	0,98	2,35	1,99	1,86	1,61	1,51	1,16	0,41

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	-0,34	-0,06	1,15	1,86	2,22	3,43	39,50	37,89	46,43	50,00	47,07	57,48	0,45
2	1,57	-0,10	0,47	2,17	0,73	4,63	37,44	43,33	39,91	49,81	41,80	65,20	0,47
3	-0,31	-2,87	-0,72	0,01	0,49	1,23	31,46	17,99	26,25	36,45	35,83	43,12	0,43
MOY													0,45

Salle vide

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux



Salle vide

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

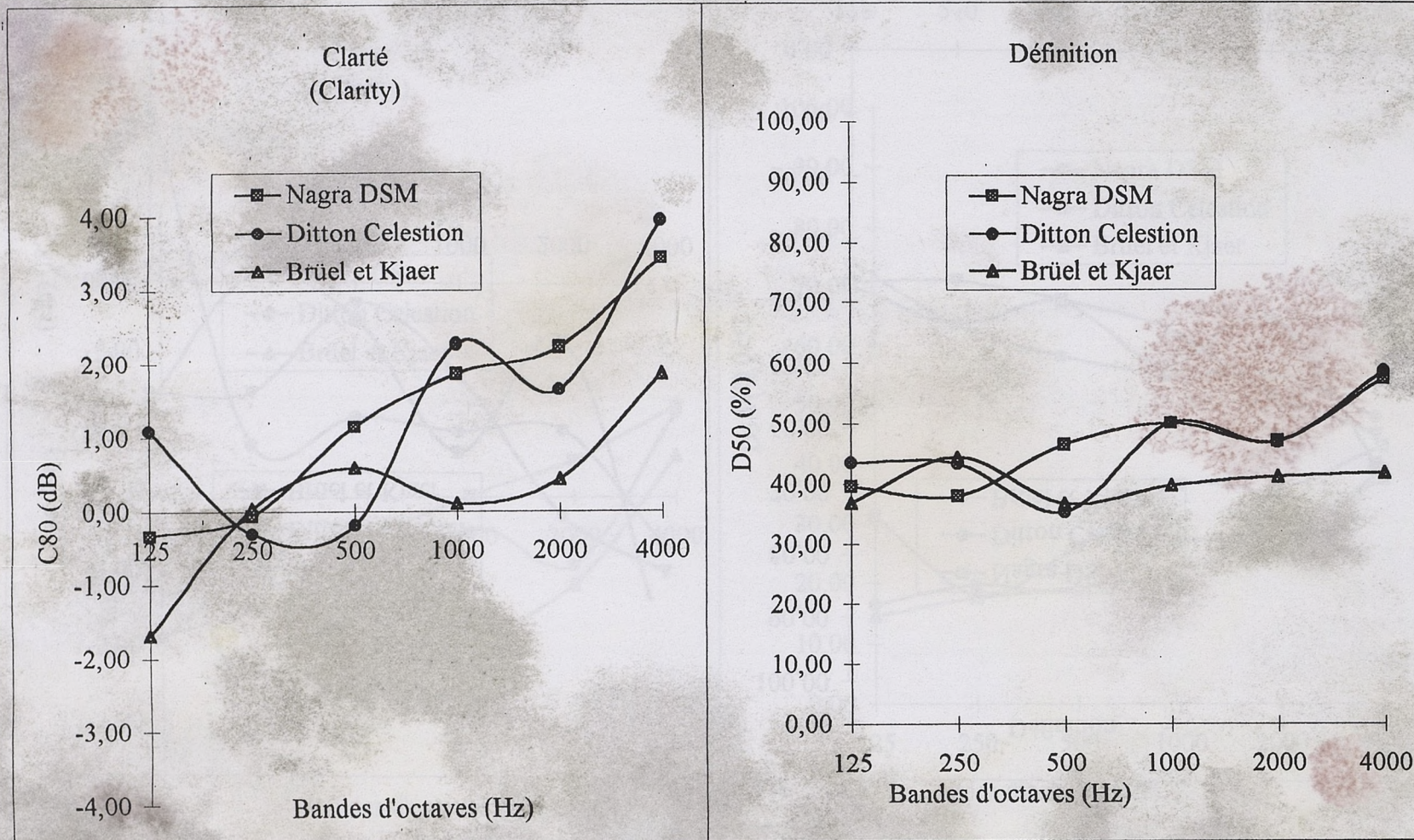
Source Brüel & Kjaer

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	2,27	1,74	1,48	1,38	1,23	1,22	2,73	1,86	1,79	1,54	1,49	1,24	0,52
2	2,20	1,66	1,49	1,38	1,34	1,15	2,09	1,73	1,77	1,46	1,36	1,09	0,54
3	2,70	1,82	1,61	1,43	1,34	1,16	1,92	1,77	1,76	1,76	1,50	1,40	0,49
MOY	2,39	1,74	1,53	1,40	1,30	1,18	2,25	1,79	1,77	1,59	1,45	1,24	0,52

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	-1,70	0,03	0,58	0,10	0,43	1,86	36,81	44,36	36,61	39,64	41,01	41,69	0,52
2	1,43	1,41	0,27	1,19	2,98	3,70	36,65	36,53	39,54	43,93	54,03	60,55	0,52
3	-1,88	-1,51	-1,22	-1,79	-1,21	0,55	14,63	17,55	19,32	21,87	28,38	37,65	0,48
MOY													0,51

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

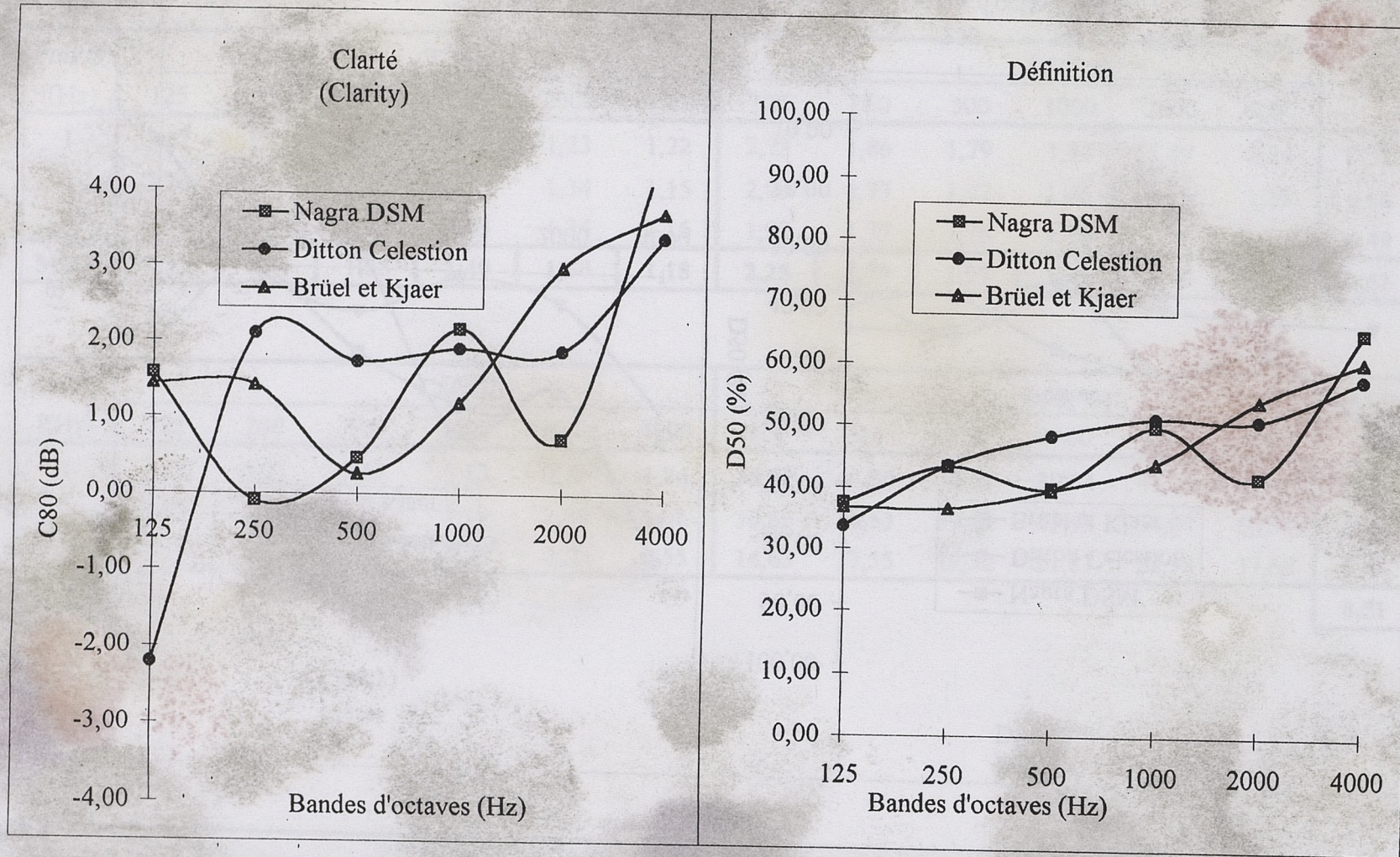
Point d'écoute 1



Salle vide

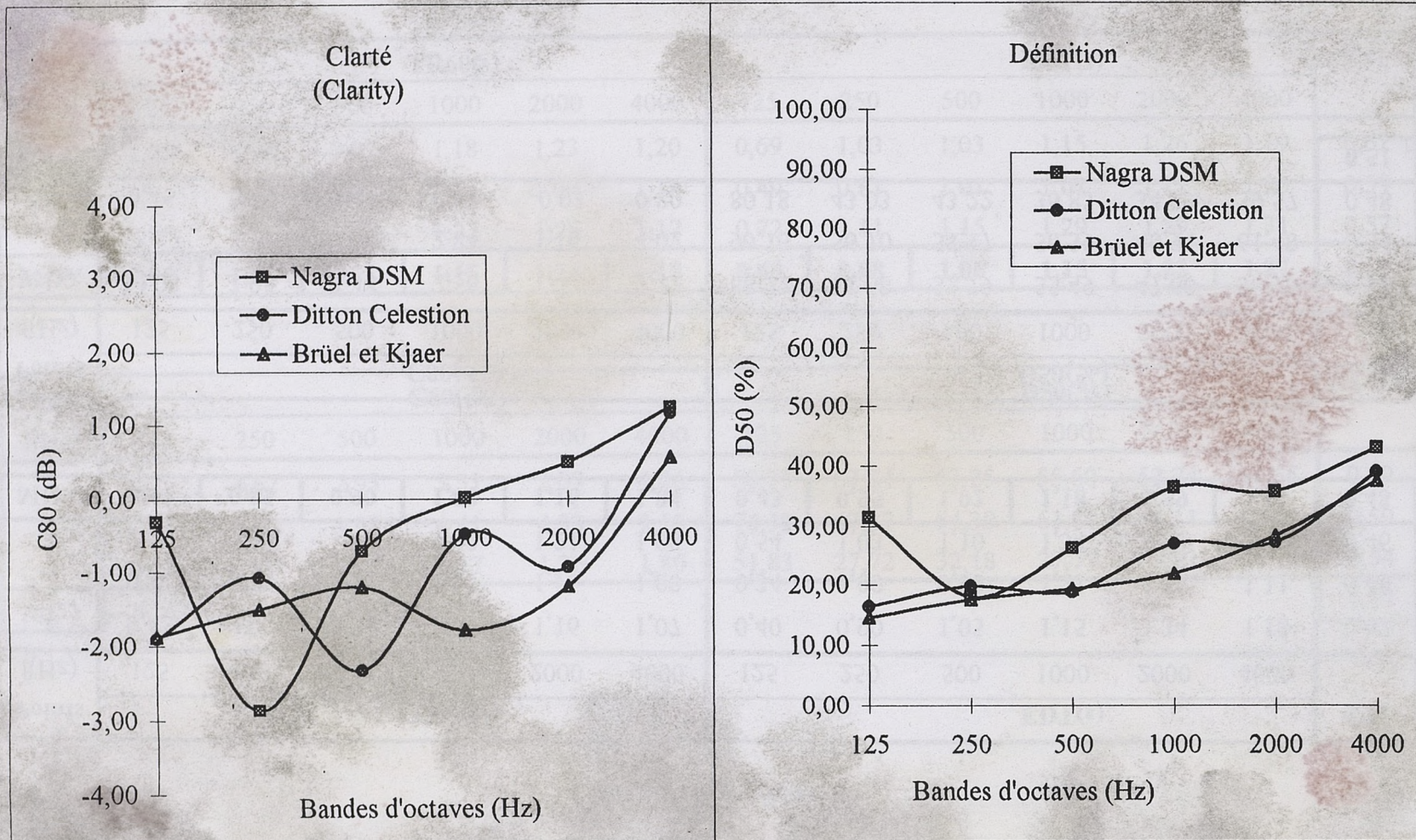
Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Point d'écoute 2



Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Point d'écoute 3



Salle vide

Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Source Nagra DSM

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI	
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000		
1	0,42	0,92	0,94	1,01	1,16	1,07	0,40	0,90	1,05	1,15	1,34	1,18	0,47	
2	0,34	0,78	0,86	0,99	1,16	1,00	0,34	1,00	0,98	1,21	1,44	1,11		0,48
3	0,66	0,99	1,05	1,02	1,21	1,08	0,54	1,03	1,10	1,34	1,58	1,38		0,46
MOY	0,47	0,85	0,90	1,00	1,16	1,04	0,43	0,95	1,02	1,18	1,39	1,15	0,48	

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	14,08	3,05	3,48	2,56	1,73	3,22	88,72	51,68	52,79	55,49	47,60	56,75	0,51
2	15,37	3,99	3,63	2,84	1,16	4,02	90,76	56,70	57,77	50,39	40,94	61,48	0,54
3	9,46	2,16	2,14	0,67	-0,03	0,80	80,18	43,03	43,22	36,83	34,29	39,57	0,48
MOY													0,51

Salle vide

Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Source Brüel & Kjaer

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	1,25	0,94	0,87	1,18	1,23	1,20	0,69	1,03	1,03	1,15	1,26	1,19	0,62
2	0,94	0,92	0,82	1,05	1,24	1,18	0,49	0,81	1,01	1,01	1,12	1,30	0,59
3	0,65	1,31	1,03	1,22	1,25	1,17	0,72	1,11	1,15	1,29	1,29	1,31	0,57
MOY	0,95	1,06	0,91	1,15	1,24	1,18	0,63	0,98	1,06	1,15	1,22	1,27	0,59

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	5,20	4,62	2,95	3,51	2,07	4,26	60,73	67,84	63,25	55,60	52,74	61,55	0,59
2	10,31	5,84	3,98	4,41	4,33	2,58	74,32	67,37	54,30	61,81	63,11	52,00	0,59
3	7,38	-0,07	-0,49	0,17	1,26	1,80	51,83	27,72	32,18	27,77	42,91	48,74	0,54
MOY													0,57

Salle vide

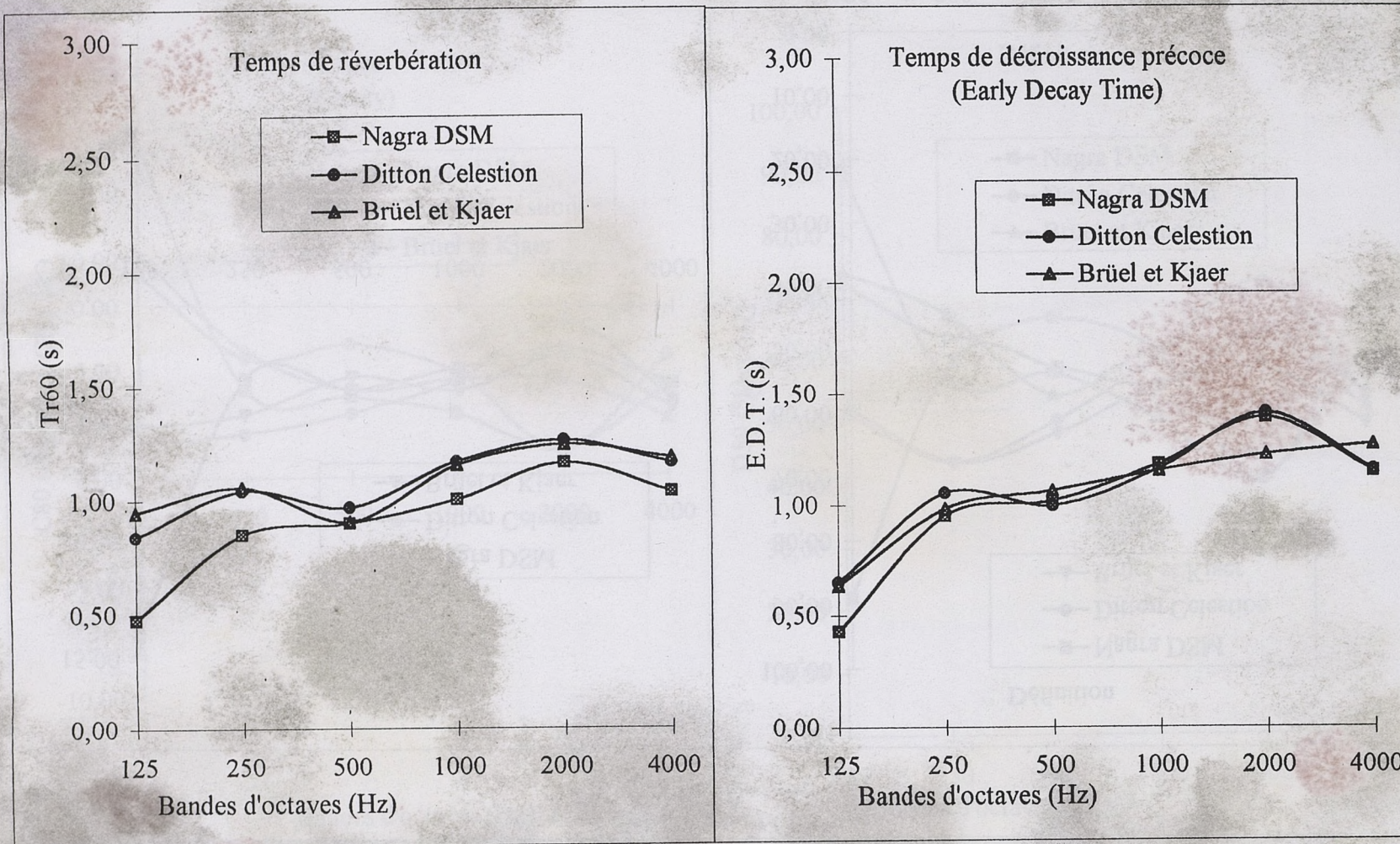
Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Source Ditton Celestion

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	0,78	0,99	0,94	1,08	1,25	1,19	0,69	0,99	0,96	1,10	1,45	1,13	0,62
2	0,93	0,98	0,93	1,19	1,27	1,13	0,53	0,98	0,89	1,00	1,35	1,03	
3	0,81	1,15	1,03	1,23	1,26	1,16	0,73	1,19	1,13	1,37	1,43	1,30	
MOY	0,84	1,04	0,97	1,17	1,26	1,16	0,65	1,05	0,99	1,16	1,41	1,15	0,61

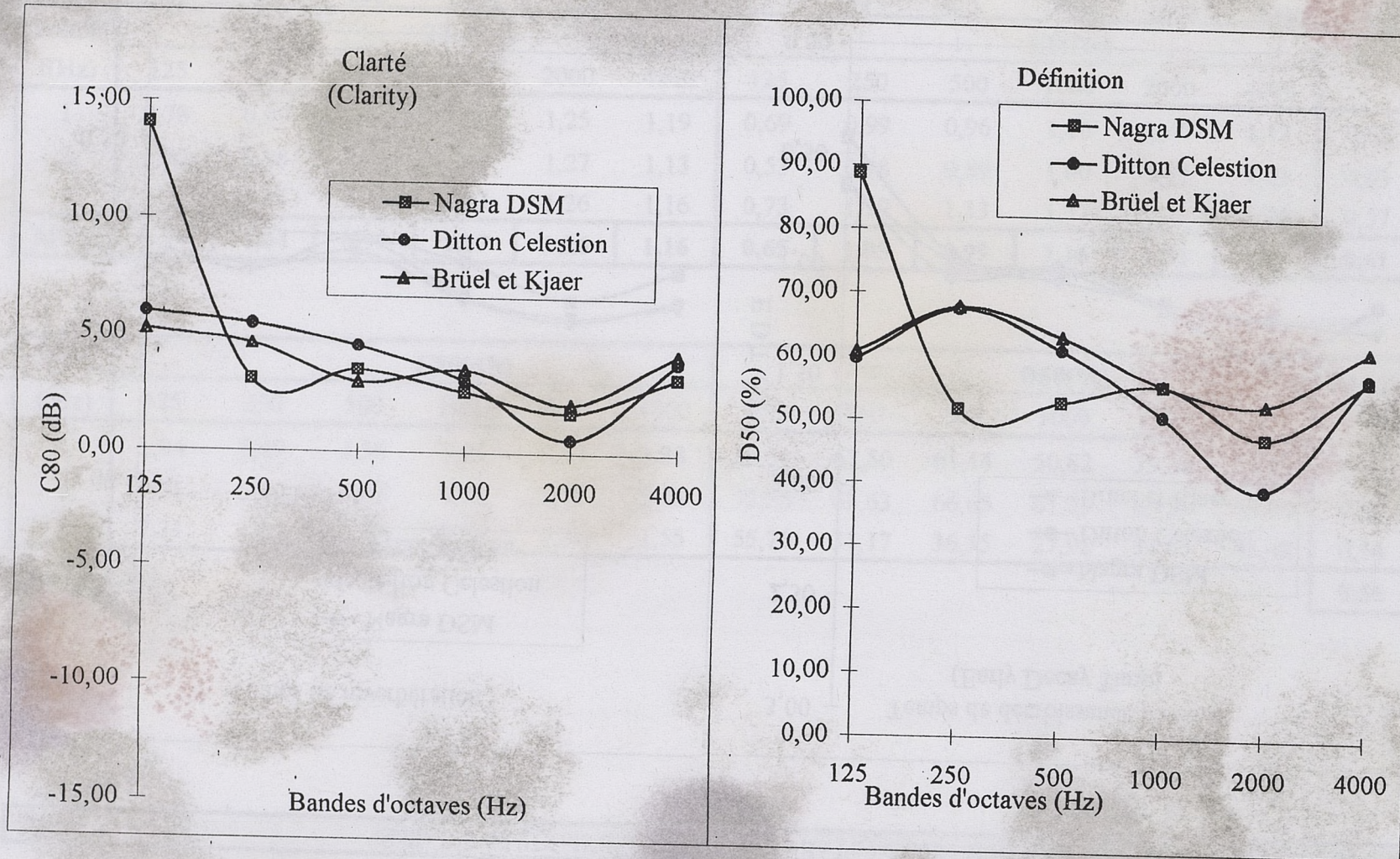
Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	5,94	5,49	4,56	3,04	0,57	3,88	59,51	67,50	61,14	50,82	39,30	57,23	0,58
2	9,41	5,49	6,07	4,73	1,12	5,45	72,26	63,63	66,65	61,23	40,55	69,99	
3	7,31	-0,52	0,95	0,04	0,29	1,55	55,76	31,17	36,35	27,92	31,63	45,42	
MOY													0,56

Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux



Salle vide

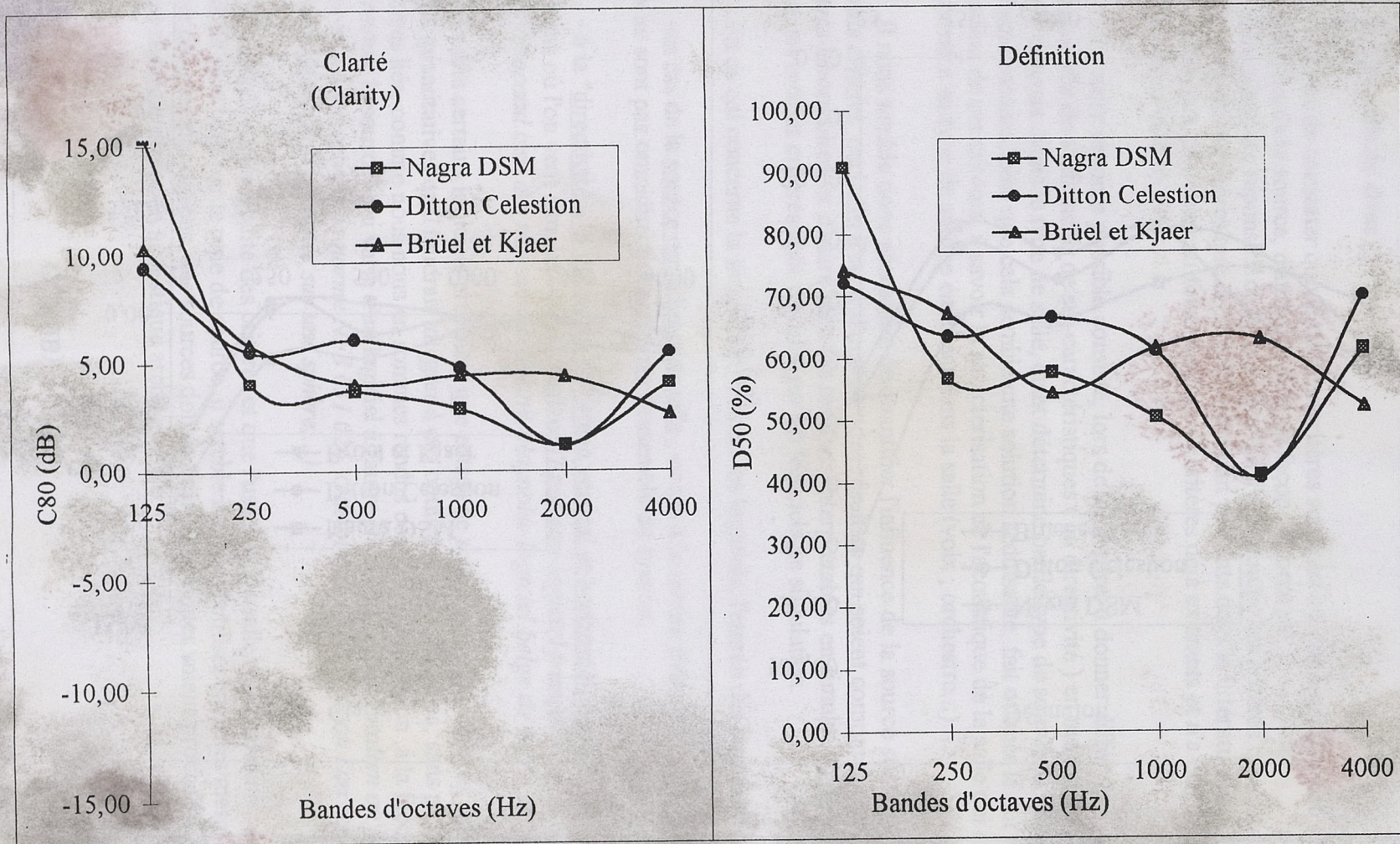
Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux
Point d'écoute 1



Salle vide

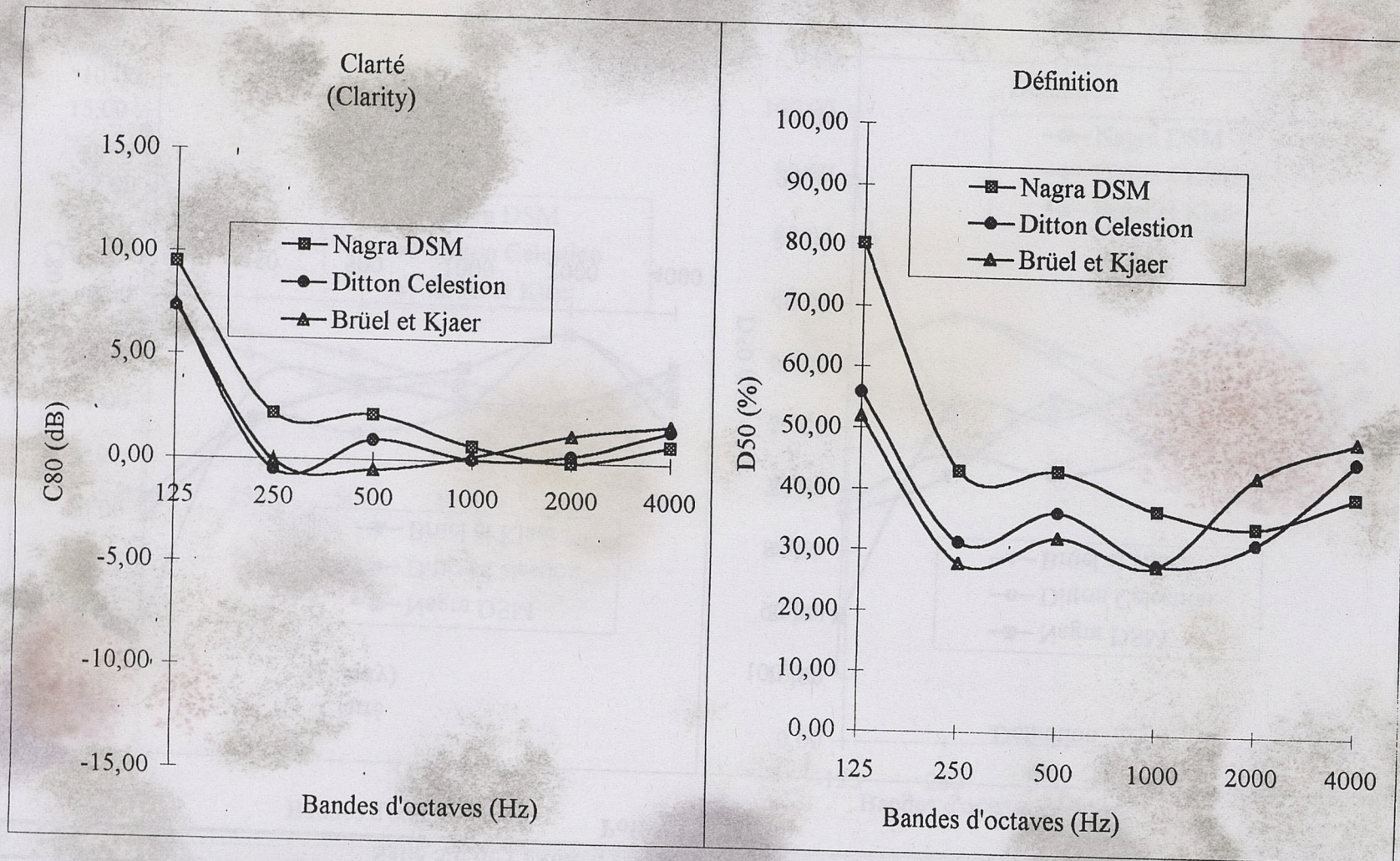
Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Point d'écoute 2



Salle vide

Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux
Point d'écoute 3



II-2 Protocole ériac

On vient de constater que si certains critères sont peu ou pas sensibles aux caractéristiques de la source, d'autres le sont de façon importante.

Une première réponse à ce problème a été d'abandonner les critères qui variaient trop, et d'utiliser d'autres critères que ceux habituellement présents dans la littérature internationale. Cela n'a fait hélas qu'ajouter au foisonnement de critères déjà existants et n'a pas résolu le problème de variabilité.

Une autre réponse possible consiste, lors de la mesure, à donner différentes orientations à la source afin de s'affranchir de ses caractéristiques (en directivité) en moyennant les résultats obtenus. Mais le type de salle, étant déterminé par le type de source, s' affranchir de ses caractéristiques, bien que cela semble une solution séduisante, fait oublier le but premier de l' utilisation de ces critères, à savoir la caractérisation de l'acoustique de la salle qui doit correspondre au type de source émettant dans la salle (voix , orchestre...).

Il nous semble donc nécessaire de quantifier l'influence de la source sur la mesure des différents critères, ceci afin d'avoir d'une part des résultats qui soient comparables entre différents laboratoires, et d'autre part des résultats interprétables en simulation informatique puisque les mêmes critères sont calculés par les logiciels de simulation.

En ce qui concerne la simulation, suivant les logiciels, l'entrée des sources est ramenée :

- au cas de la source omnidirectionnelle , ce qui a le mérite d'être simple mais les sources réelles ne sont pas omnidirectionnelles sur l'ensemble du spectre,

- à la "directivité à -3 dB ou -6 dB" (plan vertical et horizontal) qui est un bon modèle dans le cas où l'on veut simuler un haut parleur (*Epidaure logiciel français CSTB-01dB, Diffus-Nexocad issu des travaux de l'Ircam, Raynoise logiciel belge de NIT ,...*).

- enfin certains logiciels prévoient une entrée de sources plus complexes, mais les données quantitatives qu'il faudrait intégrer à ces outils sont indisponibles, sans parler des problèmes liés, comme nous nous en sommes rendus compte à l'utilisation , à la façon dont on doit "rentrer la source" qui varie d'un logiciel à l'autre (*Ramsete logiciel italien où l'on peut rentrer la source suivant la norme NFS 031 026, Odeon logiciel danois où l'on rentre au maximum 360 points disposés sur une sphère,...*)

Puisqu'il y a variabilité des critères et que l'usage de la salle est déterminé , comme nous l'avons dit plus haut par le type de source, il semble logique d'utiliser pour les mesures, et d'entrer dans les simulations, des sources dont les caractéristiques soient proches de celle des sources réelles utilisées en acoustique architecturale.

C'est l'objectif atteint avec l'exploitation de la campagne de mesures réalisée en juin 1987 par Philippe Jouenne et Catherine Sémidor.

Les musiciens de l'O.N.B.A. munis de leurs instruments (47 sources) se sont prêtés à des mesures de directivités dans la chambre anéchoïque du département de Mesures Physiques de l'UTTA.

Nous avons fait le choix de travailler dans des conditions qui soient le plus proche possible de la réalité. En effet certains chercheurs comme J.Meyer [Mey67], utilisent des dispositifs artificiels pour générer un son à partir de l'instrument de musique, par exemple un haut-parleur pour exciter une embouchure de trompette ou un vibreur électromagnétique pour les cordes d'un violon.

Bien que ce procédé assure une bonne reproductibilité des signaux, il ne donne pas le son produit par un organisme humain, et certains phénomènes n'existant pas en mode de jeu réel, apparaissent.

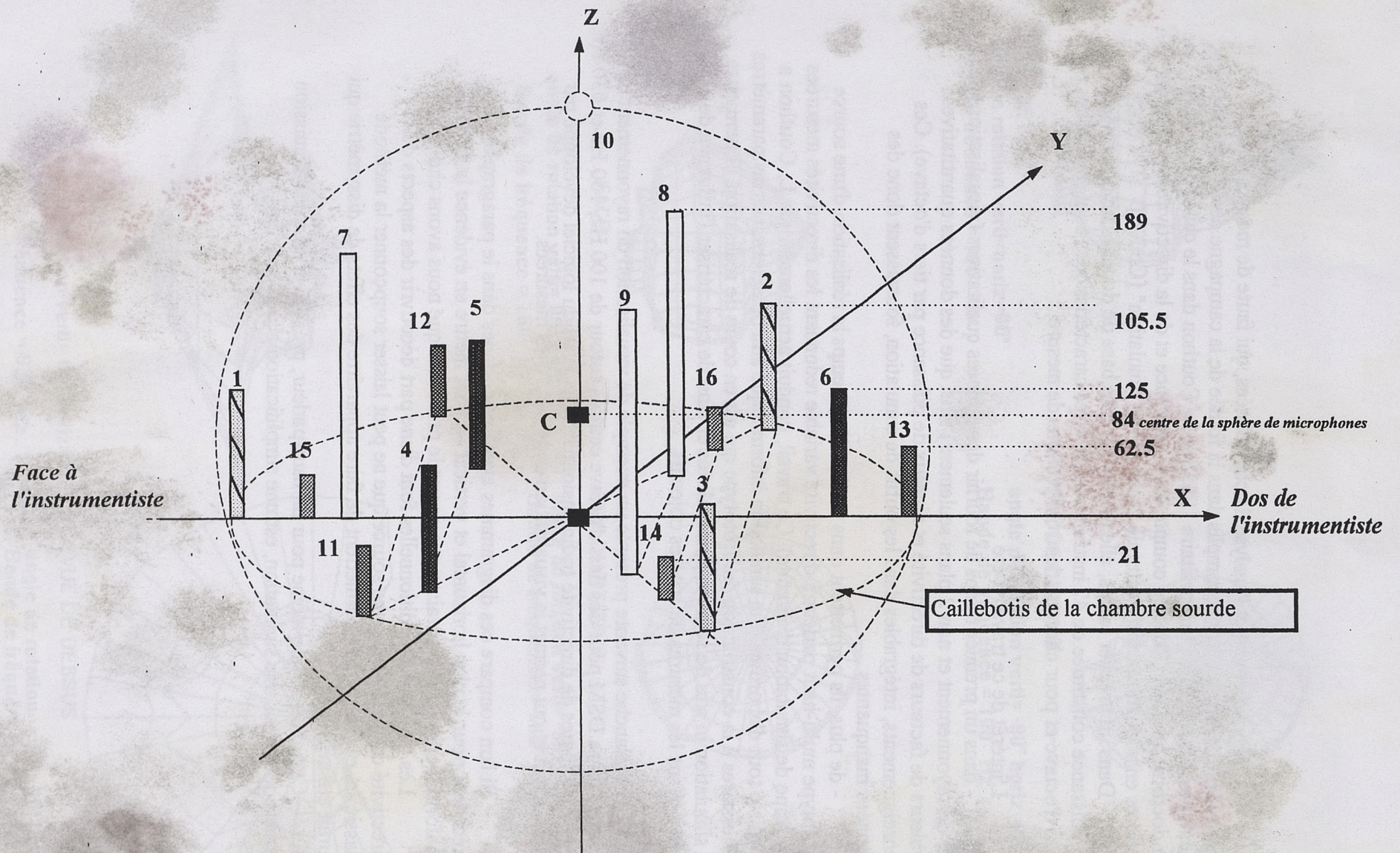
En outre la présence corporelle du musicien permet de mettre en évidence des effets de masque et de diffraction qui ne peuvent exister dans le premier cas.

A chaque musicien il était demandé de monter et descendre des gammes dans la tessiture de son instrument, avec tous les jeux caractéristiques (archet, pizzicato pour les cordes...), et d'interpréter quelques mesures d'une pièce musicale.

Le protocole de mesures utilisé était celui préconisé par la norme NFS 31 026. Les mesures ont été réalisées à l'aide de 16 microphones de studio omnidirectionnels à réponse fréquentielle plate, disposés sur une sphère (voir figure suivante)

Les enregistrements ont été faits avec un magnétophone analogique Fostex 16 pistes, de bande passante 18 à 20000 Hz et une console de studio.

Le dépouillement est effectué par un logiciel de traitement du signal issu des travaux de Ph. Jouenne. On fait une analyse statistique des séquences acquises afin d'en retirer les informations intéressantes [Cou96].



SPHERE DE MICROPHONES le sommet de chaque rectangle vertical indique la position et le n° de chaque micro

Le dépouillement et l'analyse de ces données, qui faute de moyens et de disponibilité, n'ont pu être accomplis dans la foulée de la campagne de mesures ont été menés depuis la rentrée universitaire 1992 par L. Couthon dans le cadre d'une thèse de doctorat intitulée "Prise en compte de la puissance et de la directivité des sources sonores en acoustique architecturale : mesures et simulation" [Cou96].

Dans un premier temps, elle a constitué une base de données en directivité et en puissance constituée de 47 instruments dont les caractéristiques sont présentées par tiers d'octave et pour chacune des 16 directions de mesure.

L'intérêt de ce travail a été :

- dans un premier temps de fournir des données qualitatives (visualisation en 3D du rayonnement et non 2 plans seulement) ainsi que des données quantitatives (valeurs de facteurs de directivité et niveaux de puissance par tiers d'octave). Ces renseignements, intégrables dans les outils de simulation, fournissent donc des données manquantes.

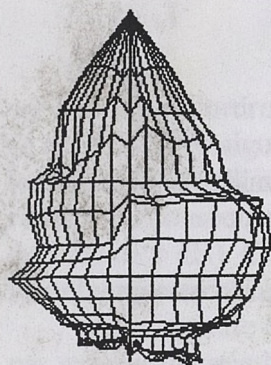
- de plus, ils permettent dans un deuxième temps la réalisation d'une source prototype multi-haut parleur à directivité variable redonnant les directivités mesurées (principe de simulation d'antenne). Ce travail, conduit actuellement par L. Couthon a consisté tout d'abord en une simulation informatique afin de déterminer les paramètres nécessaires à la construction du prototype qui est en cours de réalisation. Il permettra la simulation in situ de sources plus réalistes et ainsi de caractériser l'influence de celles-ci sur les mesures de critères objectifs.

La planche suivante présente un exemple de visualisation du rayonnement de la source Nagra DSM pour des tiers d'octave centrés autour de 100 Hz, 160 Hz et 630 Hz. Les diagrammes de directivité tridimensionnels sont issus du logiciel développé par L. Couthon et qui permet la visualisation des directivités mesurées.

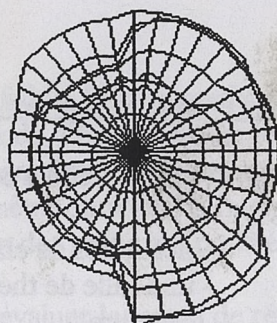
Si l'on compare ces diagrammes avec ceux donnés dans le paragraphe précédent pour le plan horizontal et vertical on peut mettre en évidence la richesse d'informations supplémentaires que donne le protocole que nous avons choisi.

Les indications additionnelles font d'une part découvrir des aspects de la directivité de l'émission d'une source que ne peut laisser soupçonner la méthode classique, et d'autre part permettent de faire apparaître des effets de dissymétrie qui aurait été négligés.

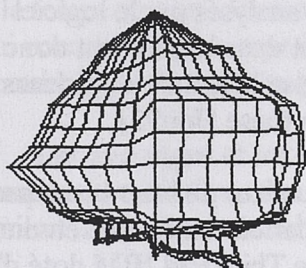
Ceci montre que même pour un haut-parleur, prendre des angles d'émission symétriques dans une simulation, est une simplification abusive du problème.



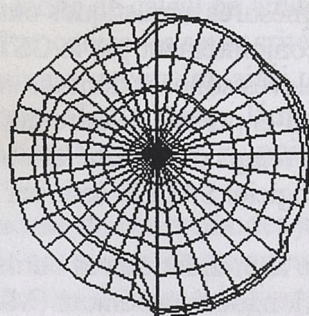
VUE DE FACE
 angle de rotation verti=horiz=00°
 Bande de fréquence = 100 Hz



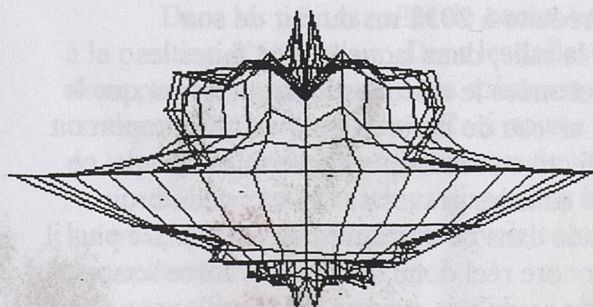
VUE DE DESSUS
 angle de rotation verti= -90° horiz=00
 Bande de fréquence = 100 Hz



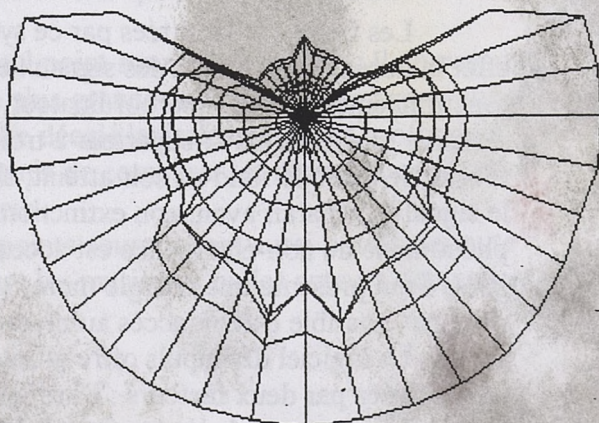
FACE
 angle de rotation verti= 00° horiz=00
 Bande de fréquence = 160 Hz



VUE DU DESSUS
 angle de rotation verti= -90° horiz=00
 Bande de fréquence = 160 Hz



VUE DE FACE
 angle de rotation verti= 00° horiz=00
 Bande de fréquence = 630 Hz



VUE DE DESSUS
 angle de rotation verti= -90° horiz=00
 Bande de fréquence = 630 Hz

III Mesures et relevés sur des salles de la CUB

Nous avons procédé à ces prises de données dans des familles de salles très différentes:

- des salles de classes de l'EAPBx
- une salle de théâtre pouvant être configurée pour la musique de chambre
- une salle aménagée pour des concerts symphoniques
- un théâtre du XVIIIème rénové en 1990

III-1 Principes et méthodes

III-1-1 Mesures acoustiques

Les mesures acoustiques ont été faites d'une part avec le logiciel dBImpuls développé conjointement par le CSTB et la société 01dB, et d'autre part avec une chaîne de relevés sonores dont les enregistrements sont analysés par le logiciel dBBati. Celui-ci permet de faire des mesures d'isolement dans le bâtiment donc d'accéder au temps de réverbération et un module autorise la lecture de fichiers créés à partir du logiciel SALLE écrit par Ph.Jouenne pour sa thèse [Jou92].

Avec le premier de ces outils on diffuse des séquences de bruit blanc pseudo-aléatoire de longueur maximum (MLS), grâce au haut-parleur autonome étudié précédemment, branché sur un microordinateur portable ThinkPad IBM doté d'une carte d'acquisition monovoie. Le traitement des signaux enregistrés peut se faire éventuellement sur le site.

A travers la réponse impulsionnelle de la salle, obtenue par la transformée d'Hadamard du signal reçu [Pel91], on accède à la plupart des critères objectifs couramment rencontrés dans la littérature [Sch65],[Jor69] et qui sont donnés par un grand nombre de logiciels prédictifs [Vor95]. On se reportera aux définitions données en annexe.

Les limites rencontrées par ce système est sa sensibilité au bruit de fond. En effet la durée d'acquisition des signaux est réduite à 2032 ms du fait de son fonctionnement sur un microordinateur. Si la salle, dans laquelle sont faites les mesures, présente un T_r supérieur à trois secondes le calcul est tronqué avant que le niveau de bruit de fond ne soit atteint; si le niveau de bruit de fond est trop important le signal y disparaît avant son extinction effective et fausse également les calculs: ce phénomène de non-émergence est accentué dans les graves par la nature du bruit généré qui présente une énergie moins grande dans ce domaine fréquentiel. De plus il n'est pas possible d'avoir accès au niveau sonore réel donc d'évaluer la force sonore.

Le logiciel dBImpuls offre plusieurs possibilités quant à l'échantillonnage déterminées par deux facteurs : l'ordre et la fréquence d'échantillonnage.

La séquence de bruit générée par le programme est de 'longueur' $2^{\text{Ordre}} - 1$ échantillons. Le temps de génération dépend de la fréquence d'échantillonnage.

Le choix de celle-ci est guidée par deux facteurs : la longueur du temps de réverbération et la bande de fréquence désirée. Plus le temps de réverbération estimé

est élevé plus l'ordre doit être grand et la fréquence faible. Plus la bande de fréquence se situe dans les aigus plus la fréquence doit être grande. On peut également, lorsque le bruit de fond est important, augmenter le nombre de séquences moyennées pour en réduire les conséquences (le doublement de ce paramètre diminue l'influence du bruit de fond de 3 dB). Cependant, les temps d'occupation des salles qui nous étaient alloués ne permettaient pas toujours d'utiliser cette option.

Avant toute mesure, il est donc nécessaire d'évaluer le temps de réverbération par une mesure d'essai d'un temps de génération le plus long possible. Il pourra éventuellement être diminué par la suite sans jamais dépasser le T_r de la mesure d'essai.

Dans le second cas on enregistre sur des magnétophones Sony de type DAT les signaux aux points d'écoute, la source étant constituée d'un générateur de bruit rose Ivie débitant sur le même haut-parleur autonome. Le système est de ce fait moins sensible aux problèmes liés au bruit de fond et le mode de calcul ne limite pas son utilisation à des salles de T_r relativement faible. Par contre les seuls critères obtenus sont le temps de réverbération sur une chute de niveau maximum, ainsi que sur 10 dB ce qui correspond au temps de décroissance précoce (Early Decay Time). On a également la possibilité d'acquiescer les niveaux de bruit de fond et au point d'écoute.

Les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes justifient l'utilisation systématique des deux outils dans une campagne de mesures. On trouvera en annexe les schémas des chaînes de mesures dans les deux cas de figure.

L'implantation des points d'écoute dépend de la volumétrie générale de la salle. Dans le cas d'une salle symétrique, nous pouvons installer les microphones sur la moitié de la salle en ajoutant tout de même sur l'autre moitié quelques points pour vérifier la symétrie du champ sonore. Nous veillons à répartir uniformément les points de mesure dans la salle.

Nous avons pu vérifier que, l'implantation d'un nombre excessif de points de mesures dans les petites salles n'apportait pas une plus grande précision dans les résultats. Nous nous sommes contentés de trois voire quatre points de mesures.

Dans les petites salles de cours, un seul point source a été utilisé. Il correspond à la position d'un orateur. Dans les salles de plus grande envergure nous avons utilisé deux points: un au centre de la scène, un autre décalé latéralement et en profondeur ou dans la fosse d'orchestre. Ceci nous a permis de comparer les réponses en fonction de la position de l'instrumentiste ou de l'acteur.

En fonction du temps disponible les points sources sont aussi points d'écoute les uns pour les autres afin de savoir comment les musiciens ou les acteurs s'entendent mutuellement.

III-1-2 Relevé architectural

Il est des cas où nous ne disposons pas de l'ensemble des documents architecturaux concernant une salle, d'autres où il est indispensable de posséder des informations qui ne sont pas sur les plans, coupes....

Nous avons alors recours à une chaîne de photogrammétrie portable Rollei, complétée par un équipement de topographie classique (théodolite et télémètre laser). Le montage de l'ensemble est schématisé dans la feuille ci-après.

Le principe d'utilisation est le suivant :

On repère des points naturels ou marqués par des cibles fixées par nos soins, qui servent de points de calage pour l'étude.

On calcule par la suite les coordonnées X, Y, Z qui sont prises comme références dans le dépouillement des clichés.

Parallèlement on photographie à l'aide de la chambre métrique calibrée, sous des angles de prise de vue convergents les différentes parties du projet à reconstituer.

Les tirages sont exploités à partir d'une table à digitaliser par un module du logiciel MR2 qui permet de traiter plusieurs clichés simultanément par "ajustement de faisceaux" et de corriger par auto-étalonnage les défauts résiduels des appareils de prise de vues.

La salle est restituée par un autre module de ce même logiciel.

Les données récupérées dans un fichier au format DXF peuvent soit venir compléter un document Autocad, soit former le projet dans son entier transformable en volume par le module AME.

La suite de la procédure est décrite dans le chapitre IV portant sur la modélisation.

On présente sous forme de planche contact un exemple de projet.

L'avantage d'une telle méthode est sa simplicité de mise en oeuvre, sa relative rapidité d'utilisation sur le site et la constitution par l'archivage des clichés d'un potentiel important d'informations qui peut être exploité ultérieurement.

La richesse de la couverture photogramétrique d'une salle nous impose une sélection judicieuse des paramètres architecturaux pertinents à prendre en compte dans une étude acoustique.

TRACEUR

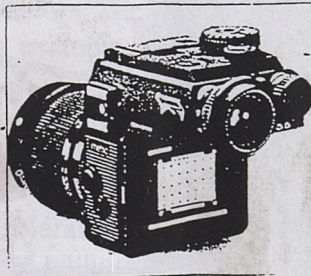
Télémétrie électronique

Théodolite
de précision

Carnet électronique.

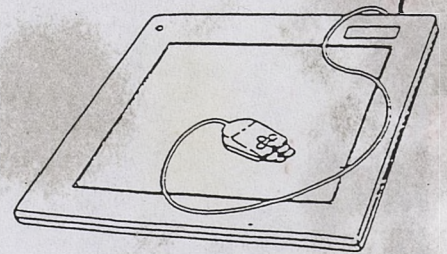
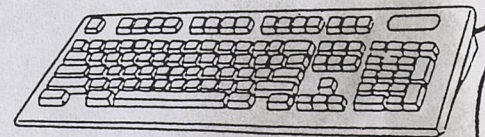
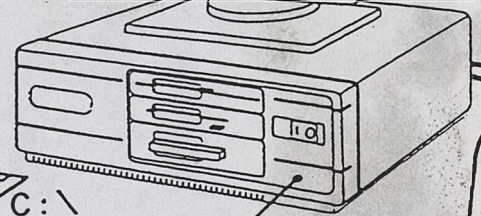
TRANSFORMATION FICHIER
XYZ

Prise de vues
Caméra métrique
avec grille-réseau intégrée



Transfert
Fichier DXF

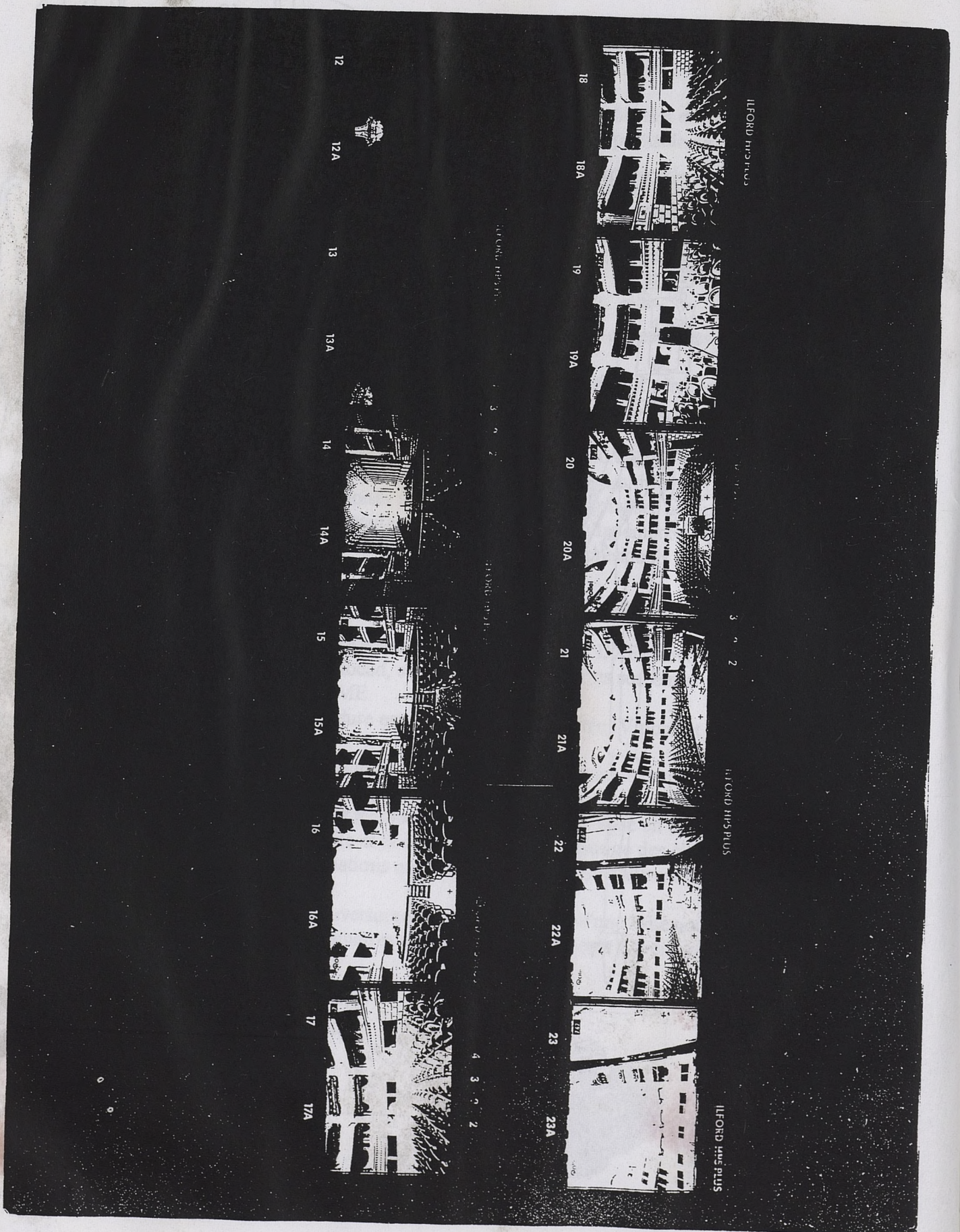
AUTOCAD
(Dessin)
DXF / DWG



Système de restitution MR 2

Digitaliseur de précision

Planche contact GTB projet salle côté jardin



III-2 Dépouillement et observations

Si on se réfère aux remarques du § II-1 sur les caractéristiques des sources sonores, on peut noter que le haut-parleur DSM Nagra présente un manque de puissance qui est pénalisant lorsqu'il s'agit de faire des mesures dans des salles de grand volume et ce d'autant plus que le niveau de bruit de fond est élevé (ce qui est le cas pour le Palais des Sports par exemple).

On a vu que ce problème est plus important pour l'utilisation de dBImpuls.

Ceci explique la difficulté à déterminer les valeurs des critères dans les bandes de fréquence 125 Hz et 250 Hz.

L'analyse des mesures avec dBImpuls se fait en deux parties : le calcul de critères et le calcul du STI et du RASTI. Plusieurs options de calcul sont sélectionnables : calcul avec ou sans bruit, modification des indices de clarté et de définition, prise en compte du rapport signal sur bruit dans les calculs des STI et RASTI, ...

Lorsque les critères sont calculés sans bruit, cela signifie que le programme a évalué le bruit dans la réponse impulsionnelle et l'a soustrait de toute la réponse avant de calculer ces critères. Pour que cette évaluation puisse se faire correctement, il faut qu'au moins le dernier dixième de la réponse soit du bruit, ce qui peut poser des problèmes pour de longs temps de réverbération.

Huit critères sont ainsi calculés :

- le temps de réverbération à 60 dB (T_r): il est calculé automatiquement à partir de la décroissance sans bruit entre -5 et un des derniers points avant la chute de la courbe. Il est modifiable manuellement dans le cas de problèmes complexes à deux pentes.

- le temps de décroissance précoce à 10 dB (EDT) : il est calculé de la même manière mais entre 0 et -10 dB et ramené à 60 dB.

- la clarté à 80 ms (C80) : les bornes d'intégration de ce paramètre sont adaptables de même que la détection du signal direct. Les bornes sont de ± 100 dB.

- la définition à 50 ms (D50): même remarque que précédemment. Sa valeur plafond est de 100 %.

- le rapport signal sur bruit de Lochner et Burger (S/N) : les valeurs limites sont de ± 100 dB.

- E1000 ou Etot : Intégrale de l'énergie par bande d'octave relative à celle de la bande 1 kilohertz ou 'pseudo-absolue'.

- STI, RASTI : Leur valeur maximum est l'unité.

Dans le présent rapport nous prendrons comme convention d'assimiler les critères à ces valeurs. De plus, les critères s'entendent tels qu'ils sont calculés par dB Impuls (par exemple, la clarté est celle calculée à 80 ms).

Les temps de réverbération optimums sont ceux donnés dans [Lam75].

Les valeurs de la clarté seront considérées comme excellentes pour la musique au voisinage de 0, ce qui semble être suffisant même dans les passages musicaux critiques. Une tolérance, dans les limites de [-3,+3] paraît acceptable, conformément à quelques sources bibliographiques [Jor80], [Kut79].

Les valeurs du D50 peuvent s'apprécier de la manière suivante[Auz94]:

D50	0 à 30%	30 à 45 %	45 à 60 %	60 à 75 %	75 à 100%
Définition	Mauvaise	Pauvre	Moyenne	Bonne	Excellente

On peut procéder de la même manière pour le STI et le RASTI :

STI ou RASTI	0 à 0,30	0,30 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 0,75	0,75 à 1
Intelligibilité	Mauvaise	Pauvre	Moyenne	Bonne	Excellente

Nous présentons ici des résultats pour :

- la salle des Quatre Saisons en configuration théâtre
- le Palais des Sports (scène rectangulaire)
- le Grand Théâtre de Bordeaux fosse ouverte
- certaines salles de classe de l'EAPBx

III-2-1 Théâtre des Quatre Saisons (configuration théâtre)

Elle est située dans la commune de Gradignan près de Bordeaux; on dispose des informations suivantes :

Réalisation :	1989-1990		
Surface de salle :	405 m ²		
Surface de scène :	148 m ² (musique)	210,8 m ² (théâtre)	
Volume Total :	3900 m ³ (musique)	5400 m ³ (théâtre)	
Jauge :	404 Places		
	~9,7 m ³ /Places	(musique)	
	~13,4 m ³ /Places	(théâtre)	
Ouverture de scène :	16 m x 8 m au maximum		
Equipements annexes :	Foyer Forum modulable (réunions, expositions...)		
Architecte :	Mme Gonfreville / MM. Arsène-Henry-Triaud		
B.E.T. :	Eccta		
Acousticien :	Commins bbm		
Scénographe :	MM François-Manoury-Guignard / Scène		
Configurations possibles :	Concert, Théâtre		

Destination de la salle : Orchestre musique de chambre, Théâtre, Congrès

Descriptif matériaux

Sol Parquet en bois ep = 22 mm (plénum ep = 70 mm)
Murs Panneaux contreplaqué bois (en partie de forme pyramidale)
lisse ou perforé + l.m. 50 mm
Plafond Panneaux en contreplaqué bois (ep = 40 mm)
Mobilier Sièges en tissu présentant un a_s identique pour les
sièges occupés ou vides

Les documents iconographiques et architecturaux sont présentés ci-après.

□ **Données acoustiques:**

Relevé dB Impuls :

Nombre de points de mesures	12 (Source 1) 12 (Source 2)
Nombre de point(s) source(s)	2
Micros utilisés	Micro Cirrus MK24 01dB
Source utilisée	Nagra DSM Monitor
Ordre de la séquence	15
Fréquence d'échantillonnage	16 kHz

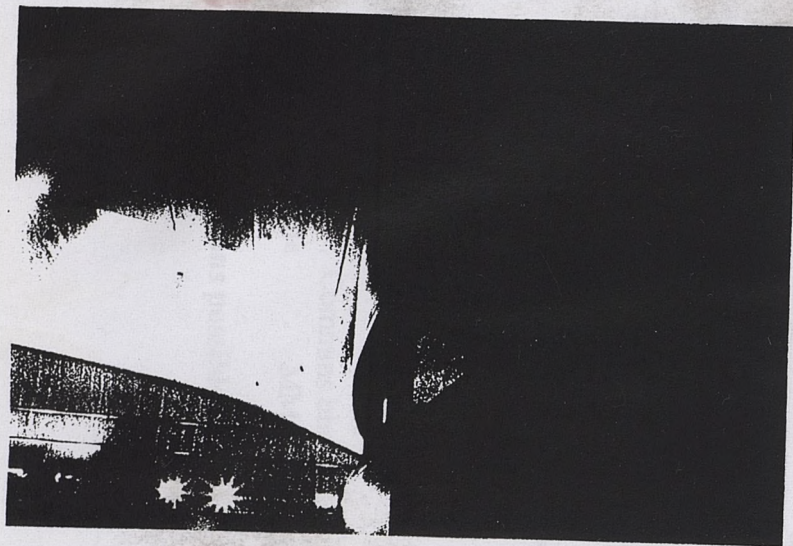
Temps de réverbération moyens :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tr Mesuré Source 1	1,04	0,84	0,82	0,76	0,73	0,68
Tr Mesuré Source 2	1,02	0,87	0,83	0,78	0,72	0,70
Tr Optimum	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

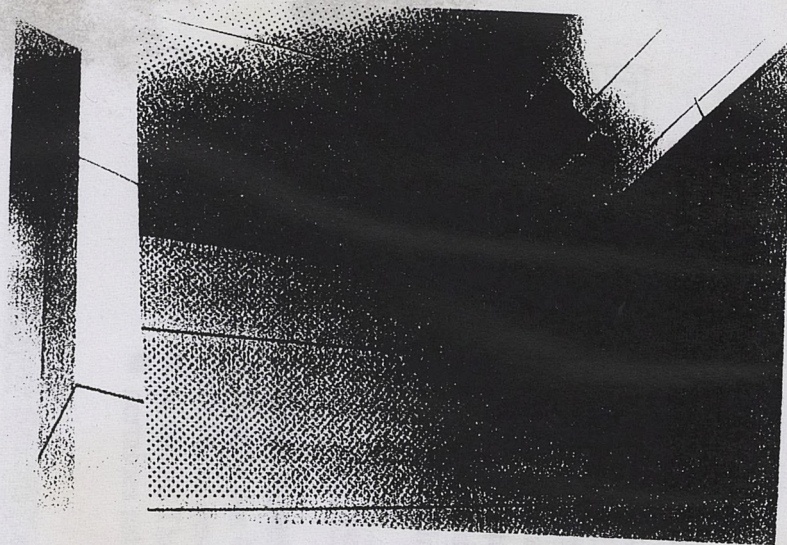
(Voir tableaux de mesure correspondants)

THEATRE DES QUATRE SAISONS

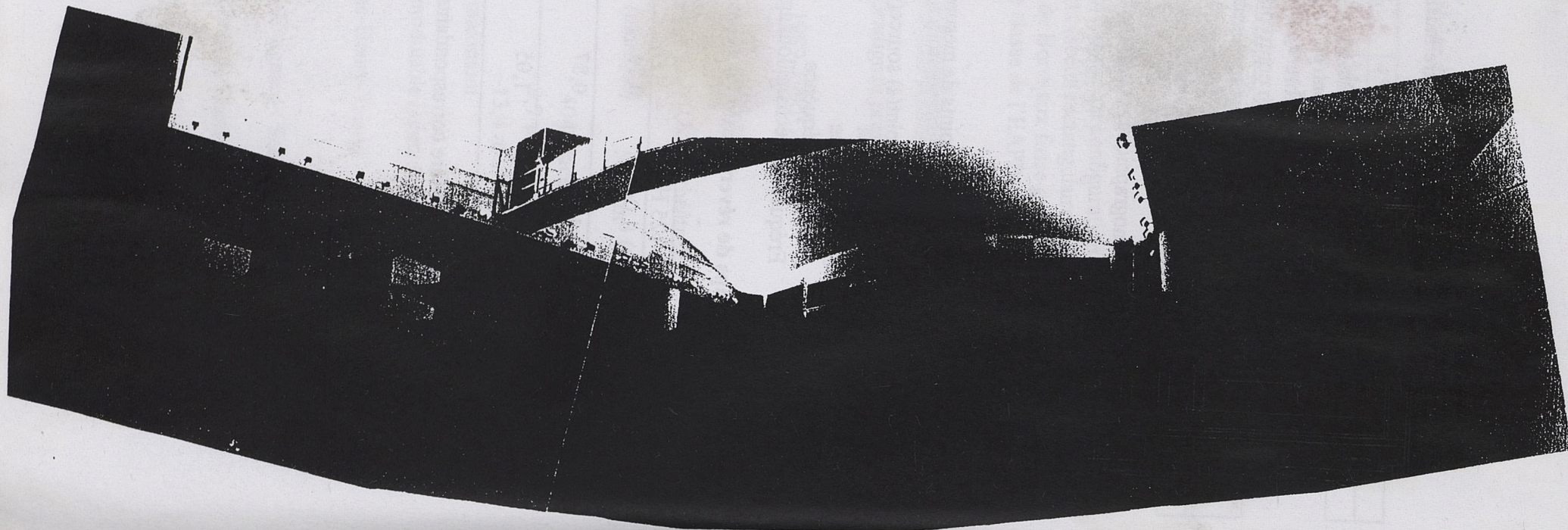
GRADIGNAN (Gironde)

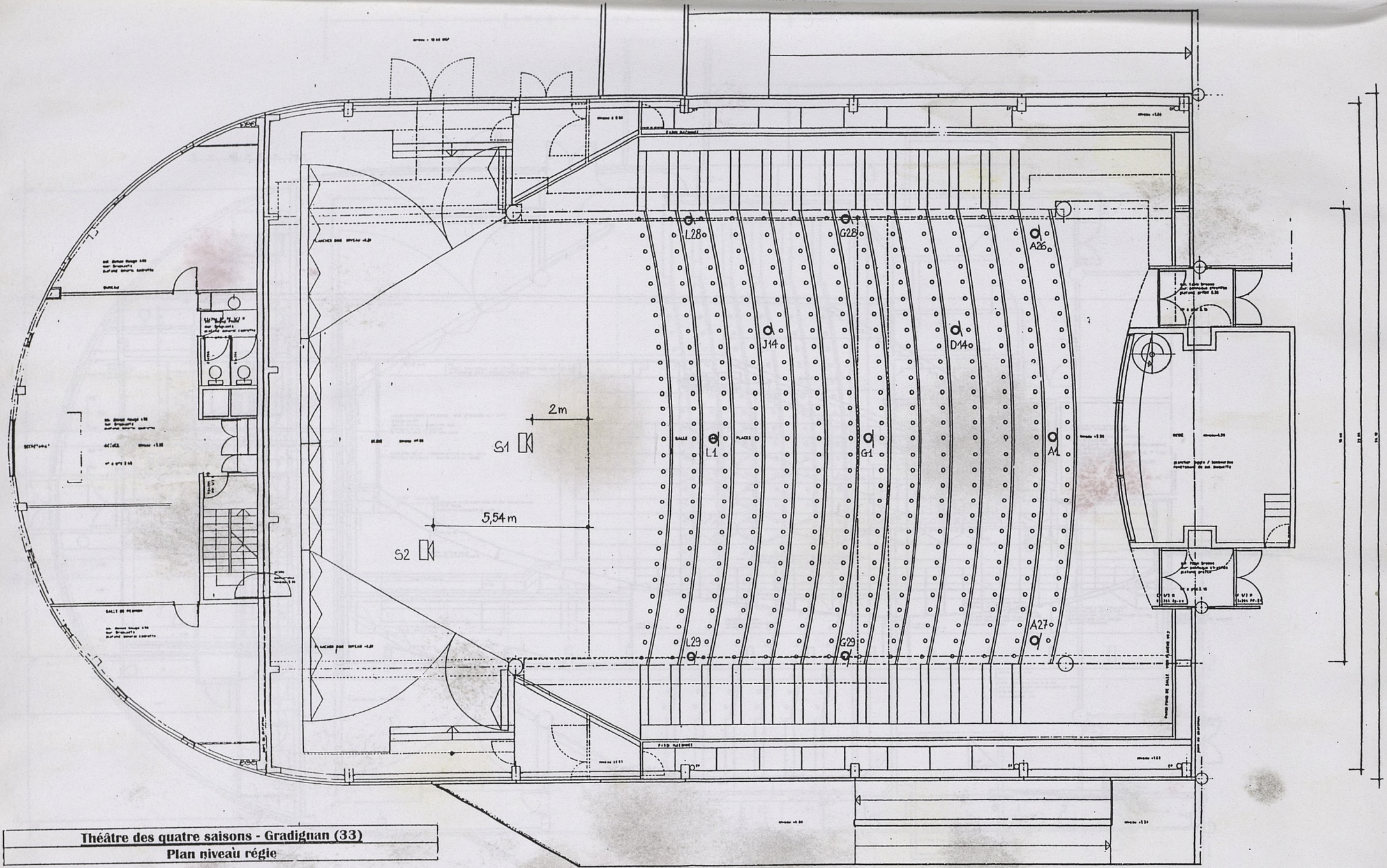


En fond de salle, la régie.

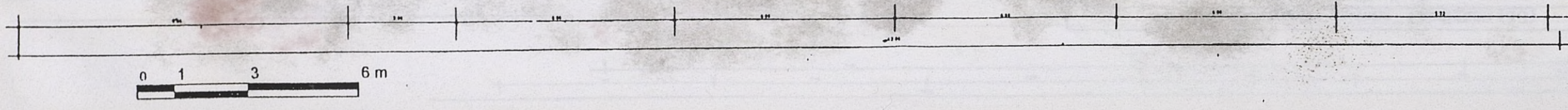


En fond de salle, revêtement mural et au plafond en bois perforé.

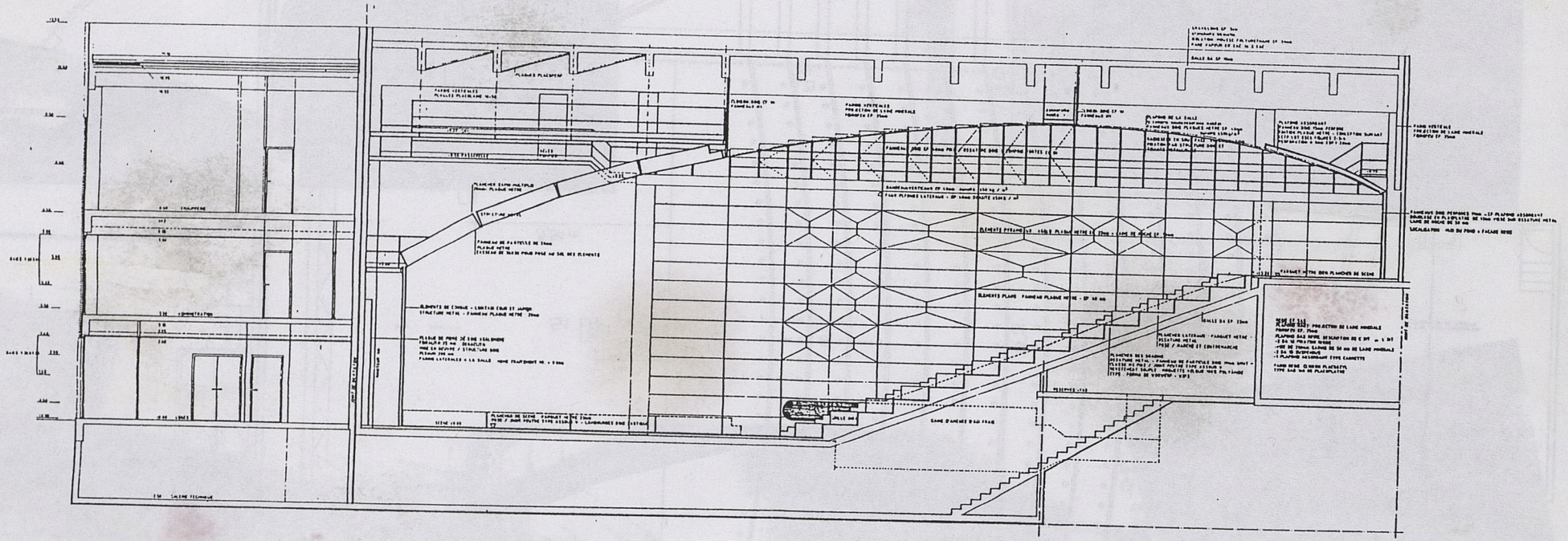
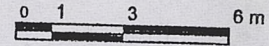


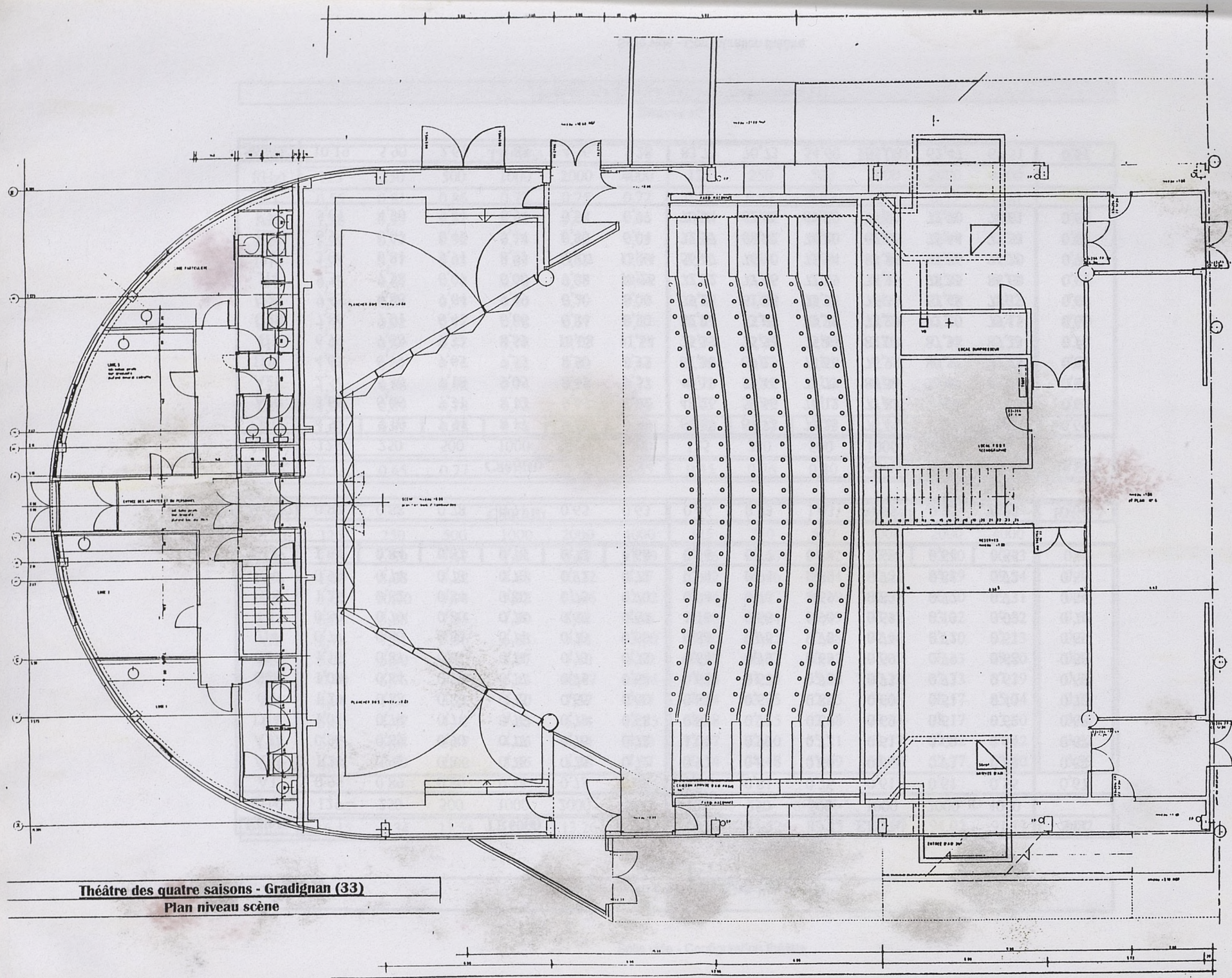


Théâtre des quatre saisons - Gradignan (33)
Plan niveau régie



Théâtre des quatre saisons - Gradignan (33)
Coupe longitudinale





Théâtre des quatre saisons - Gradignan (33)
Plan niveau scène

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)

Source n° 1

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI	
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000		
A1	0,95	0,89	0,80	0,78	0,73	0,68	0,84	0,81	0,76	0,61	0,61	0,56	0,67	
A26	1,24	0,92	0,88	0,78	0,75	0,72	0,97	0,84	0,66	0,66	0,73	0,58		
A27	0,96	0,89	0,90	0,77	0,76	0,72	1,01	0,93	0,72	0,61	0,60	0,54		
D14	1,01	0,78	0,77	0,76	0,79	0,68	0,84	0,72	0,69	0,69	0,61	0,62		
G1	1,29	0,85	0,83	0,75	0,65	0,60	0,67	0,65	0,82	0,60	0,51	0,40		
G28	1,08	0,84	0,79	0,77	0,75	0,64	0,64	0,67	0,74	0,73	0,73	0,61		
G29	1,15	0,87	0,81	0,74	0,73	0,73	0,64	0,79	0,65	0,69	0,79	0,68		
J14	0,77	0,86	0,83	0,71	0,73	0,59	0,86	0,75	0,75	0,74	0,72	0,51		
L1	0,80	0,79	0,80	0,78	0,67	0,67	1,16	0,66	0,90	0,63	0,13	0,09		
L28	1,25	0,82	0,84	0,80	0,75	0,70	0,94	0,76	0,69	0,83	0,77	0,73		
L29	0,90	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,94	0,94	0,80	0,75	0,81	0,72		
MOY	1,04	0,84	0,82	0,76	0,73	0,68	0,86	0,77	0,74	0,69	0,64	0,55		

Source2	0,92	0,88	0,78	0,71	0,65	0,63	0,46	0,73	1,03	0,95	0,93	0,92	0,62
---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
A1	4,52	5,16	7,54	8,17	8,63	9,39	61,89	67,73	73,23	76,61	78,21	80,25	0,69
A26	3,66	6,06	7,31	8,12	6,56	8,82	43,26	59,56	74,12	77,87	70,80	77,82	0,66
A27	2,54	5,40	7,18	9,05	8,45	9,57	40,19	55,46	70,79	80,36	76,84	81,37	0,67
D14	4,67	6,79	7,65	7,55	8,50	8,35	61,30	69,25	74,66	76,93	80,57	79,28	0,69
G1	6,79	7,68	7,33	8,59	10,08	11,54	75,39	75,52	75,43	82,04	87,38	89,13	0,70
G28	7,86	7,01	6,41	6,86	6,84	8,50	82,24	73,69	70,78	73,29	72,20	79,15	0,66
G29	7,55	4,86	7,64	7,49	6,20	8,00	79,23	61,88	75,36	76,33	67,48	78,19	0,66
J14	5,34	7,38	6,07	6,60	7,08	10,25	72,22	77,06	72,99	74,12	78,35	86,60	0,67
L1	3,06	6,81	5,91	8,95	14,07	13,84	56,47	76,70	72,54	83,86	93,76	94,20	0,76
L28	6,99	6,07	6,49	5,14	6,80	6,04	72,27	68,42	74,20	62,66	75,44	73,53	0,67
L29	5,01	4,30	5,41	6,94	5,58	6,97	70,94	62,96	69,80	75,92	72,70	78,61	0,65

Source2	10,19	5,90	2,67	4,83	4,36	5,28	83,71	70,73	54,60	65,08	62,47	67,51	0,57
---------	-------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)

Source n° 2

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
A1	0,55	0,91	0,86	0,73	0,75	0,72	0,58	0,67	0,62	0,69	0,55	0,36	0,66
A26	1,38	0,95	0,87	0,91	0,67	0,86	1,21	0,60	0,62	0,61	0,49	0,62	0,60
A27	1,22	0,77	0,92	0,74	0,72	0,65	0,89	0,48	0,51	0,51	0,44	0,38	0,65
D14	1,27	0,77	0,63	0,83	0,65	0,68	0,61	0,84	0,91	0,73	0,58	0,68	0,61
G1	0,40	0,81	0,78	0,70	0,63	0,64	0,77	0,71	0,60	0,70	0,58	0,30	0,64
G28	0,94	0,84	0,93	0,80	0,79	0,74	0,72	0,85	0,72	0,69	0,72	0,62	0,68
G29	1,12	0,92	0,77	0,78	0,67	0,67	1,15	0,70	0,74	0,78	0,51	0,47	0,70
J14	1,02	0,89	0,87	0,78	0,72	0,71	0,90	0,98	0,88	0,80	0,70	0,59	0,67
L1	1,14	0,97	0,76	0,83	0,80	0,65	1,30	0,87	1,03	0,72	0,79	0,12	0,72
L28	1,11	0,88	0,92	0,74	0,78	0,73	0,92	0,85	1,00	0,98	0,80	0,82	0,63
L29	1,05	0,89	0,78	0,73	0,76	0,70	1,05	0,87	1,07	0,91	0,89	0,88	0,62
MOY	1,02	0,87	0,83	0,78	0,72	0,70	0,92	0,77	0,79	0,74	0,64	0,53	

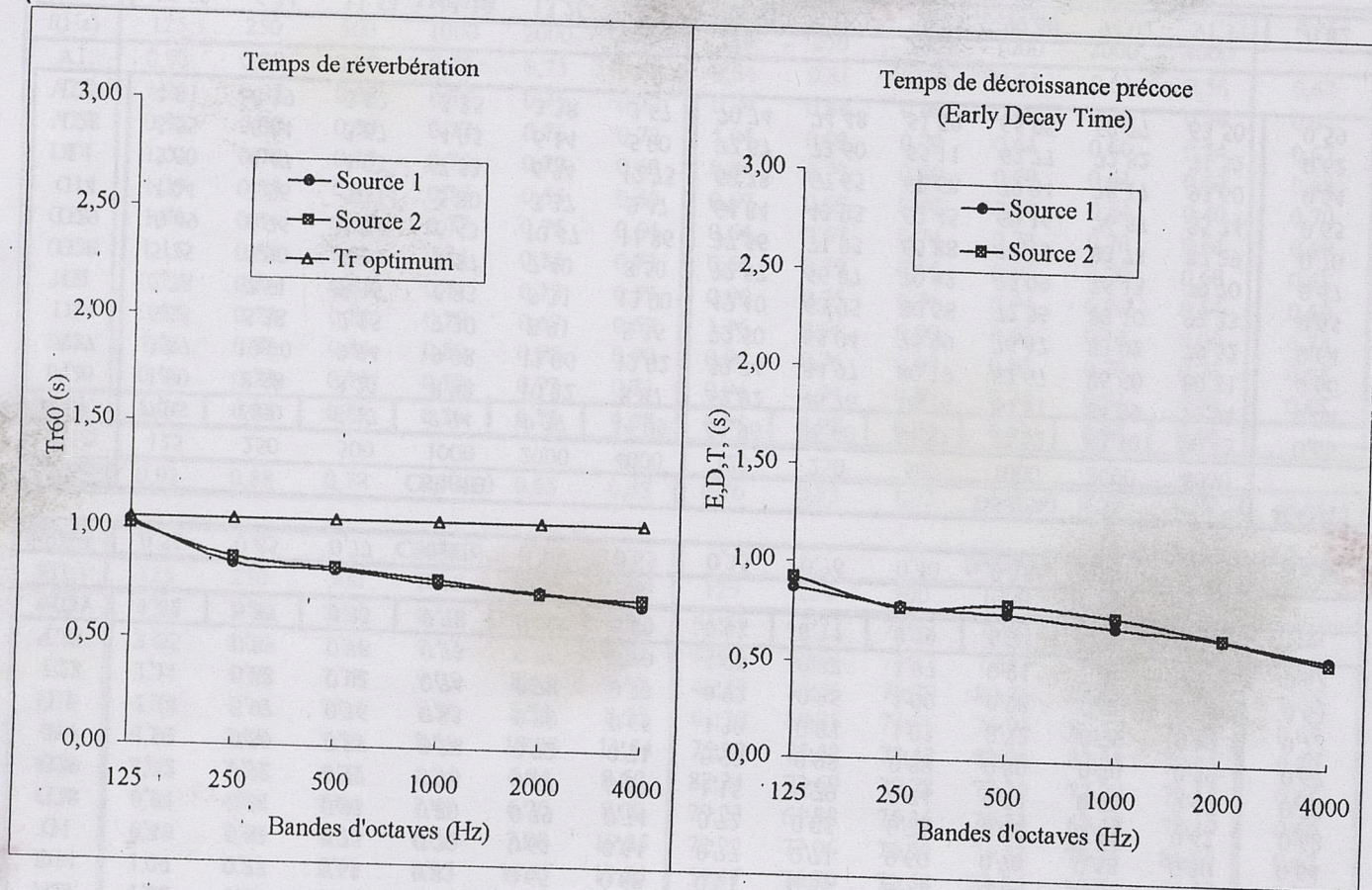
Source 1	0,51	0,65	0,77	0,67	0,76	0,65	0,35	0,76	0,40	0,38	0,20	0,34	0,77
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
A1	7,95	6,59	9,17	7,94	9,37	11,99	51,96	76,60	84,82	77,52	82,30	90,43	0,65
A26	1,80	8,68	8,22	8,88	10,22	8,87	52,02	76,76	78,74	80,51	84,89	79,94	0,64
A27	3,67	10,00	9,94	9,98	11,06	12,02	52,74	84,97	80,19	82,67	86,60	89,31	0,66
D14	6,63	5,38	7,55	7,30	8,91	8,36	72,50	65,04	75,99	76,42	83,02	79,52	0,64
G1	2,78	7,51	8,36	6,83	9,31	13,00	49,40	63,95	80,68	72,56	83,10	92,23	0,65
G28	5,75	5,90	6,40	7,57	7,40	8,50	72,57	56,87	70,82	75,09	76,13	79,70	0,67
G29	-0,49	6,76	5,85	6,43	10,47	11,86	37,56	71,95	65,88	70,13	83,73	87,29	0,70
J14	4,04	1,96	5,21	5,80	7,37	9,47	64,84	43,95	62,45	69,16	76,57	85,74	0,65
L1	5,60	4,47	4,03	7,53	6,94	12,75	68,38	67,65	62,68	79,84	78,17	93,60	0,64
L28	5,55	6,84	3,67	4,05	6,14	5,00	72,67	72,60	55,11	62,77	72,82	71,52	0,62
L29	4,81	6,39	2,02	3,85	3,38	3,67	70,74	74,48	51,59	65,98	62,77	63,50	0,59

Source 1	16,45	6,34	11,54	11,18	13,26	11,53	89,50	72,52	89,23	90,50	94,02	91,11	0,82
----------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)

Sources n° 1 & 2



□ Observations

Cette salle peut offrir deux configurations différentes correspondant chacune à une fonction particulière :

- la première, destinée aux concerts qui demandent une scène de 150m² seulement, des parois et un plafond réfléchissant, constitue un auditorium avec sa conque acoustique. C'était l'usage principal défini par le programme au départ.

- la seconde, destinée au théâtre, nécessitant une scène de plus de 200 m² largement ouverte (16 x 8 m), un volume surplombé d'un faux gril permettant de suspendre et d'accrocher les décors et équipements scéniques, ne bénéficie cependant pas d'une véritable cage de scène ni d'un dessous de scène.

Le passage d'une configuration à une autre se fait par l'ouverture des parois de la conque et la descente du plafond jusqu'au niveau du plateau pour créer un plancher scénique surélevé. Ainsi, la sous-face du faux gril est libérée permettant l'installation des équipements scéniques. Cette opération nécessite tout de même 3 jours de manutention.

En milieu de salle, une passerelle technique escamotable peut être utilisée pour l'accrochage de projecteurs. Latéralement, au-dessus des premières places de parterre, des panneaux amovibles permettent d'accéder par une galerie technique dissimulée à des projecteurs ponctuels.

Cependant, quelques petites améliorations pourraient être apportées :

- une liaison directe entre le gril et la scène au moyen d'un escalier serait utile pour la manoeuvre de matériel
- des aires spécifiques de stockage seraient nécessaires pour simplifier le changement de configuration (rangement du matériel d'éclairage et des suspentes).

Le bois mis en oeuvre sur la quasi - totalité de la salle et les fauteuils confortables créent une ambiance feutrée et chaleureuse. L'agencement en léger amphithéâtre, la présence de diffuseurs latéraux de forme pyramidale et d'un plafond en voûte concourent à créer le plus grand confort visuel et acoustique des spectateurs.

Il faut noter que le volume a été calculé avec la cage de scène ce qui donne un rapport m³/personne plus important dans la configuration théâtre que pour l'auditorium.

□ Temps de réverbération et temps de réverbération précoce (EDT)

L'allure de la courbe de Tr ne correspond pas tout à fait à celle requise pour une salle destinée à la voix parlée. On peut noter que les valeurs du Tr sont globalement trop faibles même pour la configuration qui nous intéresse ici.

Le temps de décroissance précoce est dans l'ensemble légèrement plus faible (~0,10 secondes) mais conserve la même allure ce qui traduit une bonne diffusion du champ sonore.

Cette salle est donc un peu trop sèche dans cette configuration.

La position de la source a très peu d'influence sur les temps de réverbération et de décroissance précoce.

□ Clarté et définition

La définition est plutôt bonne (à de rares exceptions près supérieure à 60 %). Elle semble meilleure au centre de la salle où elle atteint les 90 % dans les aigus. Ici également, la position de la source ne modifie pas énormément les résultats.

□ STI et RASTI

L'intelligibilité de la parole paraît un peu trop moyenne pour une salle de théâtre. Les pendrillons, en grand nombre, sont peut être un peu trop absorbants (Ces critères ont des valeurs plus faibles dans le cas de la source 2 où les pendrillons ont plus d'influence directe).

□ Données acoustiques

Relevé dB Bâti

Nombre de points de mesures 12 pour les deux sources
Source générateur bruit rose débitant sur Nagra DSM

Nous présentons en suivant les résultats concernant le temps de réverbération et le temps de réverbération précoce, ainsi que les valeurs du niveau sonore par bande d'octave aux points de réception.

Points	Source en S1 - Niveau en dB						Source en S2 - Niveau en dB					
	f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000
A01	59	60	70	70	69	69	56	57	65	67	67	69
A26	55	58	67	69	68	69	55	57	66	67	68	69
A27	55	58	67	70	68	69	57	60	67	70	70	68
D14	61	61	69	70	70	70	59	59	67	68	68	68
G01	62	63	71	71	73	74	59	59	67	68	68	68
G28	60	61	69	69	69	70	58	58	65	67	68	67
G29	61	62	70	72	71	71	58	59	67	68	72	72
J14	61	63	71	71	71	74	59	57	65	68	68	70
L01	63	65	72	74	77	78	60	59	65	70	67	73
L28	59	60	69	68	70	71	57	56	63	66	67	67
L29	61	60	70	71	70	71	59	58	64	69	68	67
PtSce	64	60	66	67	65	67	65	61	72	74	74	72

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)

Source n° 1

Points f(Hz)	TR60 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
A01	1,26	0,91	0,84	0,89	0,91	0,83
A26	1,51	0,97	0,99	0,92	0,88	0,77
A27	1,53	0,92	1	0,85	0,88	0,83
D14	-	0,92	0,95	0,96	0,92	0,89
G01	-	1,03	0,97	0,99	0,83	0,82
G28	1,02	0,96	1	0,89	0,87	0,85
G29	-	1,05	1,04	0,95	0,87	0,86
J14	-	0,9	0,91	0,9	0,96	0,82
L01	-	0,94	0,88	0,9	0,88	0,81
L28	1,27	1	1,04	0,89	0,87	0,85
L29	-	1,04	1,02	0,91	0,91	0,95
MOY	1,32	0,97	0,97	0,91	0,89	0,84

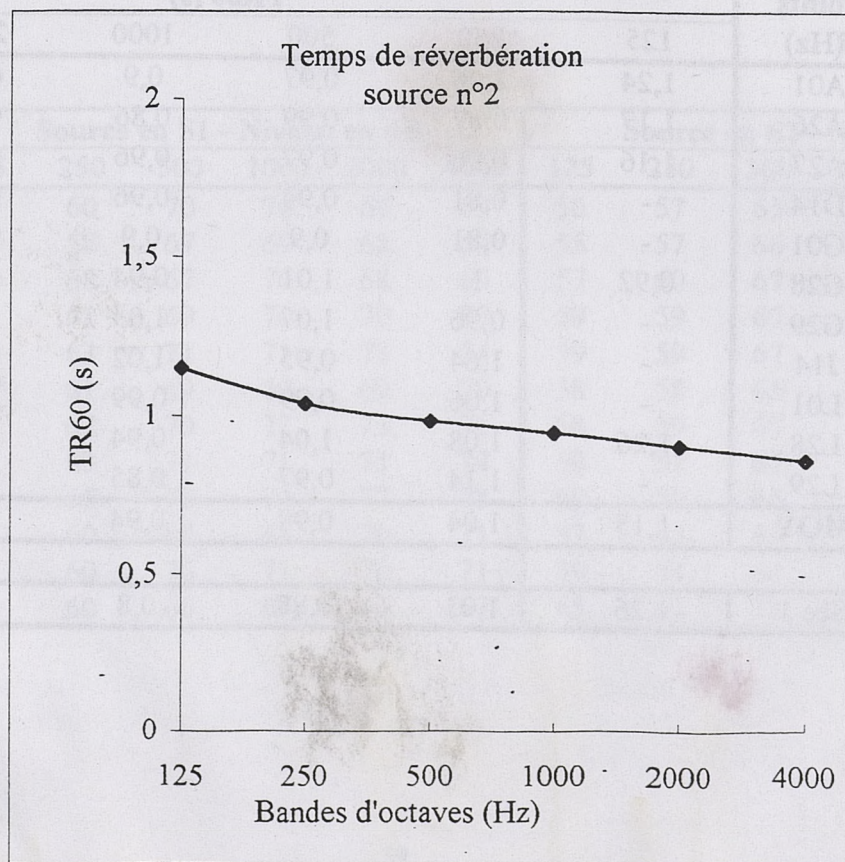
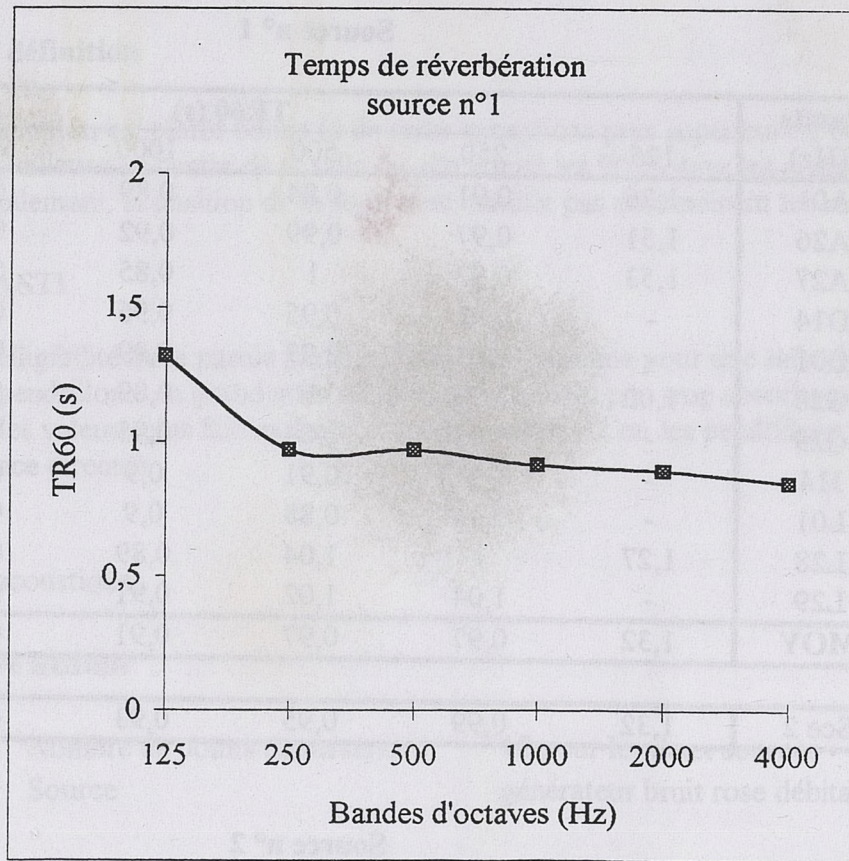
Scé 2	1,32	0,99	0,95	0,93	0,85	0,73
--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Source n° 2

Points f(Hz)	TR60 (s)					
	125	250	500	1000	2000	4000
A01	1,24	1,06	0,97	0,9	0,82	0,8
A26	1,17	0,87	0,99	0,86	0,89	0,8
A27	1,16	0,96	0,97	0,96	0,88	0,8
D14	-	0,81	0,94	0,96	0,98	0,9
G01	-	0,81	0,9	0,9	0,89	0,88
G28	0,92	1	1,01	0,94	0,88	0,86
G29	-	0,96	1,07	1,05	0,9	0,84
J14	-	1,64	0,95	1,02	0,97	0,91
L01	-	1,06	0,99	0,99	0,94	0,91
L28	1,26	1,08	1,04	0,94	0,85	0,86
L29	-	1,14	0,97	0,85	0,92	0,87
MOY	1,15	1,04	0,98	0,94	0,90	0,86

Scé 1	1,26	1,03	0,88	0,8	0,76	0,73
--------------	-------------	-------------	-------------	------------	-------------	-------------

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)



Salle vide - Configuration théâtre

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)

Source n°1

Points	EDT (s)						
	f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
A01		1,06	0,85	0,72	0,69	0,61	0,65
A26		1,26	0,86	0,92	0,89	0,57	0,51
A27		1,09	0,83	0,98	0,82	0,71	0,48
D14		-	0,9	0,77	0,8	0,85	0,64
G01		-	0,48	0,81	0,6	0,61	0,41
G28		0,94	0,93	0,59	0,86	1	0,67
G29		-	1,05	0,52	0,72	0,82	0,79
J14		-	0,6	0,82	0,76	0,77	0,38
L01		-	0,86	0,95	0,7	0,36	0,24
L28		1	0,84	0,57	1,19	1,11	0,75
L29		-	1,1	0,8	0,83	1,07	0,68
MOY.		1,07	0,85	0,77	0,81	0,77	0,56

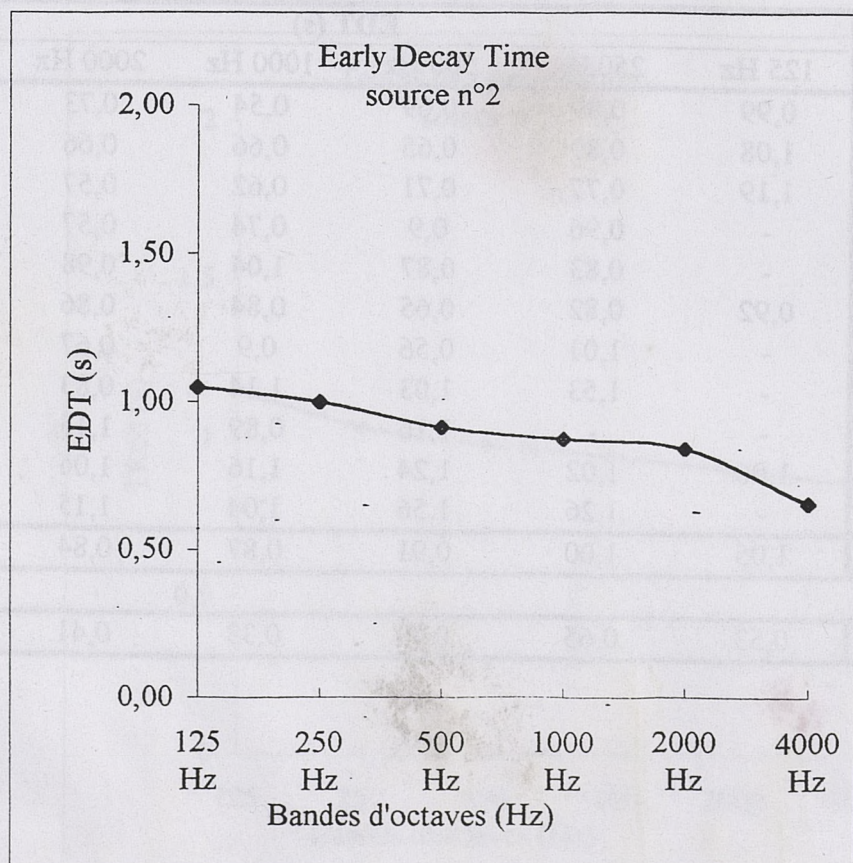
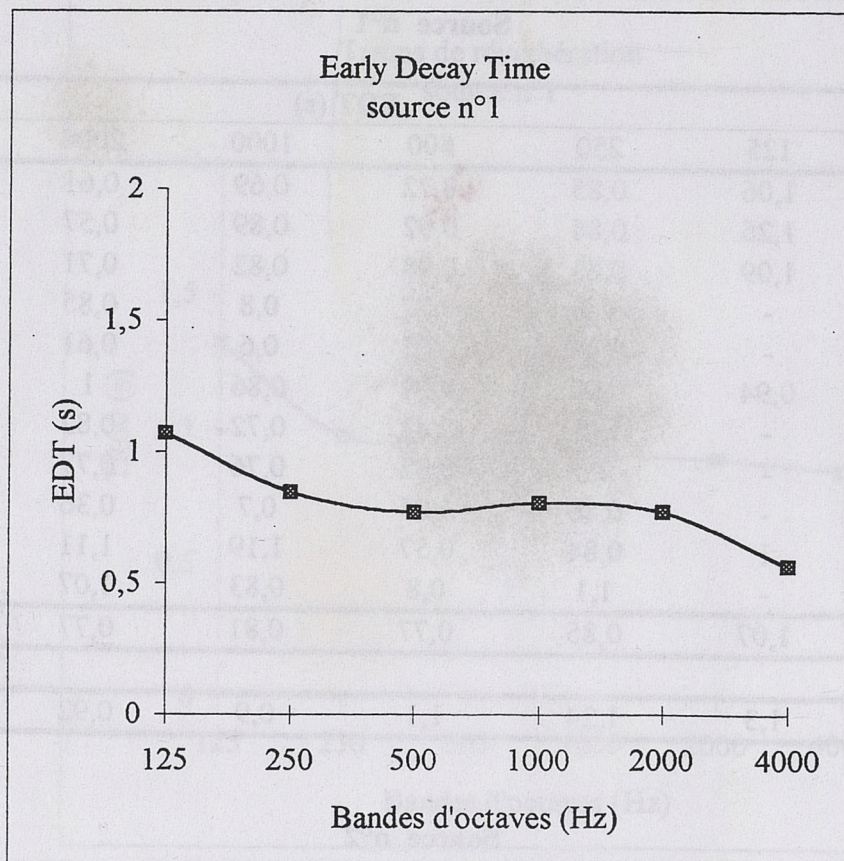
Sc2	1,3	1,24	1,1	0,9	0,92	1,08
-----	-----	------	-----	-----	------	------

Source n°2

Points	EDT (s)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A01	0,99	0,89	0,69	0,54	0,73	0,35
A26	1,08	0,89	0,65	0,66	0,66	0,42
A27	1,19	0,77	0,71	0,62	0,57	0,66
D14	-	0,96	0,9	0,74	0,57	0,52
G01	-	0,83	0,87	1,04	0,98	0,74
G28	0,92	0,82	0,65	0,84	0,86	0,67
G29	-	1,01	0,56	0,9	0,67	0,65
J14	-	1,53	1,03	1,14	0,83	0,72
L01	-	-	1,16	0,89	1,15	0,35
L28	1,06	1,02	1,24	1,16	1,06	0,82
L29	-	1,26	1,56	1,04	1,15	1,28
MOY.	1,05	1,00	0,91	0,87	0,84	0,65

Sc1	0,53	0,65	0,73	0,33	0,41	0,46
-----	------	------	------	------	------	------

Théâtre des Quatre Saisons (Gradignan 33)



□ Observations

On peut remarquer que les valeurs du T_r obtenues avec dB \hat{B} ati sont légèrement supérieures à celles que l'on a avec dBImpuls, et se rapprochent du temps de réverbération optimum.

Celles du temps de réverbération précoce sont très proches, ce que l'on a déjà observé avec dBImpuls.

Les valeurs des niveaux relevés en chaque point d'écoute mettent en évidence une bonne homogénéité du champ sonore ce que corrobore l'aspect compact de l'espace intérieur de cette salle.

III-2-2 Palais des Sports (configuration auditorium)

Réalisé vers 1970, il a été utilisé dans sa destination première pendant une dizaine d'années. La capacité du Grand Théâtre n'étant plus suffisante pour accueillir l'ensemble des abonnés de l'ONBA, la salle a été aménagée une première fois pour une double utilisation, puis une seconde, qui est la version actuelle avec une possibilité de mise en place d'une fosse à niveau pour l'opéra à gros effectifs.

Pour cette étude la scène est constituée d'une estrade de forme rectangulaire de 60 cm de hauteur.

Les informations dont nous disposons sont les suivantes :

Réalisation :	1970
Réaménagement :	1988
Surface de la salle (scène incluse):	~ 1400 m ²
Surface de scène :	190 m ²
Volume total (arrière scène incluse):	~17000 m ³
Volume de la salle :	9300m ³
Jauge :	1400 Places (~12 m ³ /Place)
Ouverture de scène :	16 m(L) x 9 m(H) au maximum
Equipements annexes :	"Foyer coursive"
Architecte :	B. Trinqué (Rénovation)
Acousticien :	Un aménagement ponctuel (panneaux acoustiques) a été proposé par A.Y.Xu lors d'une consultation.
Configurations possibles :	Concert, Enregistrement, Opéra
Destination de la salle :	Orchestre symphonique

Descriptif matériaux

Sol	Dalles d'aggloméré sur structure porteuse (parterre) Béton peint (gradins) Parquet sur faux plancher (scène)
Murs	Béton peint Cadre de scène plaque aluminium peint (ep=5 mm) Lambris bois Fibre tressée Panneaux acoustiques (1 face CP 22 mm, 1 face LV 100 mm) Portes peintes ou en stratifié
Plafond	Tôles nervurées
Mobilier	Sièges en plastique Chaises en tissu dans les loges Chaises en tissu pour les musiciens

Les documents iconographiques et architecturaux sont donnés ci-après.

□ Données acoustiques

Relevé dB Impuls :

Nombre de points de mesures	22/23 (Source 1/2)
Nombre de point(s) source(s)	2
Micros utilisés	Micro Cirrus MK24 01dB
Source utilisée	Nagra DSM Monitor
Ordre de la séquence	15
Fréquence d'échantillonnage	16 kHz
Nombre de séquences moyennées	8

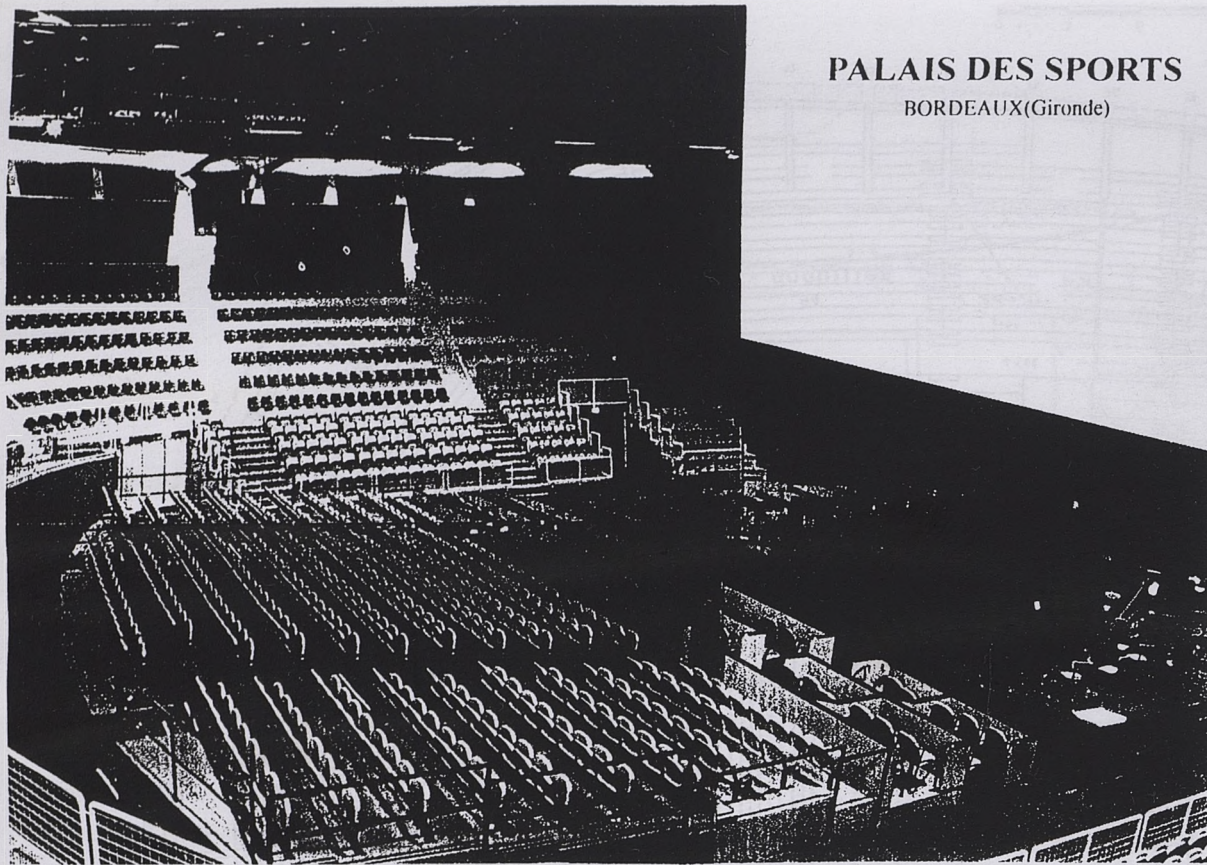
Temps de réverbération moyens :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tr Mesuré Source 1	0,90 (*)	1,24 (*)	2,50	2,49	2,49	2,13
Tr Mesuré Source 2	1,84 (*)	1,68 (*)	2,48	2,36	2,42	2,04
Tr Optimum	2,85	2,05	1,90	1,90	1,90	1,70

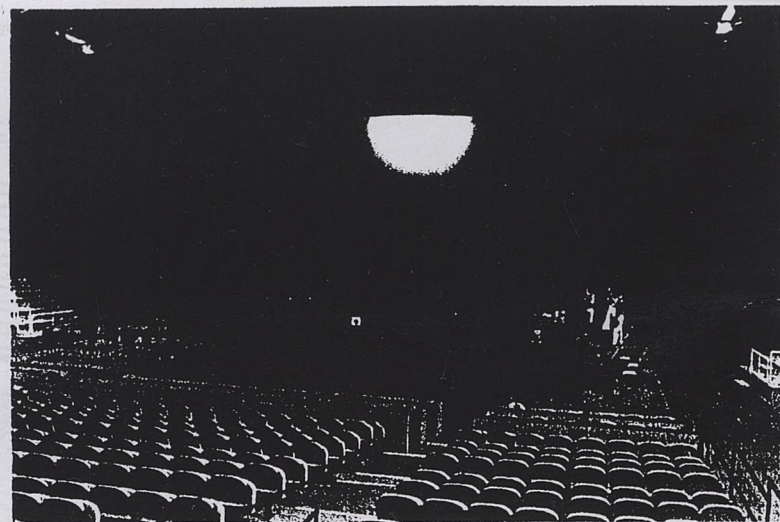
(*) Valeurs perturbées par le bruit de fond
(Voir tableaux de mesure correspondants)

PALAIS DES SPORTS

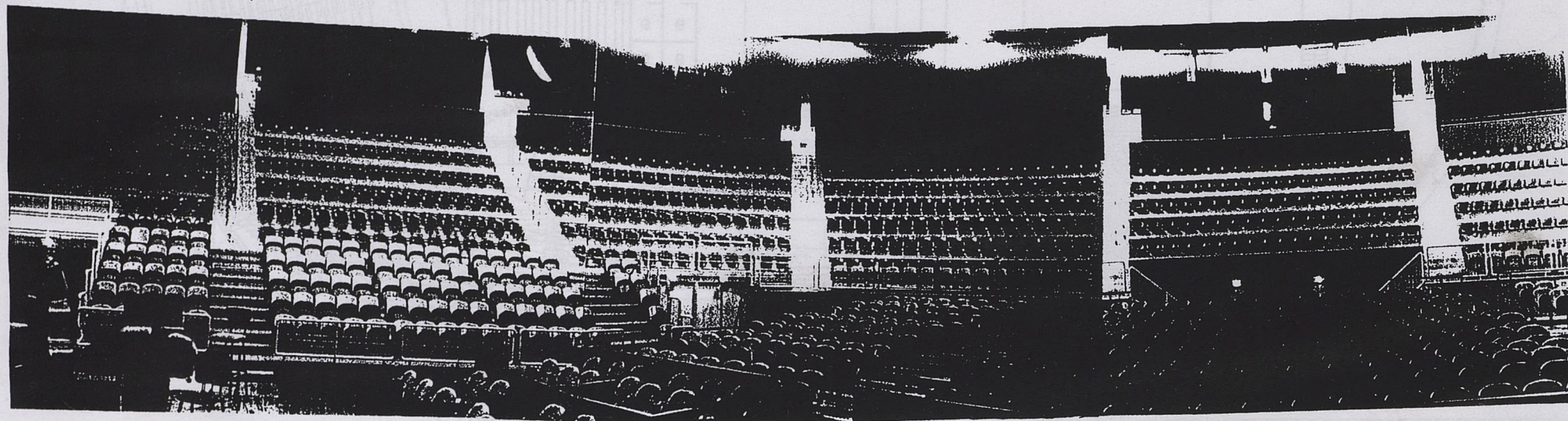
BORDEAUX(Gironde)



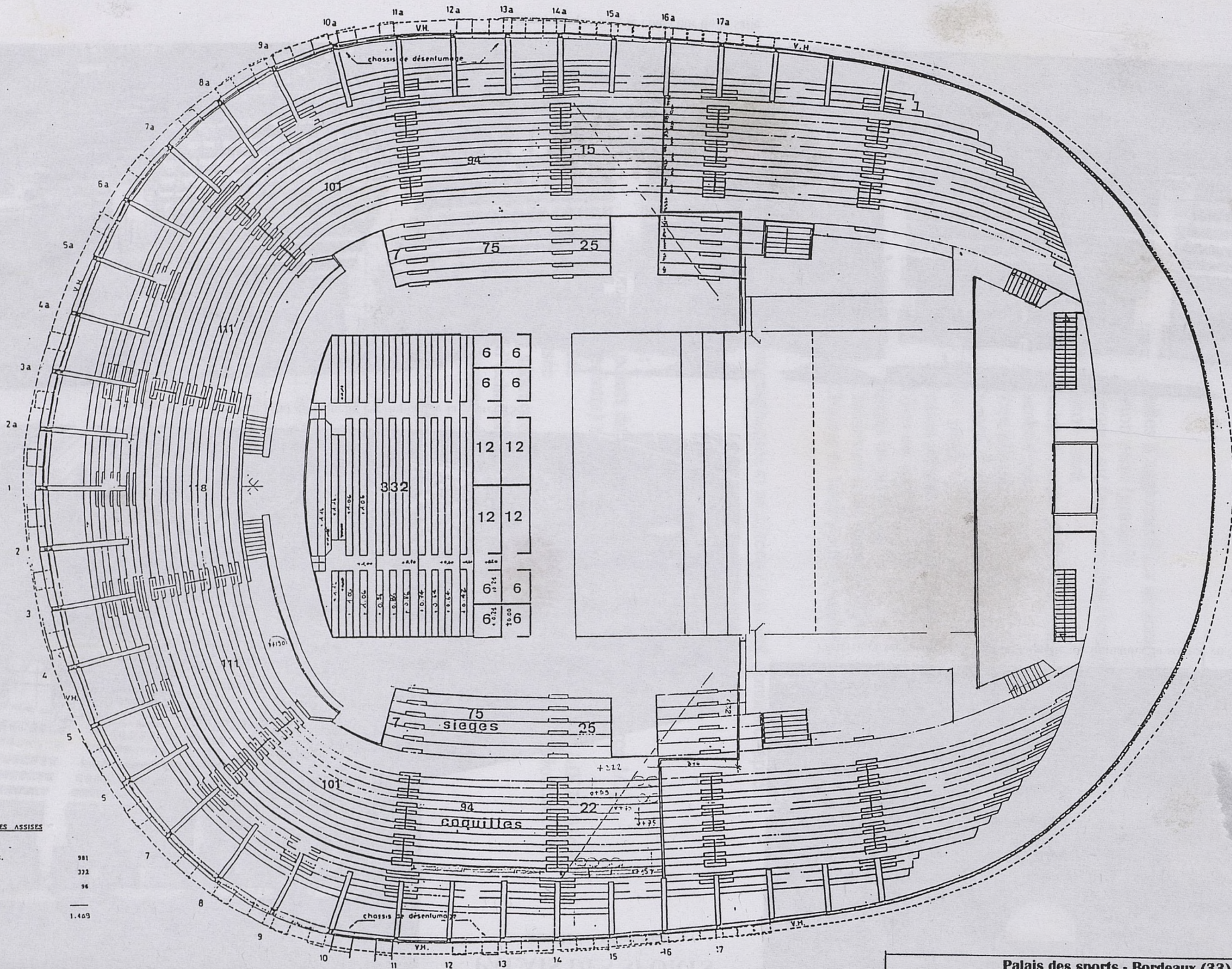
Gradins, parterre et scène au fond de laquelle est implantée la source (S2).



Parterre et scène sur le devant de laquelle est implantée la source en S1



Panoramique vers le côté cour de la salle.

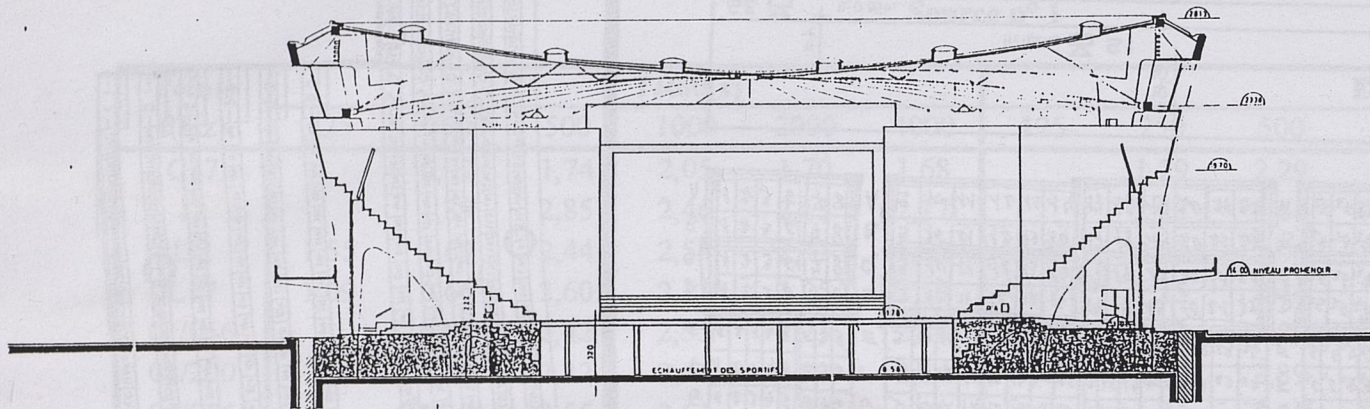


CAPACITE EN PLACES ASSISES

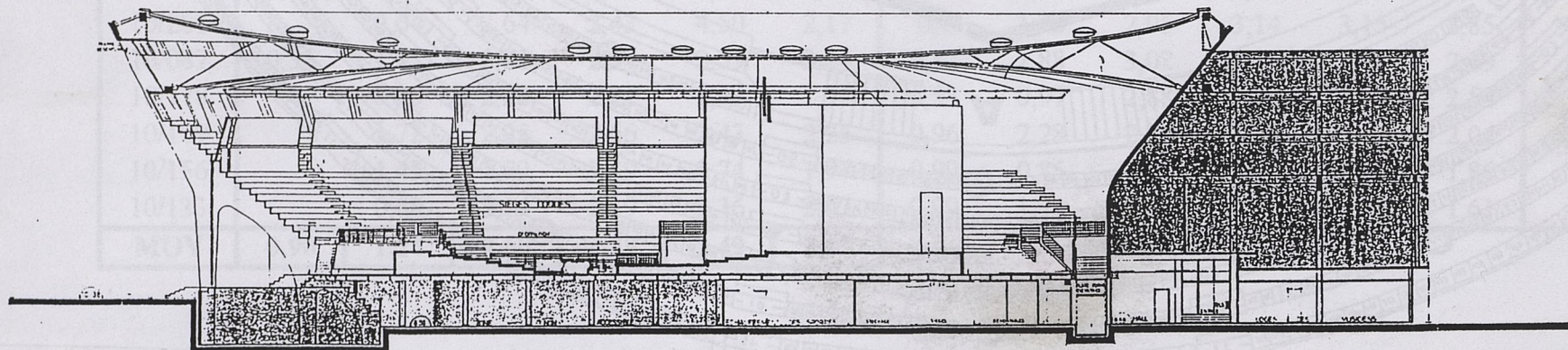
Gradin P.D.S.	981
Gradin face	332
Loges	96
Sous total	1.409

Palais des sports - Bordeaux (33)
Plan

0 10 20 30 40 m



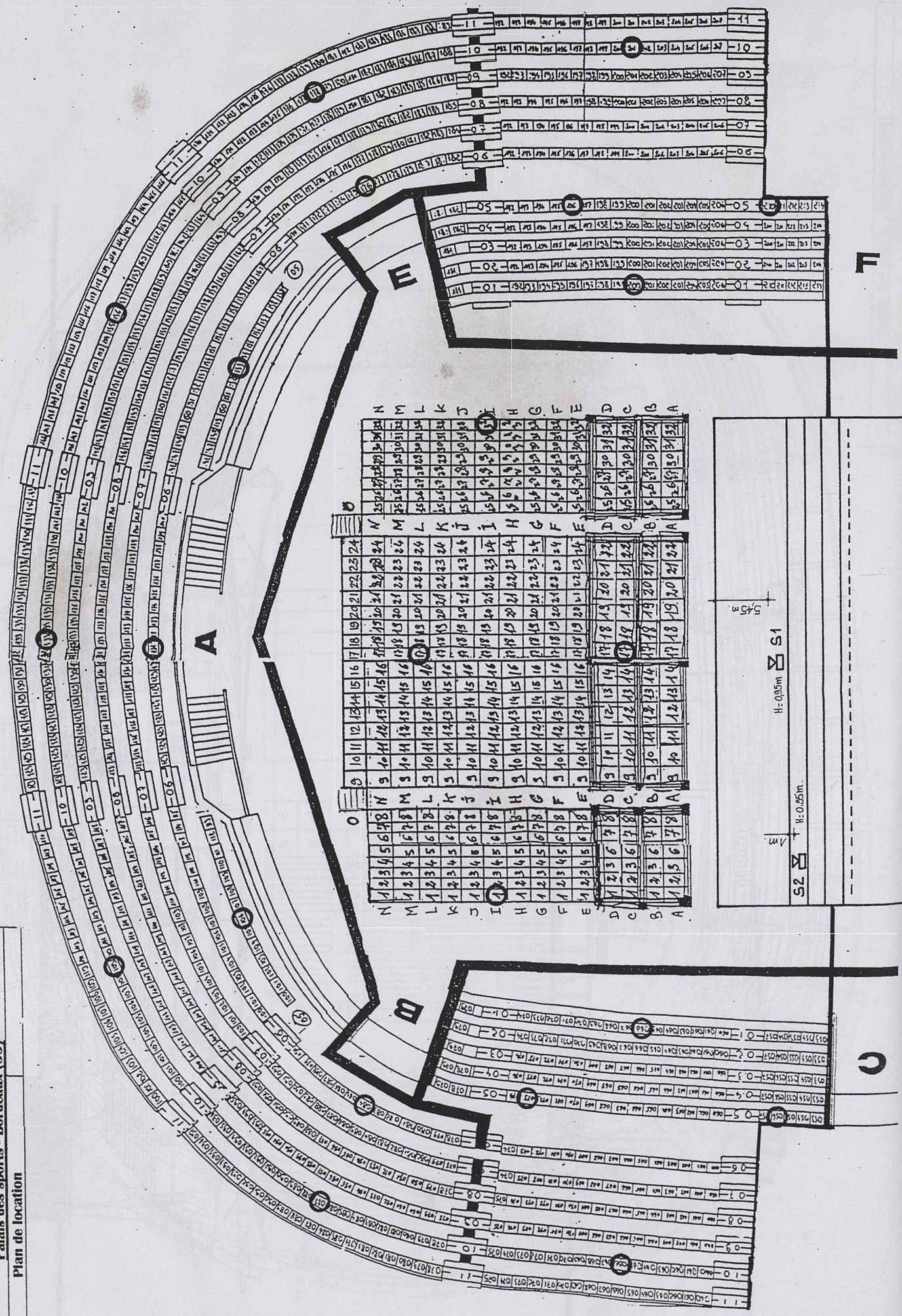
COUPE TRANSVERSALE



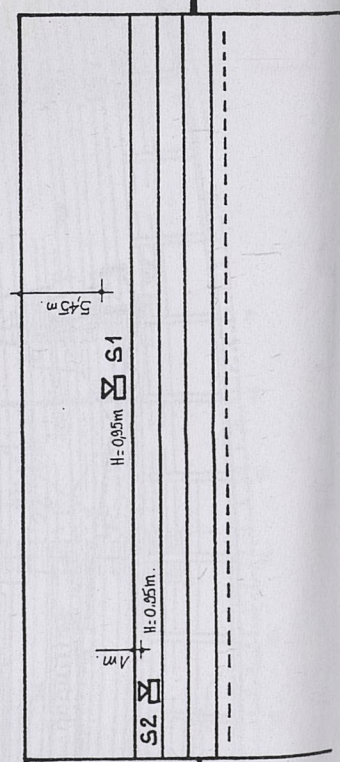
COUPE LONGITUDINALE

Palais des sports - Bordeaux (33)
 Coupes longitudinale et transversale

Palais des sports - Bordeaux (33)
Plan de location



N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24



Palais des sports (Bordeaux)

Source n° 1

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
C17		0,97	1,74	2,05	1,70	1,68		1,29	2,29	1,91	1,51	0,89	0,52
I1		1,89	2,85	2,46	2,13	2,17		2,23	3,64	3,11	2,37	2,57	0,33
I32	1,55	1,69	2,44	2,54	2,43	1,92	1,75	2,07	2,90	3,06	2,63	2,61	0,32
L17	1,09	0,66	2,60	2,17	2,25	2,13	1,2	1,15	2,44	2,42	2,00	1,36	0,42
01/066		0,87	2,42	2,55	2,23	2,38	0,29	1,03	2,89	3,27	2,76	2,82	0,31
01/200		1,40	2,32	2,46	2,33	2,14	0,43	1,81	2,89	3,18	2,68	2,54	0,34
05/056		1,19	2,55	2,61	2,37	1,98	0,70	1,71	3,45	3,20	3,14	2,87	0,30
05/210		2,10	2,50	2,45	2,50	2,37	0,36	2,21	3,18	3,25	3,04	2,82	0,36
05/073		0,94	2,53	2,84	2,32	2,15	0,34	1,18	3,29	3,24	2,76	2,40	0,33
05/196		1,51	2,66	2,51	2,53	2,26	0,22	2,14	2,86	3,06	2,81	2,63	0,32
05/106		1,04	2,47	2,58	2,61	2,16	0,72	1,82	2,82	2,79	2,56	2,38	0,39
05/153		1,05	2,95	2,40	2,54	2,19	0,71	1,86	3,01	2,59	2,87	2,56	0,36
06/084		1,53	2,50	2,67	2,36	2,15	1,24	1,84	2,84	3,27	2,91	2,34	0,35
06/176	0,94	1,40	2,19	2,55	2,27	2,61	1,99	1,75	3,42	3,12	2,93	2,39	0,35
06/131		0,77	2,20	2,53	2,65	2,01	0,48	1,34	2,58	2,47	2,31	1,99	0,40
10/066	0,38	1,53	2,15	2,55	2,55	2,05	0,44	2,28	2,91	3,18	3,10	2,89	0,35
10/201		0,64	2,64	2,43	4,50	2,17	0,2	1,38	2,95	3,14	3,15	2,85	0,36
10/087	0,55	1,53	2,81	2,67	2,59	2,14	1,12	1,88	3,02	3,27	2,85	2,49	0,36
10/178		0,80	2,38	2,22	2,47	1,99	0,53	0,97	2,88	3,19	3,02	2,54	0,37
10/109		1,72	2,25	2,56	2,43	2,25	0,96	2,28	2,73	3,06	2,11	2,04	0,43
10/156		1,45	2,79	2,49	2,74	1,97	0,99	0,85	2,96	2,69	2,60	1,86	0,44
10/133		0,68	3,14	2,39	2,36	2,03	0,99	1,71	2,60	2,15	1,70	1,61	0,46
MOY	0,90	1,24	2,50	2,49	2,49	2,13							

Salle vide

Palais des sports (Bordeaux)

Source n° 1

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
C17		3,47	-2,34	2,35	4,11	7,97		62,94	30,06	60,54	67,03	82,82	0,48
II		-4,71	-4,61	-3,75	-0,17	-1,24		16,89	18,16	25,55	40,03	25,72	0,37
I32	-0,72	-4,98	-4,88	-3,50	-2,05	-2,16	34,61	15,28	17,93	27,54	31,23	22,91	0,37
L17	-4,20	-8,43	-7,10	-3,11	1,73	2,47	3,42	6,56	10,17	28,16	53,35	46,75	0,48
01/066		2,12	-2,15	-5,87	-1,87	-3,35	97,92	44,28	28,02	16,11	31,60	16,11	0,36
01/200		-0,89	-2,90	-4,17	-2,74	-1,12	71,34	34,11	28,19	20,99	28,50	34,06	0,33
05/056	5,87	0,83	-4,16	-4,75	-4,28	-3,37	65,08	50,51	19,78	17,31	21,96	24,52	0,31
05/210		0,14	-4,06	-2,54	-3,12	-1,42	90,24	45,33	21,63	29,73	24,08	37,20	0,33
05/073		2,06	-3,88	-3,41	-0,78	0,27	91,65	49,94	19,21	25,64	38,83	39,36	0,36
05/196		-1,52	-3,51	-2,73	-1,74	-3,19		35,50	24,72	31,16	33,19	19,90	0,35
05/106	1,86	-2,45	-4,07	-2,53	1,16	0,74	24,77	20,19	21,47	28,14	50,86	48,14	0,45
05/153	1,91	-2,12	-3,06	-2,44	-1,76	-1,33	19,37	21,78	23,64	30,22	34,65	34,54	0,37
06/084	-6,34	-0,56	-3,22	-4,78	-2,48	-0,68	8,79	34,32	25,28	20,64	30,92	40,90	0,37
06/176	-5,64	-0,11	-3,28	-3,42	-1,68	-0,36	17,84	34,63	26,51	23,16	34,78	38,65	0,38
06/131		-2,36	-2,87	0,58	0,95	1,32	67,45	25,46	27,58	41,63	47,34	52,00	0,42
10/066	11,42	-0,06	-2,08	-3,25	-2,88	-2,97	82,88	42,13	34,82	26,60	26,97	26,39	0,36
10/201		-0,59	-1,15	-3,56	-3,59	-1,96		41,54	39,22	26,44	24,05	32,22	0,37
10/087	-0,27	0,60	-2,94	-2,08	-1,82	-1,36	41,61	47,50	30,62	32,36	34,51	35,34	0,39
10/178	8,15	3,21	-1,88	-2,30	-1,69	-0,93	37,93	61,22	33,68	30,45	32,82	37,04	0,40
10/109	-2,68	1,21	-1,79	-0,33	2,42	2,51	18,81	52,43	34,55	43,17	59,20	58,81	0,46
10/156	-4,26	7,31	-0,18	-0,56	1,00	2,83	11,54	81,25	40,40	41,99	47,95	58,53	0,46
10/133	-0,06	-1,01	-0,27	2,03	4,31	3,99	33,84	35,79	41,52	58,18	68,40	67,36	0,53

Salle vide

Palais des sports (Bordeaux)

Source n° 2

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
C17		11,13	1,90	2,09	2,27	1,98	0,69	1,78	2,32	2,71	2,46	2,00	0,40
II		0,95	2,72	2,21	1,86	2,11	0,58	1,41	3,18	2,75	2,37	2,17	0,37
I32		1,05	2,53	2,11	2,25	2,53	0,24	1,75	2,91	2,95	2,76	2,37	0,34
L17		1,25	2,78	2,27	2,31	1,89	0,70	2,23	3,22	2,66	1,98	1,49	0,42
01/066		1,35	2,11	2,00	2,03	1,79	0,15	2,16	2,75	2,67	2,59	2,27	0,39
01/200		1,42	2,35	2,26	2,43	1,89	0,38	1,98	2,72	3,16	2,79	2,64	0,31
05/056		1,26	2,20	2,16	2,50	1,86	0,36	0,78	2,69	2,96	2,97	2,52	0,40
05/210	4,21	1,68	3,27	2,35	2,60	2,29	0,79	1,83	3,00	2,93	2,94	2,52	0,36
05/073		1,26	2,13	2,29	2,51	2,11	0,30	1,78	3,01	3,05	2,78	2,31	0,40
05/196		0,75	2,44	2,47	2,65	1,76	0,58	1,35	3,37	3,03	2,87	1,98	0,35
05/106		1,26	2,06	2,41	2,46	2,18	0,72	1,80	2,82	3,15	2,75	2,54	0,35
05/153	0,63	1,20	2,26	2,50	2,73	1,96	1,27	1,47	2,77	2,83	2,68	2,07	0,37
06/084		1,68	2,53	2,41	2,53	1,93	0,13	2,19	3,23	3,00	3,02	2,46	0,34
06/176		2,10	2,52	2,35	2,38	1,99	1,06	2,20	3,11	2,76	2,75	2,29	0,33
06/131		0,77	2,20	2,53	2,65	2,01	0,48	1,34	2,58	2,47	2,31	1,99	0,40
10/066		0,27	2,35	2,51	2,24	2,04	0,13	2,14	3,26	3,11	2,94	2,65	0,36
10/201		1,06	2,22	2,37	2,28	1,86	0,27	1,52	2,21	2,90	2,91	2,34	0,38
10/087		1,14	2,40	2,38	2,43	2,16	0,17	1,62	2,69	3,15	2,92	2,24	0,40
10/178		0,94	2,80	2,63	2,51	2,16	0,54	1,30	2,57	2,89	2,64	2,16	0,38
10/109	0,69	1,45	2,77	2,34	2,55	2,16	2,54	1,85	2,99	2,97	2,69	2,29	0,40
10/156		1,78	2,94	2,62	2,50	2,06	0,21	1,54	2,87	3,04	2,40	1,90	0,42
10/133		1,25	3,18	2,75	2,58	2,10	0,24	1,34	2,53	2,54	2,31	2,00	0,45
MOY	1,84	1,68	2,48	2,36	2,42	2,04							

Salle vide

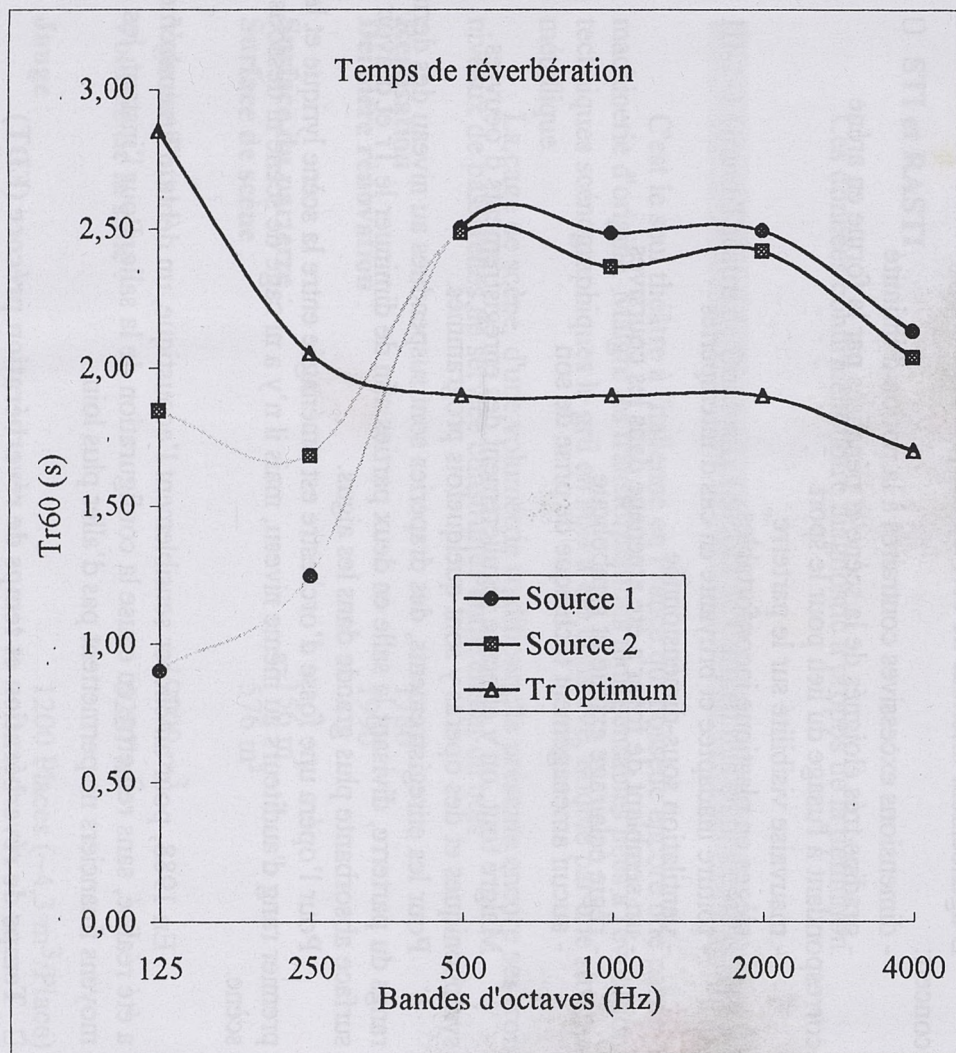
Palais des sports (Bordeaux)

Source n° 2

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
C17	2,76	-0,07	-0,02	-2,14	-1,06	0,81	57,32	40,80	56,34	32,14	35,40	48,06	0,41
I1	8,61	0,10	-3,74	-2,12	0,83	0,41	76,94	41,03	26,00	34,13	47,63	35,27	0,38
I32		-3,08	-5,99	-5,08	-4,95	-2,80		22,68	8,55	14,28	13,96	23,32	0,38
L17	-2,01	-6,20	-5,71	-2,26	0,23	4,47	37,26	10,80	21,95	31,22	44,37	65,00	0,42
01/066		-0,77	-0,86	0,76	0,06	0,17		36,07	37,41	47,46	38,26	42,27	0,39
01/200		-4,29	-3,92	-4,25	-2,85	-3,07	80,53	20,68	25,28	20,04	25,32	25,39	0,36
05/056		4,86	0,22	-0,69	-1,26	-0,16	88,62	50,07	45,15	38,83	30,95	44,79	0,40
05/210	4,10	-0,41	-2,34	-1,53	-4,06	-2,78	65,14	38,84	28,71	33,46	23,14	29,87	0,35
05/073		0,46	-1,63	-2,96	-0,79	1,76	93,73	46,84	34,27	29,12	39,88	53,93	0,40
05/196	6,66	-0,30	-5,14	-2,88	-1,95	-0,18	76,26	40,13	18,13	28,84	32,63	38,28	0,37
05/106	3,98	-2,07	-3,41	-1,58	-1,14	-1,02	52,89	30,65	21,88	34,21	37,10	34,22	0,39
05/153	-3,92	-3,08	-3,43	-3,01	-1,36	1,83	16,32	19,10	19,92	23,80	28,71	44,01	0,37
06/084		-4,19	-3,53	-3,46	-1,99	-0,77		17,70	25,29	27,05	32,30	35,72	0,36
06/176	-6,84	-3,65	-3,95	-4,50	-2,52	-2,57	3,78	16,94	22,67	20,49	30,60	26,59	0,37
06/131		-2,36	-2,87	0,58	0,95	1,32	67,45	25,46	23,58	41,63	47,34	52,00	0,42
10/066		-0,84	-2,39	-3,73	-1,02	-0,89		37,33	30,28	26,26	39,73	38,76	0,38
10/201		-0,10	0,49	-2,32	-4,18	-1,99	93,35	44,99	45,60	31,15	23,43	32,08	0,40
10/087		0,39	-1,92	-2,58	-1,76	0,16	97,92	45,83	36,16	30,01	35,33	45,86	0,40
10/178	7,15	0,59	-0,80	-1,99	-1,58	-1,17	44,91	44,56	38,93	27,19	38,92	35,38	0,43
10/109	-2,56	0,87	0,61	-1,66	0,68	0,47	21,59	36,00	43,65	33,38	47,03	47,21	0,45
10/156		0,00	-0,59	-1,42	0,48	2,32		35,50	37,22	34,92	44,24	52,64	0,45
10/133		2,45	-0,03	1,61	2,15	2,84		54,04	34,07	52,01	53,93	60,85	0,46

Palais des sports (Bordeaux)

Sources n° 1 & 2



Salle vide

□ Observations

Comme son nom l'indique, ce lieu n'était pas destiné à être une salle de musique symphonique. Utilisé pendant un temps aussi bien en tant que salle de sport qu'en tant que salle de concert, les modifications apportées font que seule la deuxième activité subsiste malgré :

- sa médiocre isolation acoustique
- sa situation en bordure d'un axe de grande circulation
- sa cohabitation avec un marché et un parking (souterrain et aérien)

L'agencement intérieur ne correspond pas à l'aménagement d'une salle de concert:

- dimensions excessives contraires à la notion d'intimité
- gradins très éloignés de la scène et pénalisés par la forme en arène

correspondant à l'usage du lieu pour le sport

- mauvaise visibilité sur le parterre
- sièges en plastique inconfortables
- toiture inadaptée et bruyante en cas d'intempéries
- ventilation sous-dimensionnée
- un semblant de foyer a été aménagé dans les coursives
- régie éclairage exigüe et symbolique
- aucun aménagement technique de prise de son

Malgré tout, on y effectue régulièrement des enregistrements d'oeuvres symphoniques et des opéras y sont quelquefois programmés.

Pour les enregistrements, des draperies sont suspendues au niveau des derniers rangs du parterre, divisant la salle en deux parties afin de diminuer le Tr et d'avoir une surface absorbante plus grande dans les aigus.

Pour l'opéra une fosse d'orchestre est aménagée entre la scène lyrique et le premier rang d'auditeurs au même niveau, mais il n'y a ni cage de scène ni dessous de scène.

En 1988, pour améliorer sensiblement l'acoustique, un début d'aménagement a été réalisé, sans remettre en cause la configuration de la salle. Pour l'instant, les moyens financiers ne permettent pas d'aller plus loin.

□ Temps de réverbération et temps de réverbération précoce (EDT)

Le Tr élevé et le bruit de fond important ont perturbé les calculs des critères sous dBImpuls. Ainsi, peu de valeurs ont été calculées à 125 hertz et le peu de calculs menés à terme à 125 et 250 hertz ont de grandes chances d'être faux.

Cette salle nous a laissé l'impression d'une très grande réverbération à toutes les fréquences. Nous supposons donc que l'allure des courbes telles qu'elles sont représentées est erronée. Les courbes de Tr et d'EDT sont très certainement plus horizontales dans les basses, peut être même s'approchent-elles du profil du Tr optimum.

Dans les médiums, le Tr est supérieur au Tr optimum d'environ 0,50 secondes.
 Dans les aigus on trouve le même écart dont on suppose qu'il devrait s'atténuer en présence du public. La pratique de cette salle en concert confirme cela.

□ **Clarté et définition**

Aussi surprenant que cela puisse paraître, la clarté est excellente dans les médiums et dans les aigus. Nous ne pouvons pas conclure quant aux valeurs de ce même critère dans les basses.

La définition prouve que cette salle n'est pas adaptée à la musique lyrique.

□ **STI et RASTI**

Ces données confirment notre diagnostic à propos de la définition.

III-2-3 Grand Théâtre de Bordeaux (décors de Carmen mis en place, fosse ouverte)

C'est le seul théâtre à l'italienne en France qui possède encore une partie de sa machinerie d'origine. Malgré les transformations indispensables liées à l'évolution des techniques scénographiques le gril en bois a été conservé, doublé par une structure métallique.

La cage de scène, d'une volumétrie traditionnelle présente encore ses trois niveaux de passerelles de service construites entièrement en bois.

Réalisation :	1780
Dernière rénovation :	1990
Surface du parterre :	~156 m ²
Surface de scène :	576 m ²
Volume Total :	~19000 m ³
Volume de la salle :	5227 m ³
Jauge :	1200 Places (~4,3 m ³ /Place)
Ouverture de scène :	12 m x 9 m au maximum
Equipements annexes :	Foyer
Architecte :	Victor LOUIS Bernard FONQUERNIE (rénovation 1990)
Acousticien :	Albert Yaying XU (rénovation 1990)
Configurations possibles :	Proscenium recouvrant une fosse d'orchestre

Destination de la salle : Opéra, Orchestre symphonique, Théâtre lyrique,
Plateau d'enregistrement, Ballets

Descriptif matériaux

Sol	Parquet en bois Moquette
Murs	Contreplaqué 5 mm + tissu acrylique peint verni Bois peint
Plafond	Feuilles d'aluminium 3 mm peintes (dessous des balcons) Contreplaqué 5 mm + tissu acrylique peint verni Bois peint
Mobilier	Sièges en tissu

Les documents iconographiques et architecturaux sont donnés ci-après.

Données acoustiques

Relevé dB Impuls :

Nombre de points de mesures	12
Nombre de point(s) source(s)	2
Micros utilisés	Micro Cirrus MK24 01dB
Source utilisée	Nagra DSM Monitor
Ordre de la séquence	15
Fréquence d'échantillonnage	16 kHz

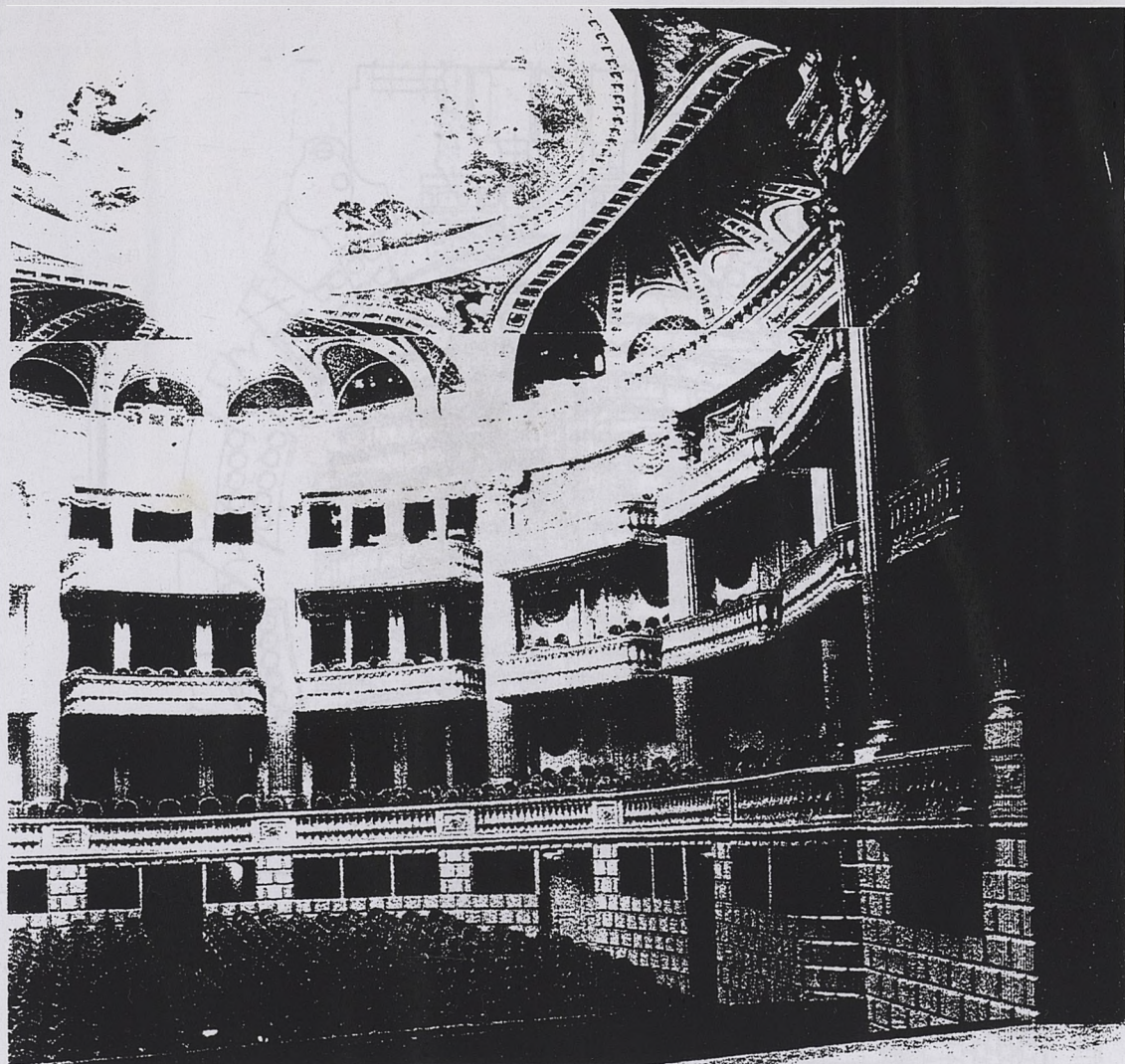
Temps de réverbération moyens :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tr Mesuré Source 1	0,70 (*)	0,95 (*)	0,84	1,03	0,95	0,85
Tr Mesuré Source 2	1,11 (*)	0,77 (*)	0,97	0,96	0,98	0,86
Tr Optimum	1,82	1,52	1,40	1,40	1,35	1,19
Tr Mesuré par Xu salle occupée	0,80	1,00	1,10	1,10	1,00	0,90
Tr Mesuré par XU salle vide	1,14	1,27	1,23	1,20	1,19	1,16

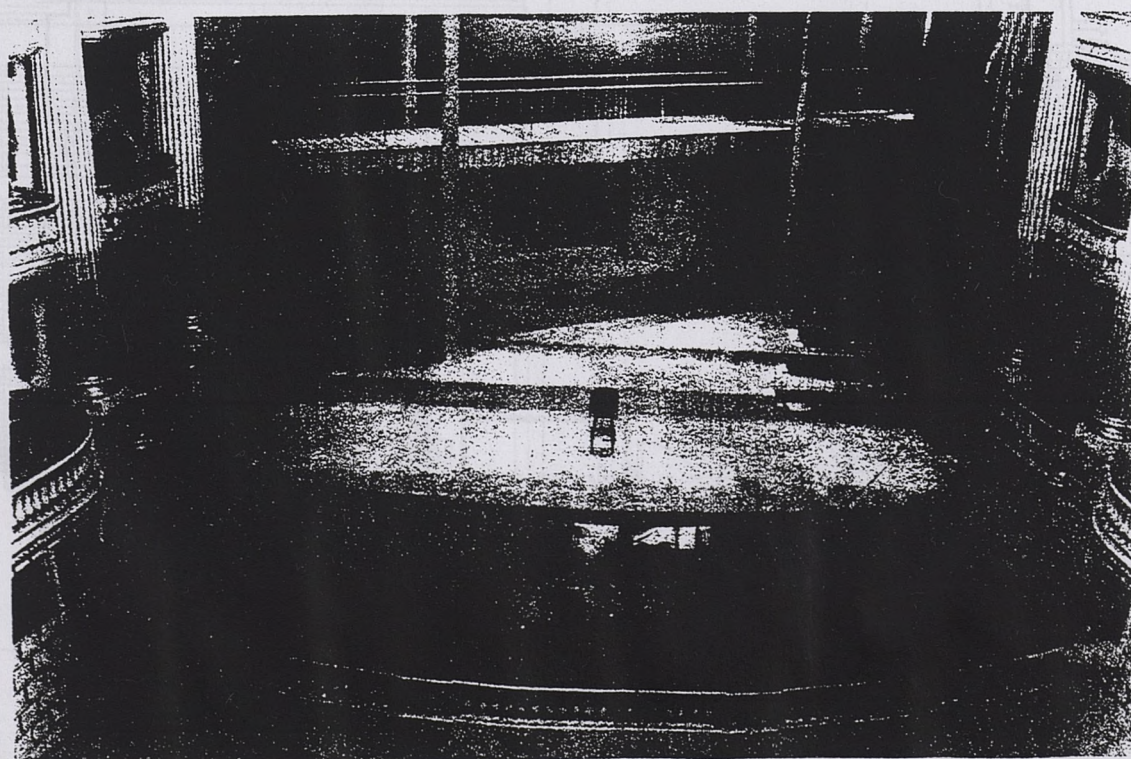
(*) Valeurs perturbées par le bruit de fond
(Voir tableaux de mesure correspondants)

GRAND THEATRE DE BORDEAUX

(Gironde)

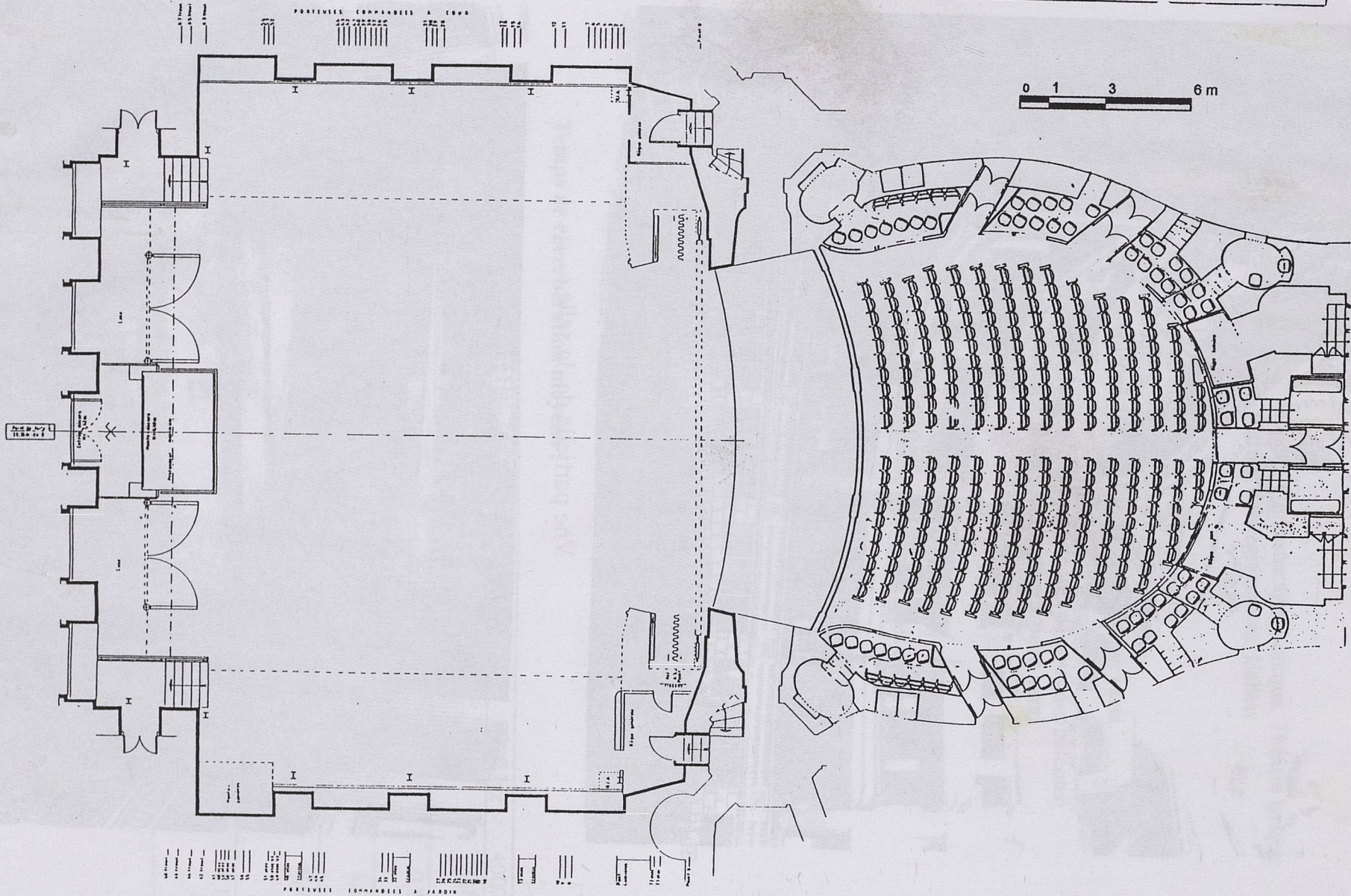
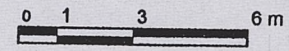


Vue partielle de la salle.



Décors de Carmen. Position de la source sur la scène et dans la fosse.

Grand théâtre - Bordeaux (33)
Plan



PORTES ET COMMUNES A LOUER

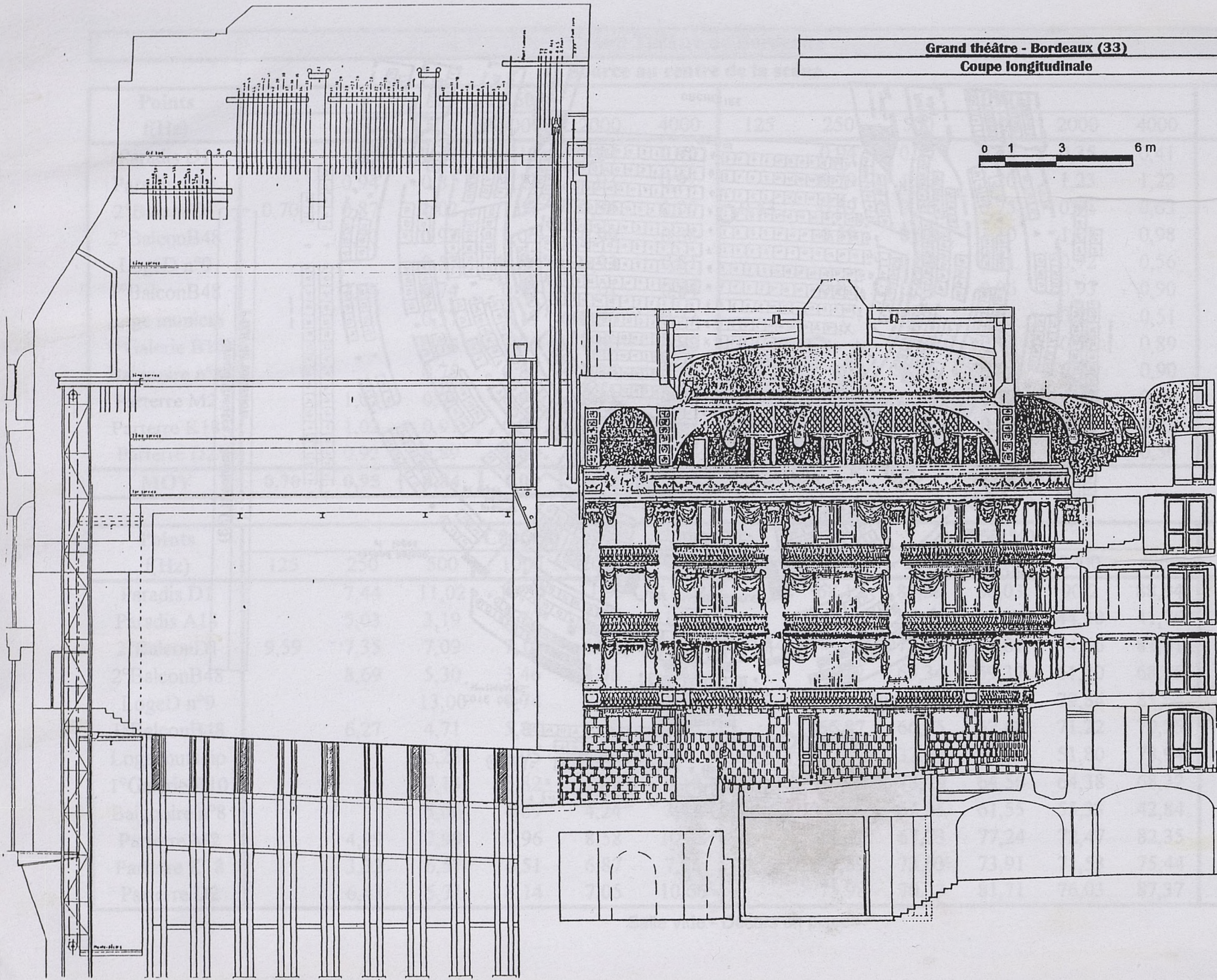
PORTES ET COMMUNES A LOUER

CRAYON J. LEYKA DE BORDEAUX

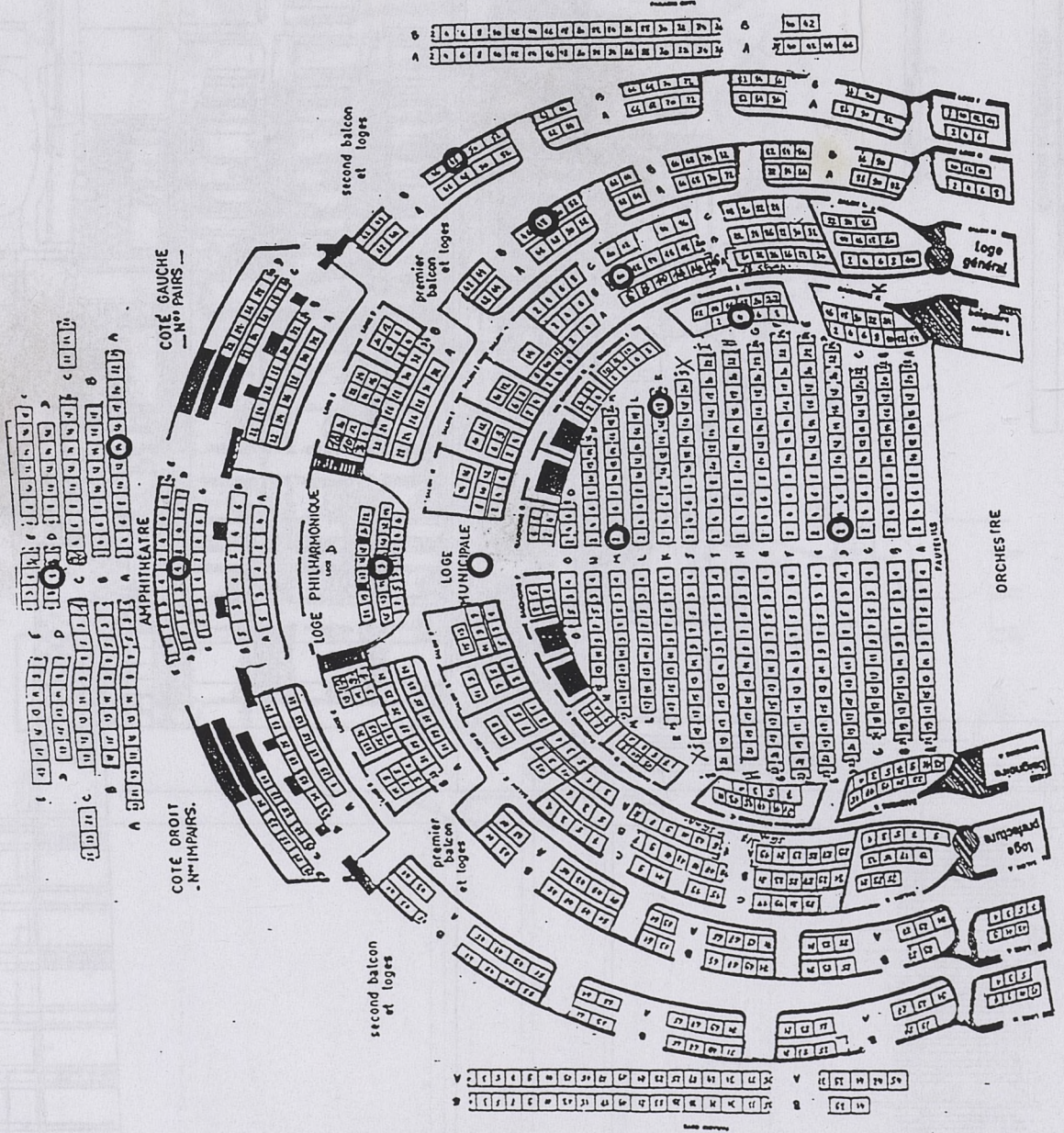
Grand théâtre - Bordeaux (33)

Coupe longitudinale

0 1 3 6 m



Grand théâtre - Bordeaux (33)
Plan de location



Grand Théâtre de Bordeaux

Source au centre de la scène

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Paradis D1		1,05	1,11	1,10	1,04	0,90		0,94	0,37	0,48	0,35	0,41	0,61
Paradis A14		0,94	0,81	1,13	1,03	0,92		0,79	1,03	1,20	1,23	1,22	0,47
2°BalconD1	0,70	0,87	1,02	1,07	0,94	0,90	0,53	0,69	0,75	0,75	0,91	0,63	0,58
2°BalconB48		0,70	0,92	1,06	0,99	0,88		0,59	0,98	1,10	1,07	0,98	0,52
LogeD n°9			0,57	1,06	0,93	0,81			0,38	0,51	0,72	0,56	0,50
1°BalconB48		1,06	0,74	0,95	1,01	0,84		0,87	0,91	0,96	0,93	0,90	0,45
Loge municip			0,57	1,19	0,96	0,77			0,62	0,61	0,79	0,51	0,51
1°Galerie B10			0,76	1,06	0,90	0,82			0,67	0,94	0,92	0,89	0,45
Baignoire n°8			0,75	0,80	0,86	0,66			0,76	0,96	0,94	0,90	0,44
Parterre M2		1,03	0,99	0,93	0,87	0,83		0,92	0,64	0,72	0,62	0,49	0,58
Parterre K18		1,02	0,91	0,99	0,98	0,87		1,22	0,81	0,83	0,84	0,72	0,55
Parterre D2		0,92	0,89	1,00	0,91	0,94		0,76	0,85	0,65	0,78	0,50	0,61
MOY	0,70	0,95	0,84	1,03	0,95	0,85							

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Paradis D1		7,44	11,02	10,34	11,99	11,13		68,12	89,39	88,03	90,2	88,94	0,72
Paradis A14		5,03	3,19	2,72	1,60	1,24		58,48	55,66	50,76	44,30	41,75	0,52
2°BalconD1	9,59	7,35	7,09	7,15	6,91	8,48	77,84	73,36	72,91	75,81	74,66	81,71	0,61
2°BalconB48		8,69	5,30	3,46	4,35	5,47		64,82	63,34	59,37	61,40	68,45	0,57
LogeD n°9			13,00	9,74	7,80	9,59			86,26	85,97	79,84	85,64	0,55
1°BalconB48		6,27	4,71	5,84	6,19	5,96		66,87	66,75	67,68	71,22	70,35	0,51
Loge municip			6,28	6,95	5,65	9,92			32,74	41,82	51,80	78,94	0,54
1°Galerie B10			7,13	5,82	5,45	6,15			78,79	64,56	64,38	68,32	0,51
Baignoire n°8			5,06	4,69	4,24	3,13			62,05	61,55	55,33	42,84	0,52
Parterre M2		4,99	7,99	7,96	8,58	10,38		61,22	67,73	77,24	72,47	82,35	0,63
Parterre K18		3,32	6,57	6,51	6,87	7,58		47,89	73,03	73,91	71,53	75,44	0,61
Parterre D2		6,43	5,71	8,14	7,05	10,66		75,98	70,33	81,71	76,03	87,37	0,62

Salle vide - Décors en place

Grand Théâtre de Bordeaux

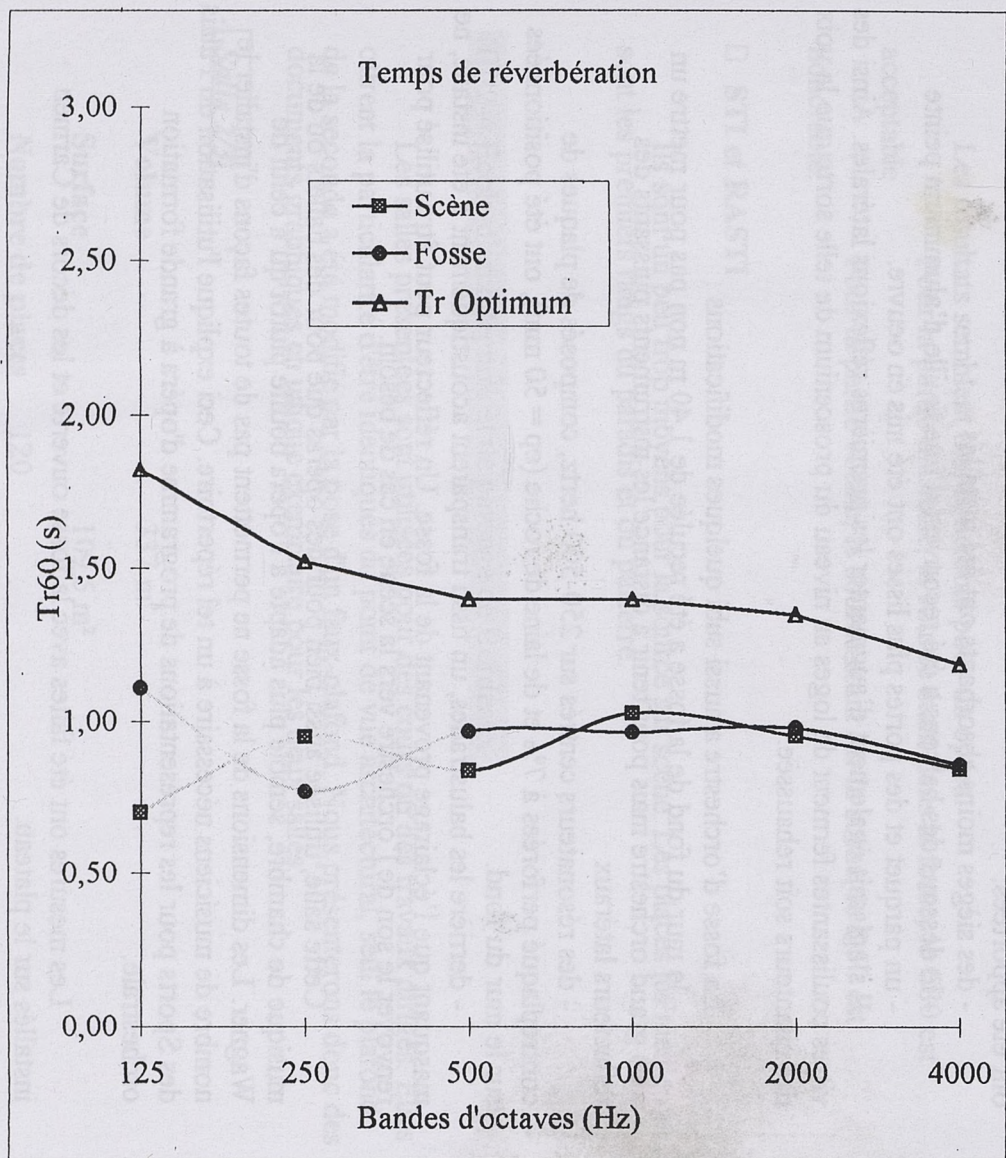
Source au centre de la fosse

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Paradis D1		0,69	1,12	1,00	0,96	0,79		0,90	0,55	0,72	0,67	0,77	0,55
Paradis A14		0,72	0,95	0,96	1,07	1,03		1,06	0,93	1,08	1,26	1,24	0,46
2°BalconD1		0,55	1,09	0,92	0,96	0,88		0,58	0,89	0,98	1,05	0,96	0,53
2°BalconB48	1,11	1,00	1,04	0,99	0,98	0,92	1,22	0,89	0,91	1,21	1,13	1,01	0,48
LogeD n°9		0,47	1,07	0,93	0,96	0,70		0,89	1,00	0,99	0,82	0,55	0,49
1°BalconB48			0,71	0,74	0,94	0,77			0,56	0,75	0,90	0,75	0,47
Loge municip			0,98	1,23	1,02	0,69			0,83	0,92	0,81	0,39	0,47
1°Galerie B10			0,83	0,79	0,95	0,80			1,00	1,16	1,15	0,92	0,45
Baignoire n°8			0,92	1,17	0,89	0,81			1,16	1,07	1,25	1,12	0,39
Parterre M2		1,00	0,99	0,93	1,01	0,93		0,95	0,93	1,13	0,85	0,81	0,53
Parterre K18			1,01	0,92	1,04	1,05			1,16	1,24	1,22	1,11	0,47
Parterre D2		0,94	0,88	0,98	0,97	0,91		0,82	0,99	0,88	1,06	0,62	0,57
MOY	1,11	0,77	0,97	0,96	0,98	0,86							

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
Paradis D1		3,09	9,40	7,23	8,45	6,72		53,85	86,91	78,59	82,92	74,66	0,68
Paradis A14		2,15	3,17	2,80	0,91	0,45		49,49	51,11	51,76	38,80	36,50	0,53
2°BalconD1		8,43	5,53	4,05	4,13	5,89		78,36	68,65	61,24	60,43	70,12	0,57
2°BalconB48	1,66	5,76	5,75	4,45	4,04	4,58	39,45	68,75	61,65	57,34	56,76	55,41	0,56
LogeD n°9		1,73	2,78	2,49	6,59	9,34		32,78	40,67	48,55	63,41	82,75	0,52
1°BalconB48			9,27	6,57	6,29	7,24			84,97	70,77	72,46	76,54	0,54
Loge municip			6,09	4,25	6,48	11,45			60,64	55,51	66,41	88,16	0,50
1°Galerie B10			2,99	3,19	3,62	4,64			40,48	54,76	56,03	63,88	0,50
Baignoire n°8			0,84	4,31	1,77	3,29			43,06	61,71	45,65	51,10	0,43
Parterre M2		3,52	4,29	3,39	6,54	6,77		14,67	37,63	37,07	38,64	55,11	0,60
Parterre K18			3,09	1,71	0,50	2,11			47,99	40,85	33,48	29,06	0,49
Parterre D2		5,43	4,87	5,88	4,60	8,38		73,06	63,32	75,97	65,49	82,67	0,58

Salle vide - Décors en place

Grand théâtre de Bordeaux



Salle vide - Décors en place

□ Observations

Le Grand Théâtre de Bordeaux est un important monument historique. Une rénovation, à la hauteur de sa valeur patrimoniale était nécessaire. Le programme de restauration de 1990 n'imposait aucune amélioration acoustique, uniquement une conservation en l'état des qualités de la salle. Xu-Acoustique a pourtant convaincu les responsables que le programme de rénovation pouvait inclure des améliorations acoustiques bien intégrées tout en restant efficaces.

La grande difficulté était d'augmenter le Tr. Pour cela, plusieurs améliorations ont été apportées:

- des sièges moins absorbants ont été installés
- le dessous des balcons a été recouvert d'une feuille d'aluminium peinte
- un parquet et des portes plus lisses ont été mis en oeuvre.

Il s'agissait également d'augmenter les premières réflexions latérales. Ainsi des vitres coulissantes ferment de loges au niveau du proscenium de telle sorte que la voix des chanteurs soit rehaussée.

La fosse d'orchestre a aussi subi quelques modifications :

- le mur du fond de la fosse a été reculée de 1,40 m non pas pour mettre un plus grand orchestre mais pour tenir à distance les instruments puissants des réflecteurs latéraux
- des résonateurs centrés sur 250-500 hertz, composés de plaques de contreplaqué perforées à 7% et de laine de roche ($ep = 50$ mm), ont été positionnées sur le mur du fond.
- derrière les balustrades, un tissu transparent acoustiquement a été installé, ne masquant que l'éclairage provenant de la fosse. Un réflecteur peut être utilisé pour renvoyer le son de l'orchestre vers la scène en cas de besoin.

Cette salle, utilisée aussi bien pour des opéras que pour des ballets ou de la musique de chambre, semble plus adapté à l'opéra bouffe plutôt qu'à celui de Wagner. Les dimensions de la fosse ne permettent pas de toutes façons d'installer le nombre de musiciens nécessaire à un tel répertoire. Ceci explique l'utilisation du Palais des Sports pour les représentations de programme d'opéra à grande formation orchestrale.

Les mesures ont été faites avec la fosse ouverte et les décors de Carmen installés sur le plateau.

□ Temps de réverbération et temps de réverbération précoce (EDT)

Tout comme au Palais des Sports, l'excès de bruit de fond dans les basses (matériel d'éclairage alimenté en 50 hertz) a perturbé nos mesures dans les bandes de 125 et 250 hertz. Les analyses sur les critères se baseront sur les autres bandes d'octaves.

Malgré les améliorations apportées, le Tr ainsi que l'EDT sont toujours trop faibles. Cette salle est donc un peu sèche mais on peut difficilement apporter davantage d'amélioration. Le faible volume par personne ($4,3 \text{ m}^3/\text{Place}$) n'est pas modifiable. De plus, il est impossible de changer les matériaux de revêtements muraux et de sol.

Nos différences de résultats avec A. Y. XU [Xu92] sont très importantes, et nous laissent à penser que l'utilisation de dBImpuls pose quelques problèmes.

□ Clarté et définition

Les résultats semblent très cohérents pour un opéra:

- Pour la partie musicale, la source étant dans la fosse, le C80 est acceptable
- Pour la partie vocale, la source étant sur la scène, le D50 est honorable.

□ STI et RASTI

Ils sont un peu trop moyens pour la source sur scène. Les places les meilleures sont les premiers rangs du paradis et du parterre.

III-2-4 Ecole d'architecture et de paysage de Bordeaux

Les salles présentées sont utilisées pour des cours ou des travaux dirigés. Elles offrent la particularité d'être identiques du point de vue architectural, seul le plafond de la seconde a été modifié par la pose d'un faux-plafond. Nous présenterons donc des documents graphiques en unique exemplaire pour les deux salles.

Salle 2/3

Volume 337 m^3

Surface 109,5 m^2

Nombre de places 120

Descriptif matériaux

Nombre/Superficie

Sol	Dalles thermoplastiques	109,5 m^2
Murs	Béton peint	101 m^2
	Simple vitrage	40 m^2
	Porte isoplane	3,36 m^2
	Radiateurs en fonte	7,2 m^2

	Rideaux en matière plastique	Variable
	Paroi séparative	Variable
Plafond	Vermiculite projetée	109,5 m ²
Mobilier	Chaises en plastique	95
	Tables en stratifié	77
	Armoires métalliques	2

Données acoustiques

Relevé dB Impuls :

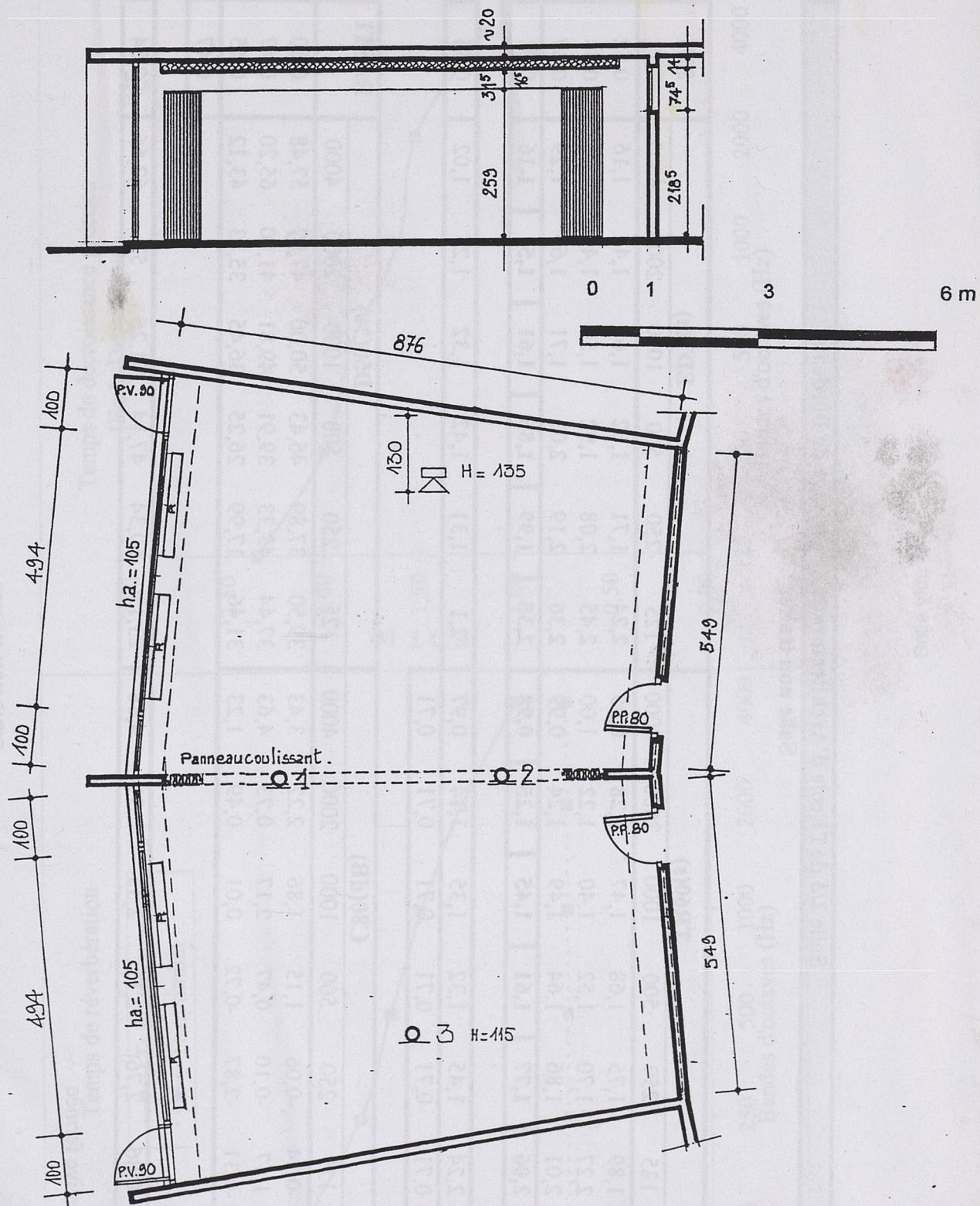
Nombre de points de mesures	3+1(Salle 2 isolée)
Nombre de point(s) source(s)	1
Micros utilisés	Micro Cirrus MK24 01dB
Source utilisée	Nagra DSM Monitor
Ordre de la séquence	15
Fréquence d'échantillonnage	16 kHz

Temps de réverbération moyens :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tr Mesuré	2,06	1,77	1,61	1,45	1,25	0,98
Tr Optimum	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

(Voir tableaux de mesure correspondants)

Les documents iconographiques et architecturaux sont donnés ci-après.



Salles 2/3(*) et 5/6 Plan et coupe transversale

(*) Sans faux-plafond

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Salle non traitée

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	1,89	1,75	1,68	1,47	1,28	0,95	2,24	1,71	1,62	1,61	1,46	1,16	0,52
2	2,27	1,70	1,52	1,40	1,22	1,00	2,45	2,08	1,92	1,50	1,48	1,03	
3	2,01	1,86	1,64	1,49	1,24	0,99	2,36	2,19	2,03	1,71	1,60	1,29	
MOY	2,06	1,77	1,61	1,45	1,25	0,98	2,35	1,99	1,86	1,61	1,51	1,16	0,51

Salle 2*	2,24	1,45	1,32	1,35	1,14	0,97	2,1	1,31	1,42	1,32	1,23	1,02	0,55
Topt	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71							

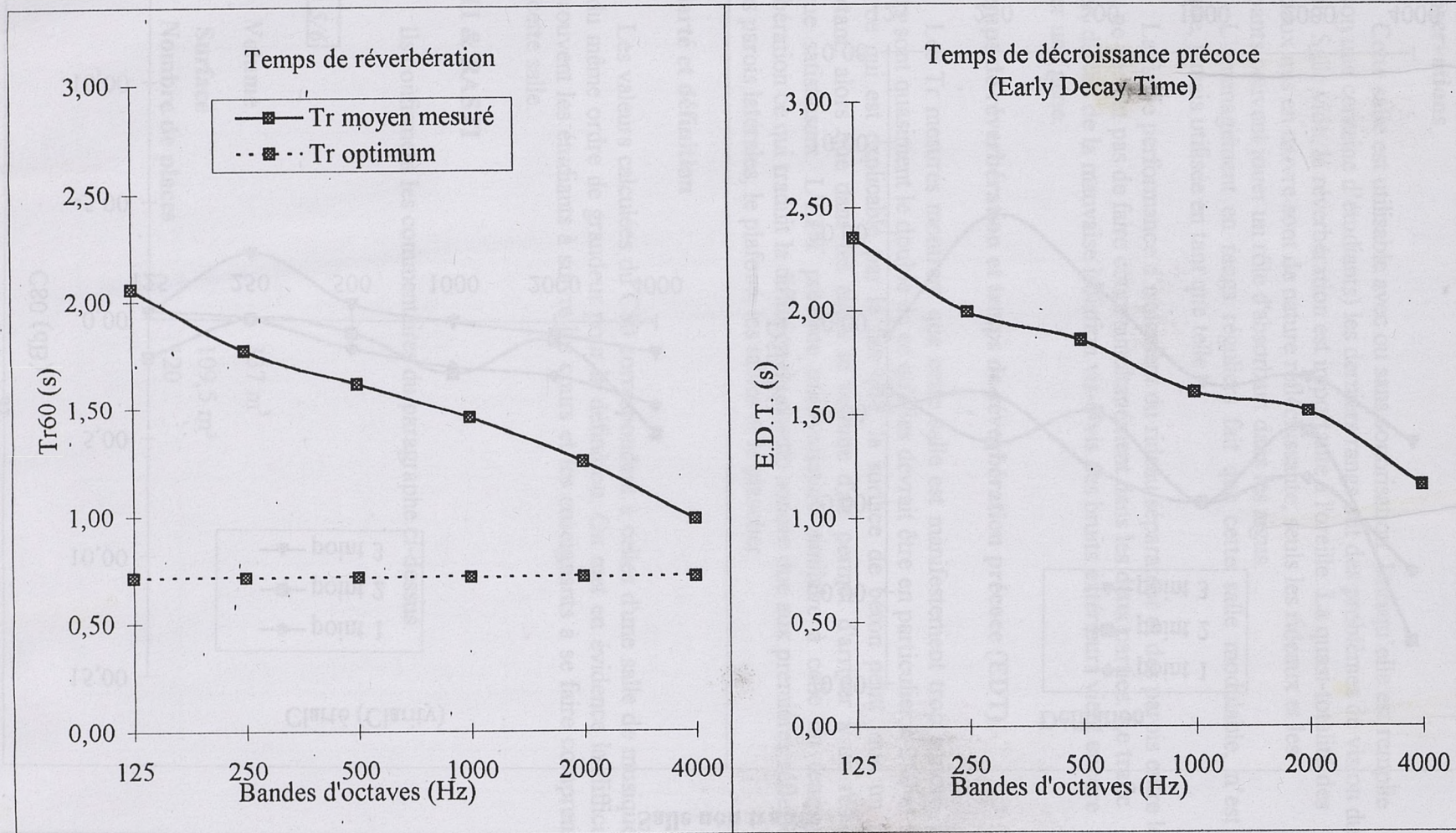
Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	-0,34	-0,06	1,15	1,86	2,22	3,43	39,50	37,89	46,43	50,00	47,07	57,48	0,50
2	1,57	-0,10	0,47	2,17	0,73	4,63	37,44	43,33	39,91	49,81	41,80	65,20	0,47
3	-0,31	-2,87	-0,72	0,01	0,49	1,23	31,46	17,99	26,25	36,45	35,83	43,12	0,45
MOY													0,47

Salle 2*	-0,86	2,76	2,15	2,33	2,91	4,88	23,11	60,34	47,14	51,26	53	62,66	0,54
----------	-------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	------

* paroi séparative fermée

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

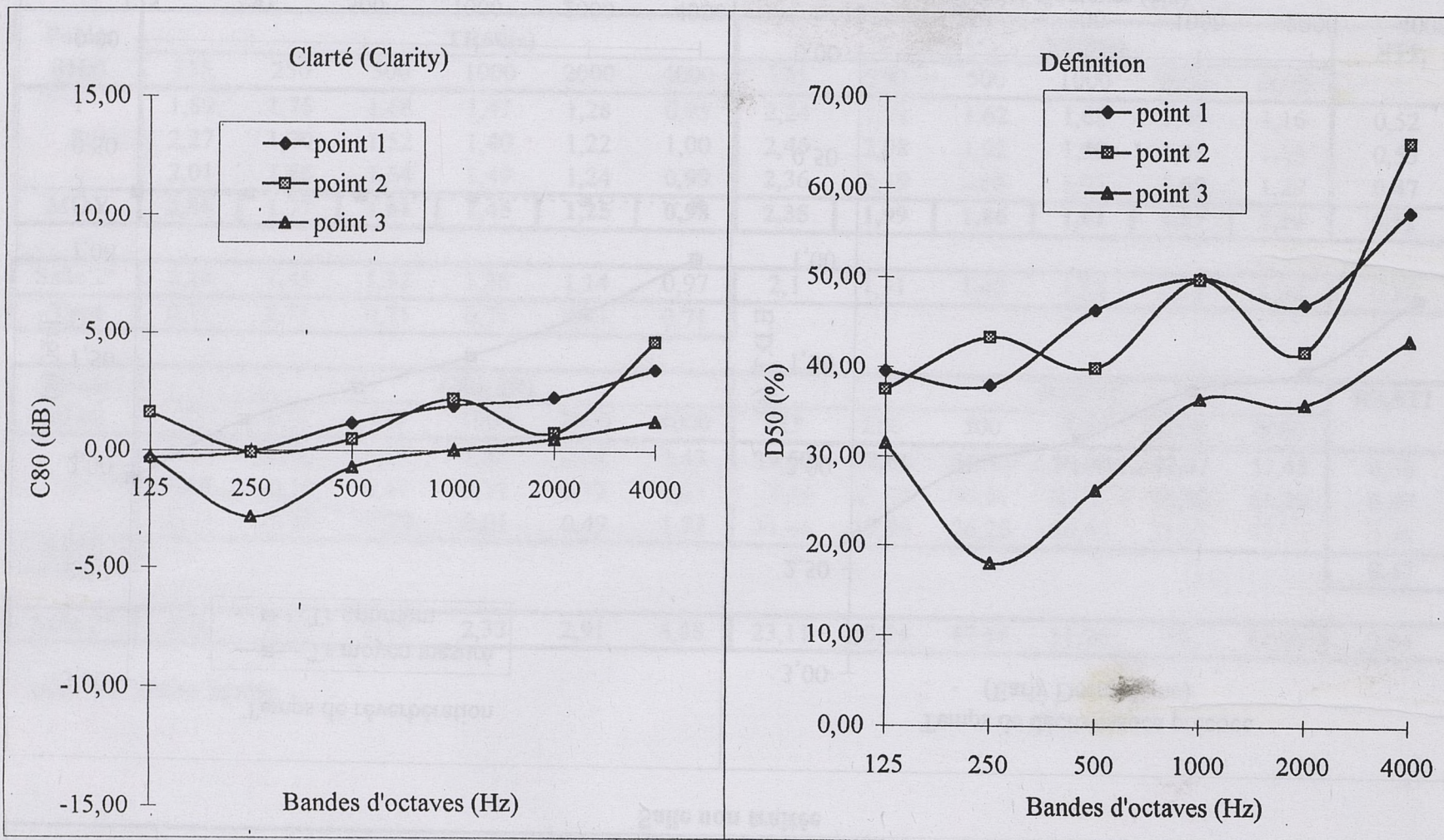
Salle non traitée



Salle vide

Salle 2/3 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Salle non traitée



Salle vide

□ Observations

Cette salle est utilisable avec ou sans sonorisation. Lorsqu'elle est remplie (environ une centaine d'étudiants) les derniers rangs ont des problèmes de vision du tableau. Salle vide, la réverbération est importante à l'oreille. La quasi-totalité des matériaux mis en œuvre sont de nature réfléchissante; seuls les rideaux et les occupants peuvent jouer un rôle d'absorbant dans les aigus.

L'aménagement en rangs réguliers fait que cette salle modulable, n'est en pratique, jamais utilisée en tant que telle.

La faible performance d'isolement du rideau séparateur et des parois entre les salles, ne permet pas de faire cours simultanément dans les deux parties. Le trafic routier, du fait de la mauvaise isolation vis-à-vis des bruits extérieurs vient encore ajouter une gêne.

□ Temps de réverbération et temps de réverbération précoce (EDT)

Les T_r mesurés montrent que cette salle est manifestement trop sonore. Les valeurs sont quasiment le double de ce qu'elles devrait être en particulier à 250 et 500 hertz ce qui est explicable par le fait que, la surface de béton peint joue un rôle important, alors que dans les aigus le volume d'air permet d'arriver à un résultat presque satisfaisant. L'EDT présente une variation similaire à celle du temps de réverbération ce qui traduit la diffusion du champ sonore due aux premières réflexions sur les parois latérales, le plafond, les tables et le plancher.

□ Clarté et définition

Les valeurs calculées du C80 correspondent à celles d'une salle de musique et sont du même ordre de grandeur pour la définition. On met en évidence la difficulté qu'éprouvent les étudiants à suivre les cours et les enseignants à se faire comprendre dans cette salle.

□ STI & RASTI

Ils confirment les commentaires du paragraphe ci-dessus.

Salle 5/6

Volume	337 m ³
Surface	109,5 m ²
Nombre de places	120

Descriptif matériaux

Nombre/Superficie

Sol	Dalles thermoplastiques	109,5 m ²
Murs	Béton peint	101 m ²
	Simple vitrage	40 m ²
	Porte isoplane	3,36 m ²
	Radiateurs en fonte	7,2 m ²
	Rideaux en matière plastique	Variable
Plafond	Paroi séparative	Variable
	Vermiculite projetée	11,4 m ²
	Faux-plafond(Dalespace rainuré)	98 m ²
Mobilier	Chaises en plastique	57
	Tables en stratifié	51
	Armoires métalliques	2

Données acoustiques

Relevé dB Impuls :

Nombre de points de mesures	3+1(Salle 5 isolée)
Nombre de point(s) source(s)	1
Micros utilisés	Micro Cirrus MK24 01dB
Source(s) utilisée(s)	Nagra DSM Monitor
Ordre de la séquence	15
Fréquence d'échantillonnage	16 kHz

Temps de réverbération moyens :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tr Mesuré	0,47	0,90	0,95	1,01	1,18	1,05
Tr Optimum	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

(Voir tableaux de mesure correspondants)

Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Salle traitée

Points f(Hz)	TR60(s)						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	0,42	0,92	0,94	1,01	1,16	1,07	0,40	0,90	1,05	1,15	1,34	1,18	0,58
2	0,34	0,78	0,86	0,99	1,16	1,00	0,34	1,00	0,98	1,21	1,44	1,11	0,60
3	0,66	0,99	1,05	1,02	1,21	1,08	0,54	1,03	1,10	1,34	1,58	1,38	0,54
MOY	0,47	0,90	0,95	1,01	1,18	1,05	0,43	0,98	1,04	1,23	1,45	1,22	0,57
Salle 5*	0,44	0,72	0,92	0,98	0,98	1,02	0,3	0,59	0,88	1,04	1,26	1,14	0,62
Topt	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71							

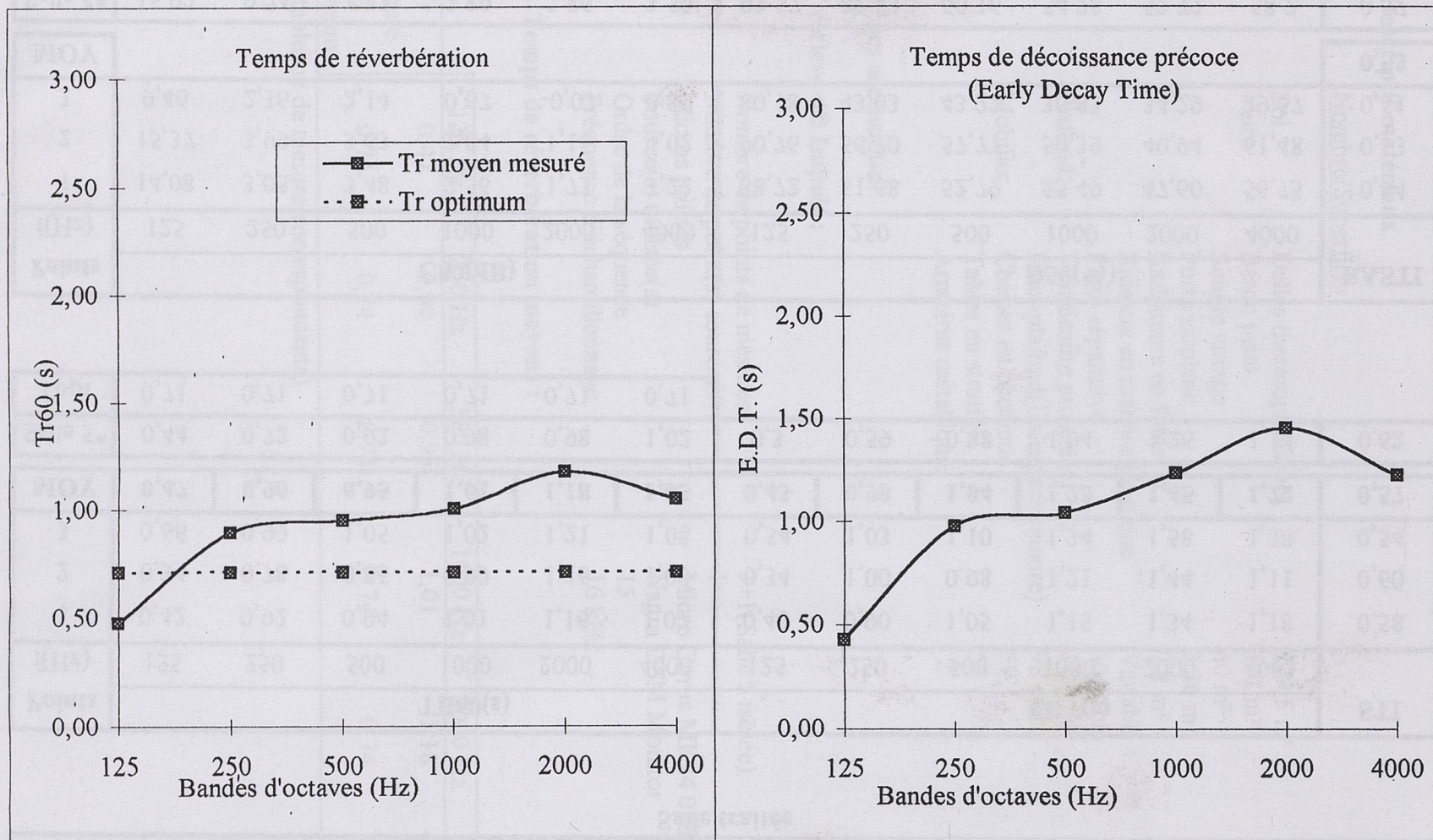
Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
1	14,08	3,05	3,48	2,56	1,73	3,22	88,72	51,68	52,79	55,49	47,60	56,75	0,54
2	15,37	3,99	3,63	2,84	1,16	4,02	90,76	56,70	57,77	50,39	40,94	61,48	0,53
3	9,46	2,16	2,14	0,67	-0,03	0,80	80,18	43,03	43,22	36,83	34,29	39,57	0,51
MOY													0,53
Salle 5*	15,92	9,24	4,43	3,89	2,86	3,59	92,57	82,83	60,16	54,28	52,72	58,2	0,57

* paroi séparative fermée

Salle vide

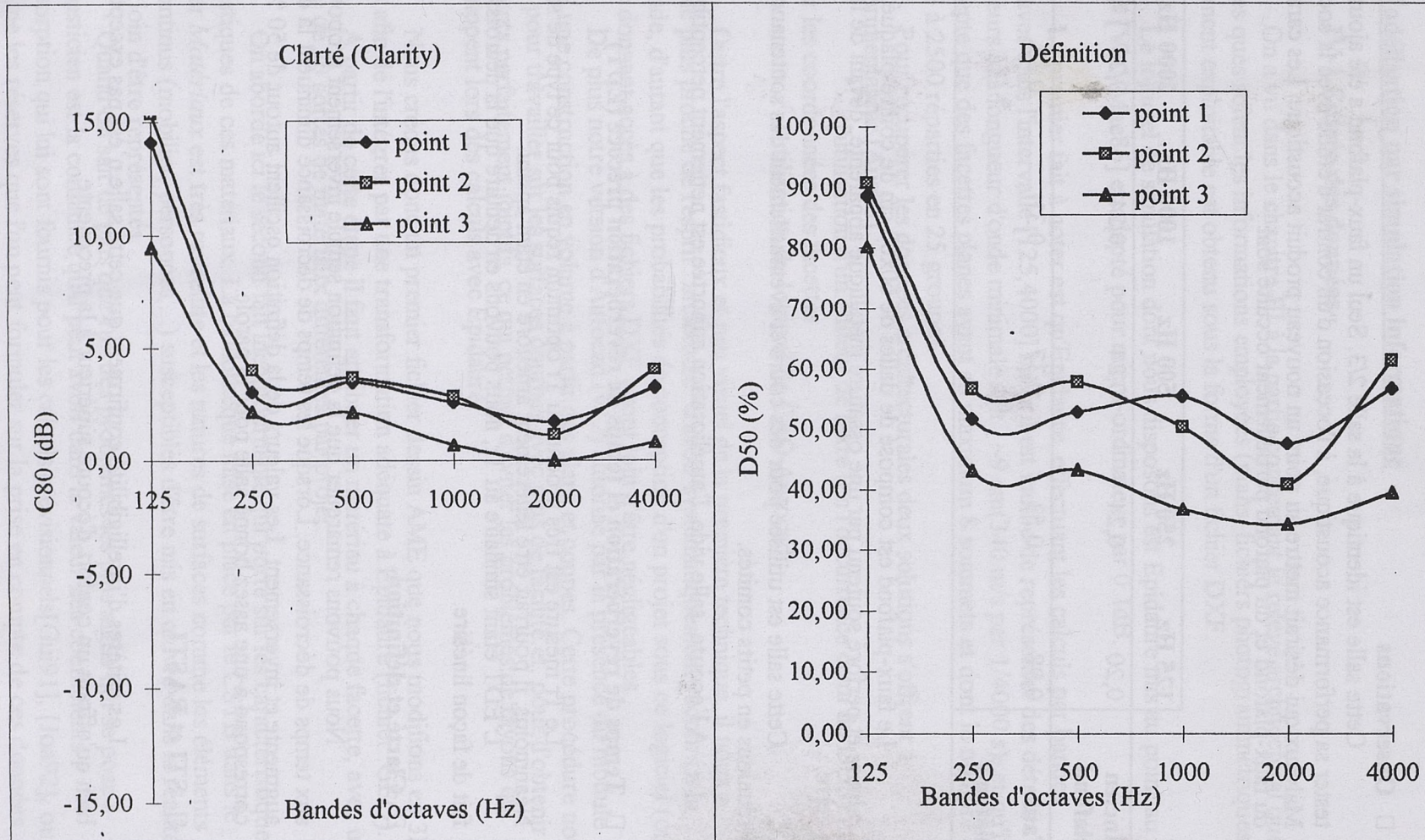
Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Salle traitée



Salle 5/6 de l'Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux

Salle traitée



Salle vide

□ Observations

Cette salle est identique à la salle 2/3. Seul un faux-plafond a été ajouté pour tester sa performance acoustique, à l'occasion d'un contrat d'étude avec la société Malvaux qui désirait mettre au point un nouveau produit acoustique. Les caractéristiques du faux-plafond et du plafond partiellement occulté sont :

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ancien plafond	0,20	0,24	0,24	0,24	0,26	0,32
Faux-plafond	0,98	0,53	0,37	0,31	0,28	0,29

Le faux-plafond est composé de dalles de 60x60 cm de contre-plaqué bois rainuré et perforé soutenu par une ossature métallique apparente, devant de la laine de verre.

Cette salle est utilisée pour des cours et éventuellement des soutenances et des réunions en petits comités.

A l'écoute, salle vide, l'amélioration apportée est nettement perceptible.

□ Temps de réverbération et temps de réverbération précoce (EDT)

Le T_r mesuré est très proche du T_r optimum requis pour ce type de salle. Néanmoins, il pourrait être légèrement amélioré en étant aplani.

L'EDT étant similaire au T_r , nous pouvons en déduire que la décroissance se fait de façon linéaire.

□ Clarté et définition

Nous pouvons remarquer que la définition semble inversement proportionnelle aux temps de décroissance. Lorsque les temps de décroissance diminuent la définition augmente et inversement. Les valeurs de la définition oscillent autour de 50 %, ce qui correspond à une assez bonne salle pour la parole.

□ STI et RASTI

Les critères d'intelligibilité confirment que cette salle n'est pas exceptionnelle bien qu'offrant un confort d'écoute supérieur à la précédente.

IV Modélisation par simulation informatique

IV-1 Entrée des données

On a vu dans le chapitre III à la partie concernant le relevé architectural que quelles que soient les informations employées (plans, fichiers photogrammétriques) le document exploitable est obtenu sous la forme d'un fichier DXF.

Le logiciel de simulation dont nous disposons est Epidaure mis au point au CSTB [ViaVMae86] et adapté pour micro-ordinateur par 0.1dB.

Le premier fait à noter est qu'Epidaure, effectuant les calculs par bandes d'octaves dans l'intervalle [125,4000] hertz il est inutile de représenter des détails inférieurs à la longueur d'onde minimale soit : ~ 9 cm (340 m/s par 1/4000 s), et qu'il n'accepte que des facettes planes ayant au maximum 8 sommets et dont le nombre est limité à 2500 réparties en 25 groupes.

Pour récupérer les données architecturales deux solutions s'offrent à l'expérimentateur [Auz93] :

- l'utilisation d'un éditeur de texte (en l'occurrence celui du DOS) pour entrer les coordonnées des facettes
- l'utilisation du logiciel de CAO Autocad

Outre l'aspect fastidieux et peu visuel de la première technique, il nous a semblé plus proche de l'esprit "architecte" d'avoir systématiquement recours à la seconde, d'autant que les probabilités de conception d'un projet sous ce logiciel (ou un autre donnant accès à des fichiers DXF) sont loin d'être négligeables.

De plus notre version d'Autocad (v12) autorise par la présence du module AME une construction en volume à partir des plans et coupes. Cette procédure nous aide, pour travailler sur les surfaces courbes avec plus de facilité, et, pour d'obtenir des éléments parfaitement jointifs, ce qui permet d'éviter les problèmes de rayons qui s'échappent lors des calculs avec Epidaure.

Nous créons donc un premier fichier dessin AME que nous modifions en 3D faces afin de l'intégrer par une transformation adéquate à Epidaure (fichier .GEO).

A partir de cette étape il faut attribuer un matériau à chaque facette, avec une limite de 20 sortes de matériaux différentes par projet.

On aborde ici le second fait incontournable qui porte sur les caractéristiques acoustiques de ces matériaux. La bibliothèque mise en place par le CSTB dans le fichier *Matériaux* est très restreinte et les natures de surfaces comme les éléments discontinus (mobilier, personnes,...) susceptibles d'être mis en œuvre dans la réalité sont loin d'être représentés.

Quand on sait de plus que l'un des problèmes les plus aigus qui se pose à l'acousticien est la confiance qu'il peut avoir dans la valeur des coefficients d'absorption qui lui sont fournis pour les calculs prévisionnels [Gui91], [Joa92], on imagine les réserves que l'on peut formuler sur la prise en compte de ces données.

Il faut tout de même noter que l'on peut "alimenter" cette bibliothèque avec ses propres informations, ce qui est d'ailleurs fortement recommandé.

Dans ce cas pour entrer ces données, comme pour modéliser la géométrie de la salle une bonne connaissance de cette salle est indispensable et tous les documents informatifs (plans, descriptif, photographies,...) sont précieux.

Dans cet optique notre chaîne de relevé photogrammétrique représente un atout supplémentaire. En effet nous disposons d'éléments contractuels (mesurés et représentatifs) de l'état des lieux auxquels on peut revenir même si on se trouve loin de la salle.

De plus tous les éléments architecturaux n'étant pas repérés sur les plans (ou les plans n'existant pas) on peut récupérer de façon exacte l'emplacement et la disposition de ces éléments.

Enfin la simulation de la source pose les problèmes évoqués dans le paragraphe II-1. On peut créer dans le fichier *Sources* des sources qui soient le plus proches possible d'une part de celle que l'on utilise pour les mesures, d'autre part de celles que l'on trouvera dans cette salle. Les caractéristiques sont entrées suivant le principe des angles de coupure à -3 dB (au delà desquels le niveau émis est inférieur de plus de 3 dB au niveau maximum) dans les plans horizontaux et verticaux.

De ce fait il nous est impossible d'employer notre propre base de données.

Le recours à un logiciel de prévision se justifie :

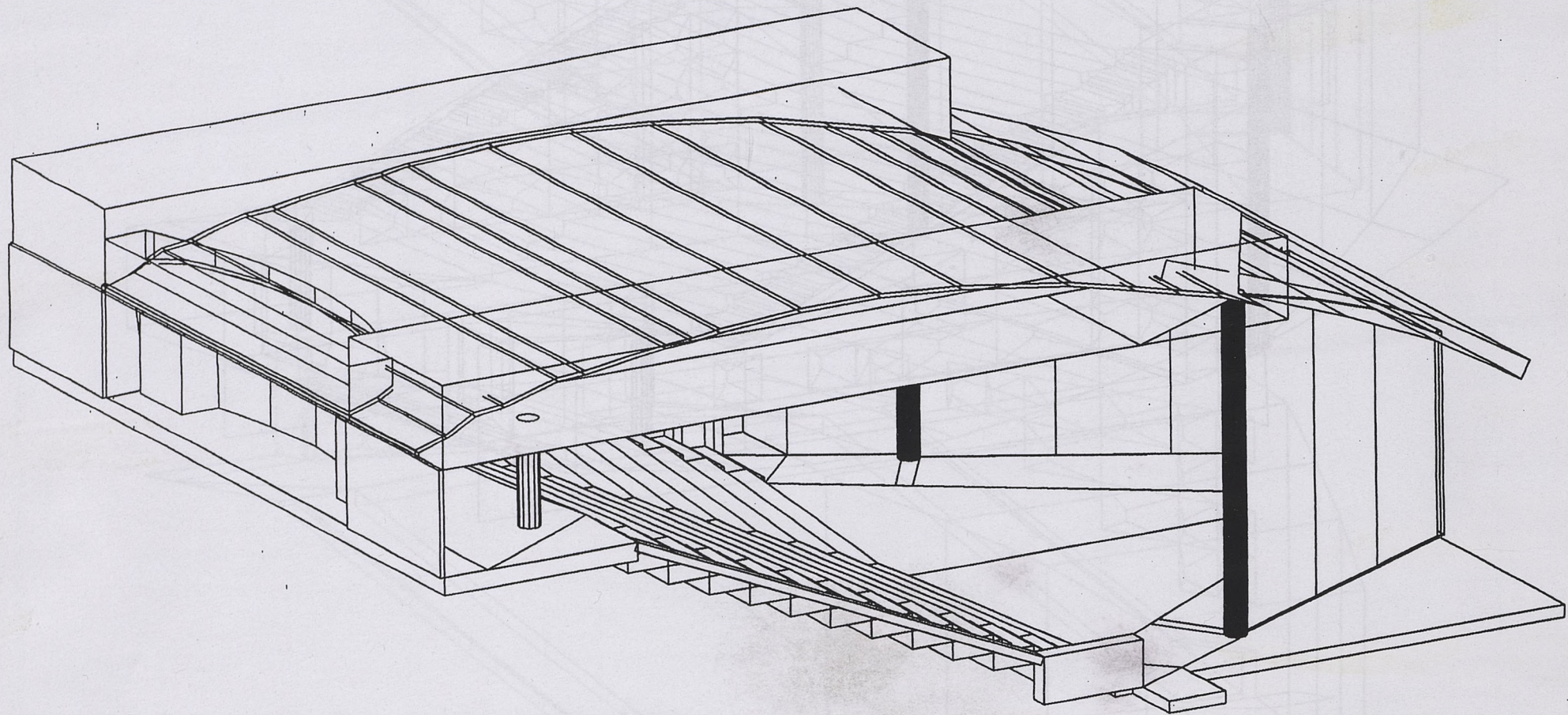
1. - d'une part sur des projets, si possible au niveau de la conception pour vérifier qu'aucune grosse erreur ne sera faite dans le choix de la forme ou celui des matériaux (avec les réserves évoqués plus haut)
2. - d'autre part pour déterminer les améliorations acoustiques que l'on peut apporter dans une salle existante après avoir procédé à des mesures.
3. - enfin pour tirer des leçons de salles exemplaires du point de vue de la qualité acoustique (analyse par références qui est une approche typiquement architecturale).

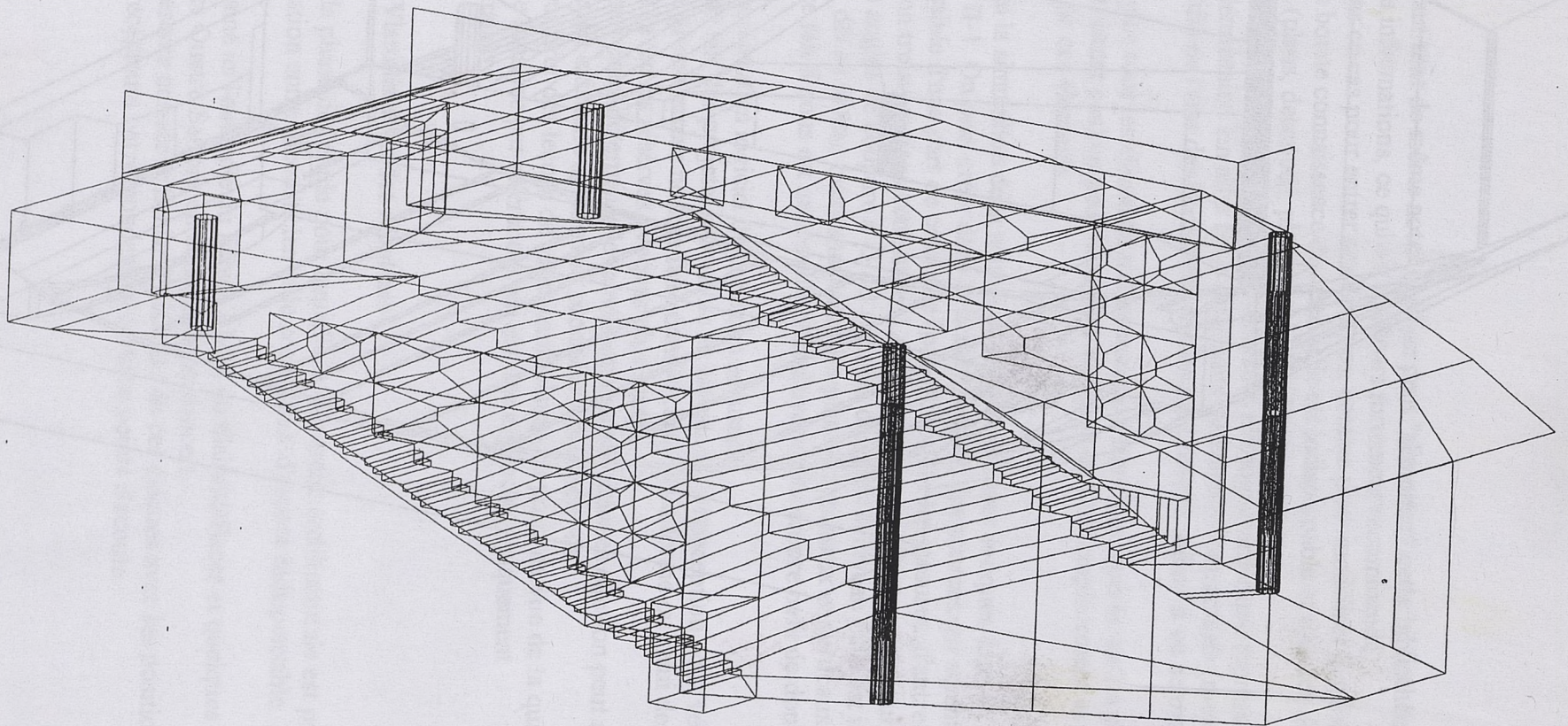
IV-2 Visualisation des résultats

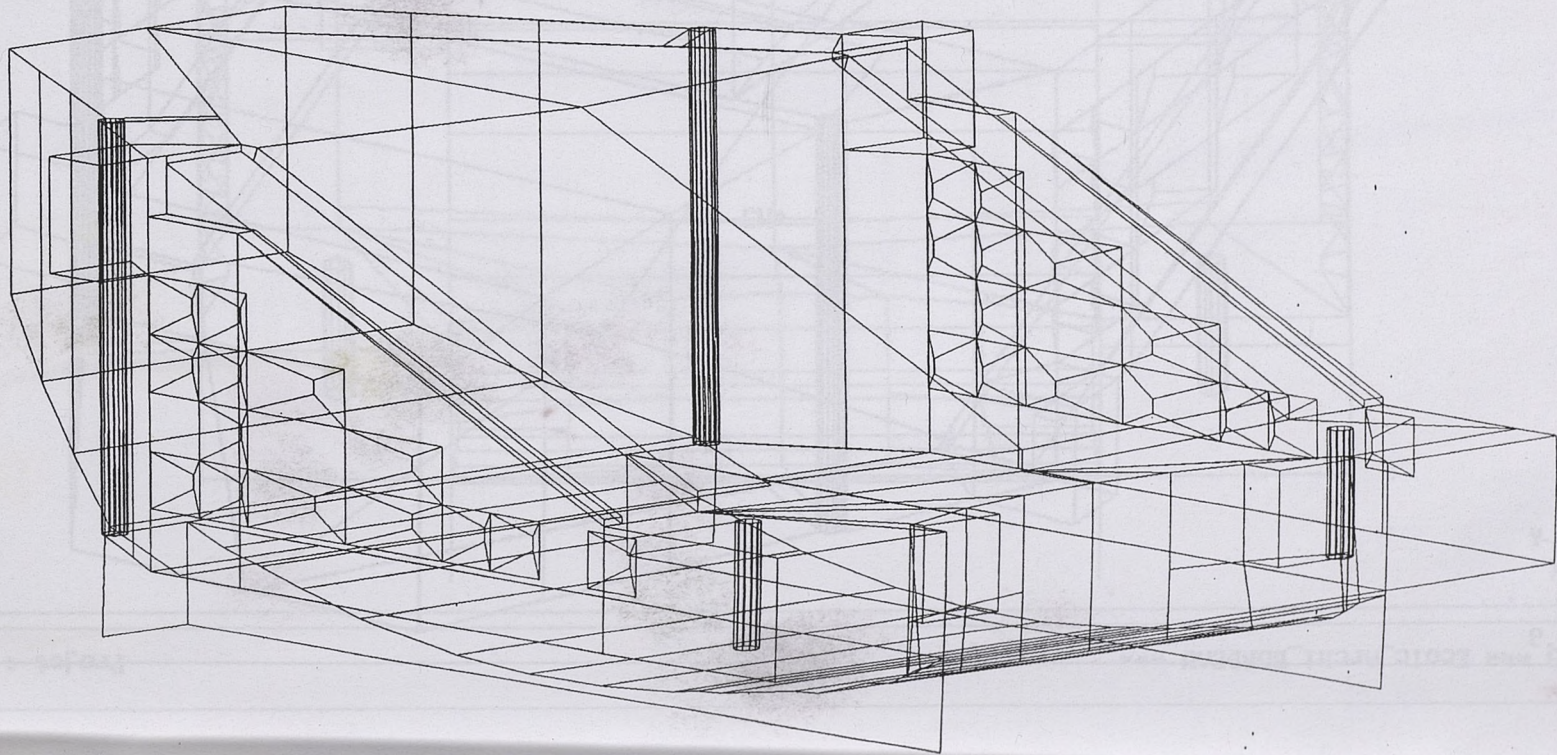
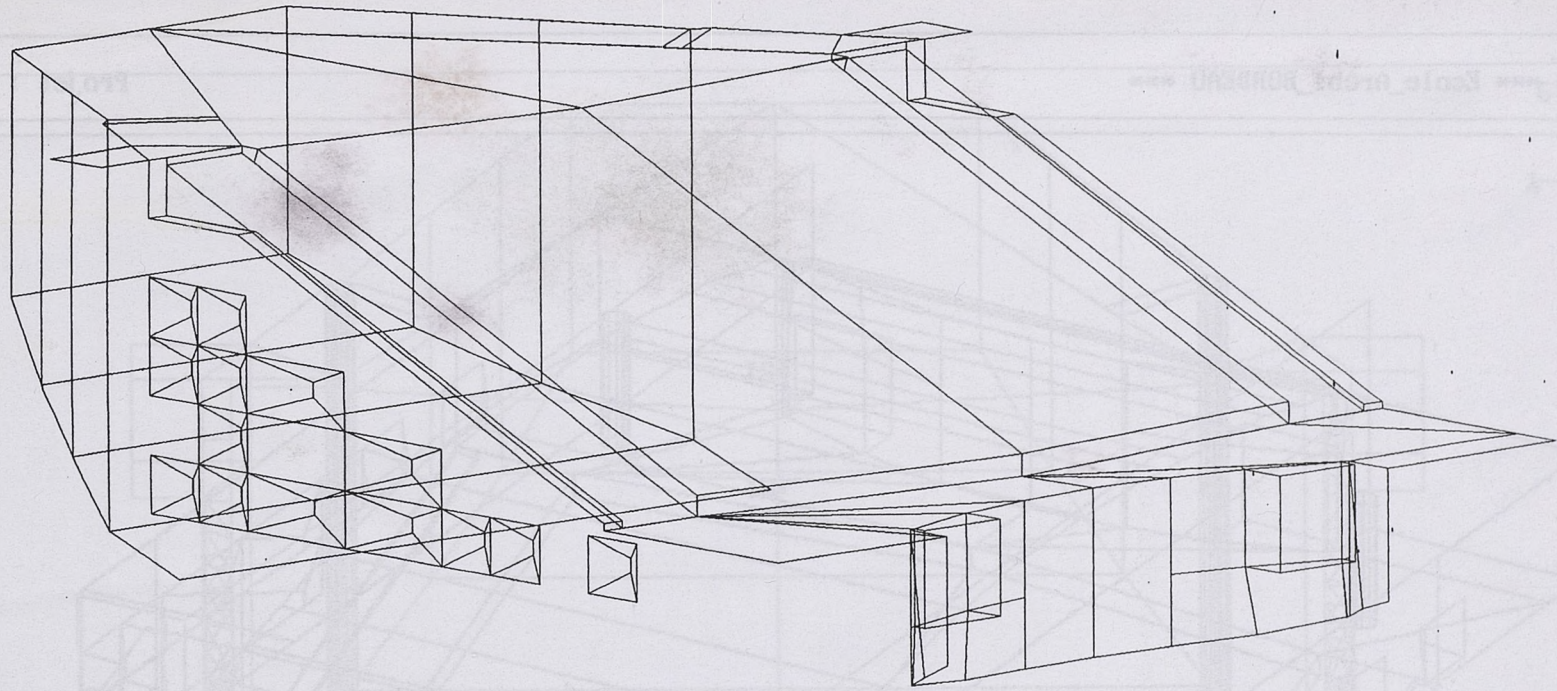
C'est la phase de l'étude pour laquelle la démarche architecturale est privilégiée et la collaboration entre l'acousticien et le concepteur d'espace indispensable.

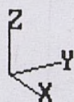
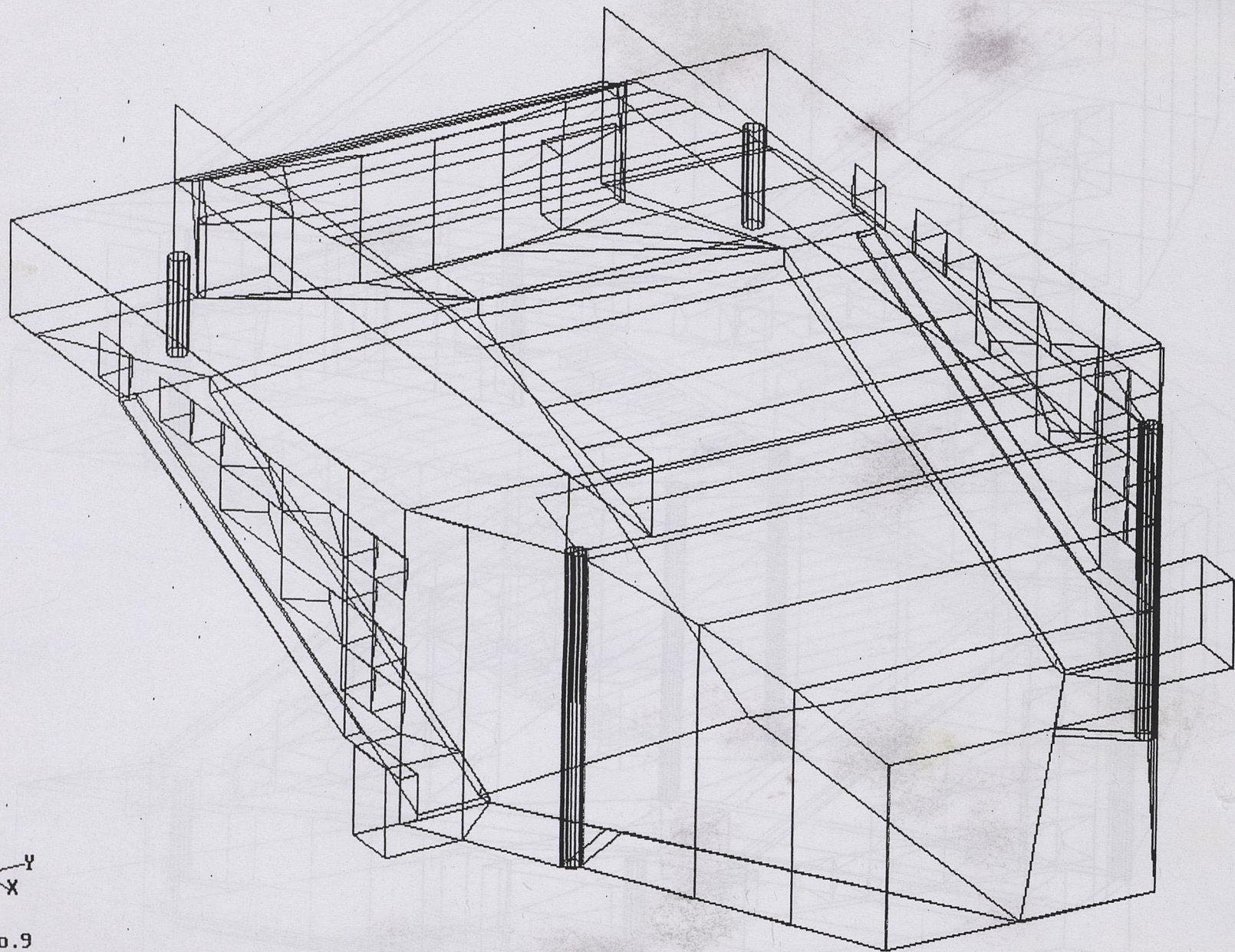
On donne ici l'exemple du fichier AME, du filaire3DFaces et quelques calques du Théâtre des Quatre Saisons en configuration concert.

On présente ensuite le fichier .GEO issu de ces calques avec les positions d'une source et de récepteurs correspondants à certains points d'écoute.

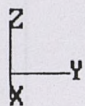
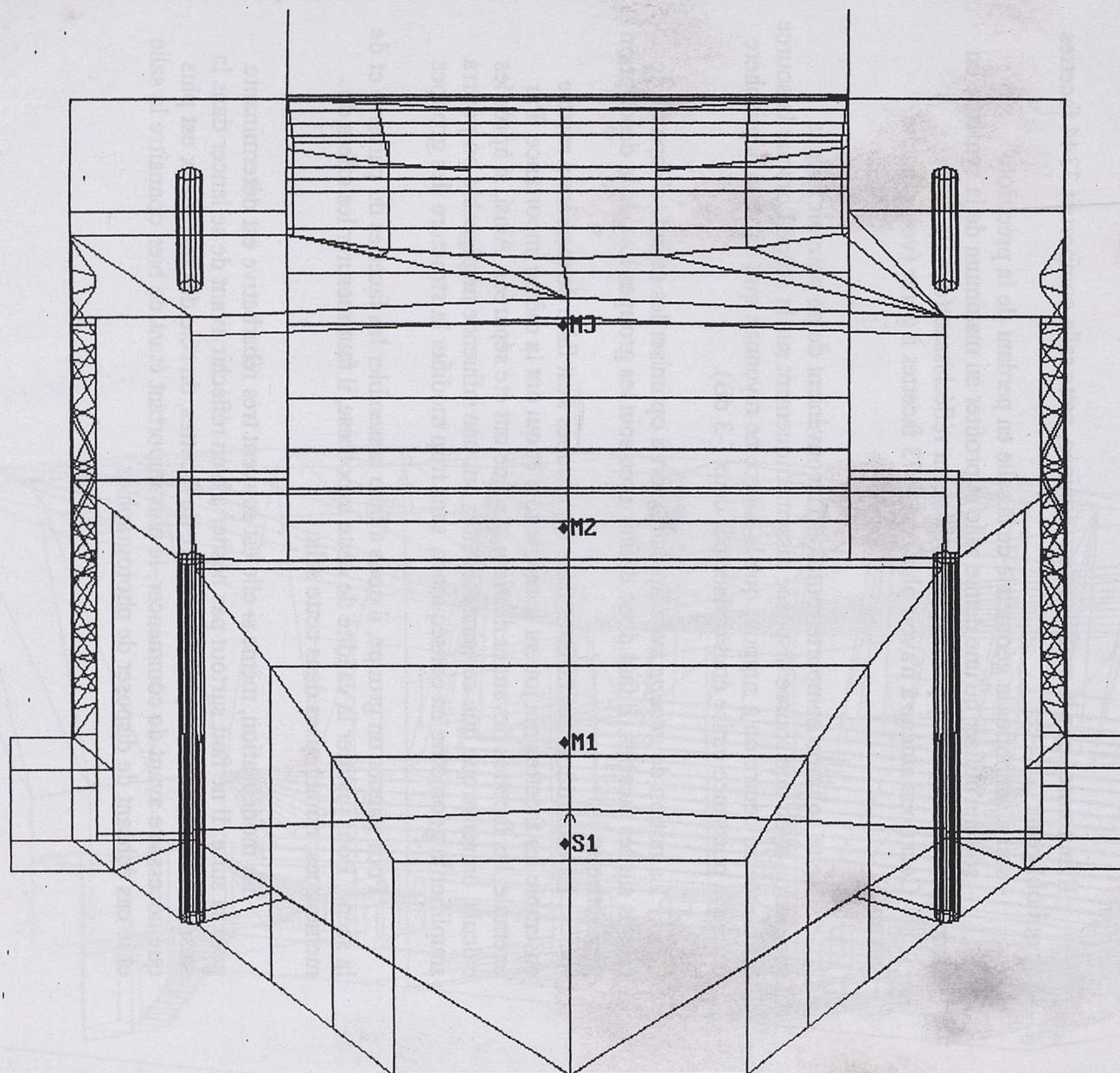








Visu no.9



Visu no.9

Enfin on montre les résultats de l'application d'Epidaure au Palais des Sports [DelePui94].

La démarche qui suit représente la première partie d'une utilisation "de type 2" d'Epidaure (modélisation, calage du modèle et essais d'amélioration architecturale de la salle).

Il faut noter que la modélisation terminée, cette salle comportait 3344 facettes ce qui obligeait:

- soit à simplifier la géométrie de la salle en perdant de la précision.
- soit à n'utiliser qu'une demie salle et profiter au maximum de la symétrie en remplaçant l'autre moitié par un plan totalement réfléchissant ($\alpha = 0$).

Ceci nous amène à n'avoir plus que 1673 facettes à gérer (voir planche suivante).

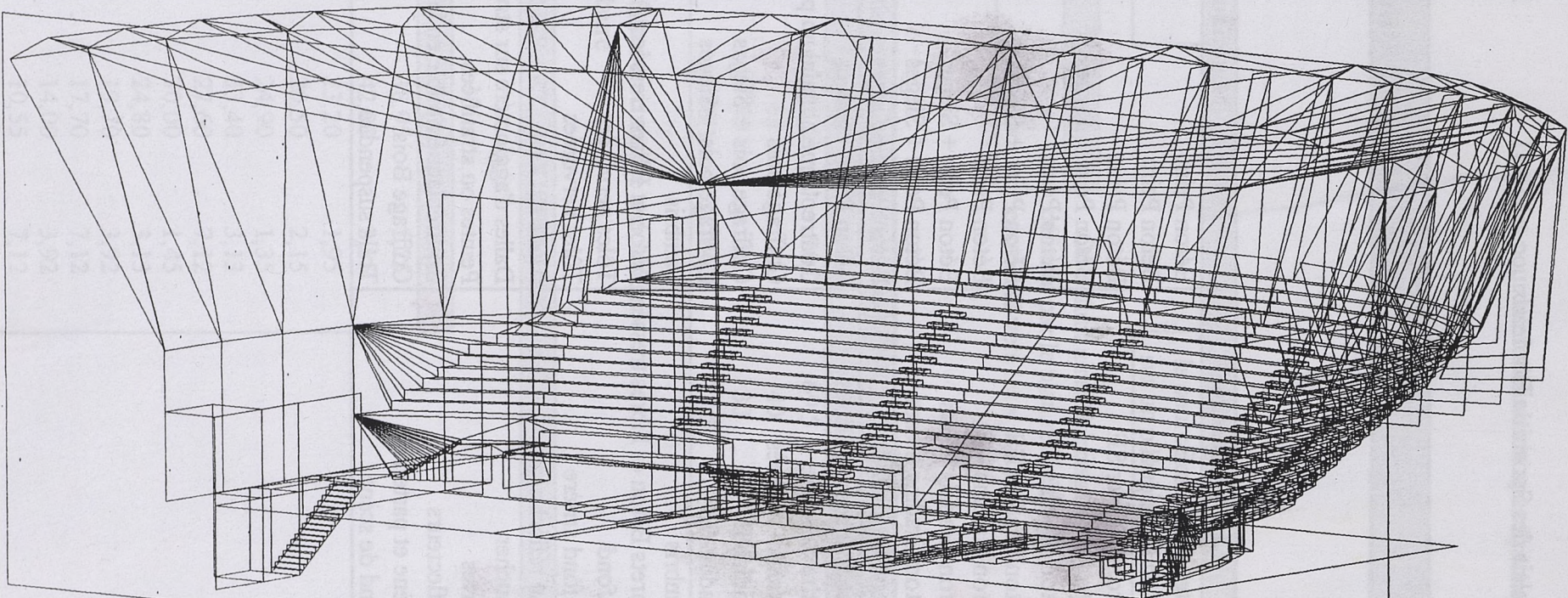
Cette solution comporte toutefois l'inconvénient de ne pouvoir faire la simulation avec une source disposée dissymétriquement sur la scène. Lorsque la source est placée au centre on a supposé que la source ne rayonnait que dans un hémisphère et que la puissance émise était divisée par deux (-3 dB).

La notion de *groupe* avec Epidaure sert à optimiser les calculs d'impacts de rayons sur les facettes. Il faut donc définir avec soin les groupes lors de la description géométrique.

La répartition des facettes dans les groupes s'est faite de manière à mettre ensemble les facettes qui jouent le même rôle et qui ont la même importance. Par exemple, les facettes devant et derrière la scène ont été séparées. Ainsi, si après les calculs, on remarque que certaines facettes ont une influence négligeable on pourra simplifier la géométrie en conséquence, sans trop modifier la structure des groupes.

Pour gagner un groupe, il nous a fallu rassembler les facettes du parterre et de la scène. Pour justifier la validité de cette hypothèse, il faut mesurer les effets de membranes, nombreuses dans cette salle.

La modélisation, même si elle est souvent très rébarbative est déterminante pour la suite. Il ne faut surtout pas hésiter à bien réfléchir avant de se lancer dans la saisie. Une évaluation rapide du nombre de facettes, du rôle des matériaux est plus que nécessaire avant de commencer, le plus important étant de bien connaître la salle et le cas échéant de disposer de photographies.



NO	DESCRIPTION	UNIT	QTY	AMOUNT	DATE
001
002
003
004
005
006
007
008
009
010
011
012
013
014
015
016
017
018
019
020
021
022
023
024
025
026
027
028
029
030
031
032
033
034
035
036
037
038
039
040
041
042
043
044
045
046
047
048
049
050
051
052
053
054
055
056
057
058
059
060
061
062
063
064
065
066
067
068
069
070
071
072
073
074
075
076
077
078
079
080
081
082
083
084
085
086
087
088
089
090
091
092
093
094
095
096
097
098
099
100

GROUPES ET MATERIAUX

Dénomination	Matériau	n° GRP	n° MAT	Nbre FAC
Béton Escalier E	Béton Peint	20	1	96
Béton Escalier S	Béton Peint	18	1	96
Béton Escalier SE	Béton Peint	19	1	96
Béton Gradins E	Béton Peint + Sièges	10	2	93
Béton Gradins EN	Béton Peint	13	3	89
Béton Gradins ES	Béton Peint + Sièges	9	4	100
Béton Gradins NE	Béton Peint	14	3	97
Béton Gradins S Bas	Béton Peint + Sièges	5	4	100
Béton Gradins S haut	Béton Peint + Sièges	6	4	95
Béton Gradins SE	Béton Peint + Sièges	8	4	100
Béton Gradins SSE	Béton Peint + Sièges	7	4	95
Cadre de scène	Contreplaqué aluminium peint	16	5	10
Escaliers et accès	Coffrage bois	3	6	99
Gradins E	Coffrage bois + Sièges	12	7	75
Gradins SE	Coffrage bois + Sièges	11	7	93
Lambris	Lambris	2	8	85
Murets Béton et Fibres tressées	Béton et Fibres tressées	15	9	13
Plafond	Tôles nervurées	22	10	80
Plafond arrière	Tôles nervurées	23	10	37
Plan réfléchissant	Alpha=0	25	11	1
Plancher	Dalles d'aggloméré sur structure porteuse	24	12	4
Portes	Peintes ou stratifiées	4	13	5
Réflecteurs	Contreplaqué doublé en laine de verre	21	14	13
Scène et parterre	Coffrage Bois	1	15	100
Fond de scène	Toile suspendue	17	16	1
TOTAL				1673

DONNEES DES SOURCES SONORES 1&2

Orientation	<i>Azimut</i> (°)	-90
	<i>Site</i> (°)	0
	<i>Rotation</i> (°)	0

Orientée vers la salle,
la source est disposée
sur un plan horizontal.

Angles limites		De	Jusqu'à
	<i>Azimut</i>	-90	90
	<i>Site</i>	-90	90

On définit ainsi l'hémisphère
délimité par le plan réfléchissant
et orienté vers les x positifs.

Délai d'émission 0.00 ms

Paramètres acoustiques (en bandes d'octaves) (*)						
<i>f</i> (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Niveau à 1m</i> (dB)	68,0	64,0	70,0	70,0	69,5	66,5
<i>Hor. -3dB</i> (°)	105	70	65	45	40	45
<i>Vert. -3dB</i> (°)	105	75	55	45	30	35
<i>Puissance</i> (dB)	77,0	71,3	76,1	74,2	71,5	69,6

(*) données obtenues à partir des mesures faites en chambre anéchoïque
le niveau de puissance est calculé par *Epidaure*

SOURCES ET RECEPTEURS

Point correspondant		X (m)	Y (m)	Z (m)
Source n°1	S1	0,02	38,95	1,75
Source n°2	S2	0,02	42,00	2,15
I1/I32	M1	8,70	23,20	1,95
L17	M2	0,02	20,50	2,15
C17	M3	0,02	24,90	1,35
05/056-05/210	M4	15,70	33,40	3,13
10/066-10/201	M5	21,60	27,60	7,12
01/066-01/200	M6	12,80	30,00	1,45
05/073-05/196	M7	16,50	24,80	3,13
06/084-06/176	M8	16,10	19,70	3,92
10/087-10/178	M9	19,50	17,70	7,12
05/106-05/153	M10	10,10	14,00	3,92
10/109-10/156	M11	11,35	10,55	7,12
06/131	M12	0,02	12,00	3,92
10/133	M13	0,02	8,50	7,12

IV-2-1 Prise en compte des matériaux dans la modélisation: les effets de membrane

On peut évaluer les effets de membranes en calculant les fréquences de résonance :

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{m \cdot d}}$$

avec m la masse surfacique et d la distance entre la membrane et la surface arrière.

Beaucoup de membranes se présentent ici :

- le parterre est un coffrage en bois de même que la scène et les gradins inférieurs.
- le sol est constitué de dalles d'aggloméré sur structure porteuse
- les réflecteurs sont constitués de contre-plaqué doublé de laine de verre
- le cadre de scène est composé de contre-plaqué d'aluminium peint
- le fond de scène est une toile suspendue
- enfin, les lambris.

On peut effectuer une évaluation rapide de la fréquence de résonance dans tous ces cas.

	m (kg/m ²)	d (m)	f ₀ (Hz)
Scène	30	entre 0.60 et 1.40	entre 90 et 140
Parterre	30	entre 0.60 et 1.00	entre 110 et 140
Gradins inférieurs	30	entre 0.40 et 2.00	entre 80 et 175
Sol	40	3.94	40
Réflecteurs	15	4	80
Cadre de scène	20	30 ou 40 (*)	20 ou 25
Fond de scène	0.5	30 ou 40 (*)	155 ou 135
Lambris	5	1.50	220

(*) 30 m dans le sens salle → arrière-salle, 40 m dans le sens contraire.

L'absorption des membranes étant très sélective, les effets de ces dernières ne se feront pas beaucoup sentir. Seul le fond de scène, les gradins et les lambris auront une influence non négligeable.

On ne pourra pas considérer que le cadre de scène et le fond de scène sont à 100 % des membranes car ce ne sont pas des caissons totalement fermés. On augmentera quand même les coefficients d'absorption aux fréquences de résonance en admettant que ces éléments (aux vues de leurs dimensions) jouent partiellement un rôle de résonateur.

En conclusion, la scène, le parterre et les premiers gradins sont comparables. On pourra, donc, les regrouper sans trop diminuer la précision. Ceci est d'autant plus vrai qu'au cours des mesures, la scène était occupée par des sièges tout comme le parterre et les gradins.

IV-2-2 Le calage

Le calage consiste à déterminer les éléments propres à la salle (forme, matériaux,...) et à la méthodologie de mesures in situ (position source-récepteur, évaluation des critères,...) que l'on peut reproduire dans le modèle afin de s'approcher au mieux de la réalité [Auz93].

De toute évidence le choix de dBImpuls s'impose puisqu'il y a compatibilité entre les quantités mesurées et celles qui sont calculées: Tr (Sabine, Eyring, statistique), échogrammes à partir desquels sont évalués EDT, C80, D50, STI,...

Les valeurs mesurées vont donc servir de référence (quand elles seront considérées comme fiables) et on va ajuster les propriétés des matériaux pour affiner le modèle de façon que le Tr mesuré et ceux donnés par simulation soient équivalents.

Le calcul étant fait une fois pour toutes, il suffit de modifier les caractéristiques des matériaux pour que le Tr soit instantanément réévalué.

Avant de se lancer dans la corrélation des mesures avec le Tr donné par Epidaure on pourra lister les résultats :

- pour déterminer les matériaux qui ont le plus d'influence. De cette manière, on ne s'attardera pas à modifier les caractéristiques de matériaux qui ne jouent aucun rôle.

- pour faire une approximation du volume utile et voir s'il n'est pas totalement aberrant (on trouve 23606 m^3 à partir du libre parcours moyen)

On remarque alors que tout le volume de la salle et de l'arrière-salle est bien utilisé et que l'on ne peut pas se limiter à la salle.

Dans le cas du Palais des Sports de Bordeaux, le fond de scène représente un gros problème car il joue un double rôle : d'une part il réfléchit les rayons, d'autre part il doit en transmettre une grande partie vers l'arrière scène. Ce deuxième rôle n'étant pas prévu par Epidaure on peut essayer de le considérer comme une superposition de deux états mais à quel ratio ? De plus, cette pondération varie avec la bande de fréquence considérée.

A l'écoute, il semble que la partie réfléchie est plus importante que la partie transmise on a donc choisi d'étudier le cas d'une paroi rigide en surévaluant les coefficients d'absorption pour tenir compte de la transmission. Toutes les remarques qui suivent s'appliquent seront fonction de ce choix.

Pour le Palais des Sports, les matériaux les plus influents sont (voir le tableau suivant):

- le toit
- les gradins devant la scène qu'ils soient en bois ou en béton puis, dans une moindre mesure :
- le cadre de scène
- les gradins juste à l'arrière du cadre de scène
- la scène et le parterre

**COEFFICIENTS D'ABSORPTION
DES MATERIAUX ET Tr CALCULES**

Coefficients d'absorption évalués

Matériaux	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1 Béton	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,070
2 Béton + sièges	0,010	0,030	0,100	0,140	0,140	0,200
3 Béton	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,070
4 Béton + sièges	0,010	0,030	0,100	0,140	0,140	0,200
5 Contreplaqué aluminium peint	0,200	0,190	0,180	0,160	0,110	0,100
6 Coffrage Bois	0,200	0,180	0,180	0,160	0,140	0,140
7 Coffrage Bois + Sièges	0,200	0,200	0,200	0,240	0,280	0,280
8 Lambris sur coffrage	0,140	0,130	0,120	0,100	0,080	0,070
9 Béton + fibres tressées	0,010	0,070	0,150	0,200	0,350	0,400
10 Toiture acier	0,420	0,380	0,320	0,250	0,200	0,150
11 Plan réfléchissant	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12 Dalles d'aggl. sur structure	0,400	0,350	0,350	0,300	0,200	0,200
13 Portes peintes ou stratifiées	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,080
14 Réflecteurs	0,200	0,300	0,300	0,400	0,600	0,800
15 Coffrage Bois	0,200	0,200	0,200	0,250	0,280	0,280
16 Toile suspendue	0,300	0,200	0,300	0,250	0,200	0,200

Tr Calculés (secondes)

Tr Sabine Source n°1	2,51	2,53	2,48	2,48	2,47	2,07
Tr Sabine Source n°2	2,50	2,52	2,47	2,46	2,46	2,06

Tr Statistique Source n°1	2,53	2,55	2,50	2,50	2,49	2,09
Tr Statistique Source n°2	2,52	2,54	2,49	2,49	2,48	2,07

RESULTATS DES CALCULS DE Tr

Fréquence d'impact par groupe

(Somme des fréquences d'impact normalisées par facette)

n° du groupe	Fréquence d'impact (%)	
	Source n°1	Source n°2
1	8,16%	8,30%
2	1,41%	1,33%
3	0,83%	0,92%
4	0,42%	0,40%
5	1,74%	2,08%
6	5,00%	5,17%
7	2,01%	1,25%
8	2,52%	2,79%
9	2,20%	4,36%
10	4,95%	4,88%
11	1,24%	1,19%
12	1,02%	1,02%
13	4,32%	4,20%
14	4,08%	3,87%
15	1,60%	1,65%
16	9,44%	9,51%
17	2,52%	2,45%
18	0,10%	0,12%
19	0,04%	0,06%
20	0,00%	0,00%
21	4,21%	4,21%
22	22,53%	20,83%
23	2,72%	2,70%
24	3,59%	3,51%
25	13,35%	13,20%
TOTAL :	100,00%	100,00%

RESULTATS DES CALCULS DE Tr

Pondération par matériau

n° du matériau	Aire de surface (m ²)	Pondération absolue	
		Source n°1	Source n°2
1	55,03	0,52%	0,52%
2	345,32	4,72%	4,83%
3	920,70	8,34%	8,37%
4	1 257,11	15,43%	15,53%
5	453,85	9,42%	9,47%
6	105,34	0,90%	0,91%
7	143,55	2,22%	2,19%
8	112,33	1,39%	1,36%
9	59,75	1,58%	1,61%
10	1 698,66	23,33%	23,36%
11	1 679,00	13,35%	13,16%
12	973,62	3,57%	3,46%
13	22,28	0,39%	0,37%
14	142,00	4,19%	4,19%
15	507,49	8,16%	8,24%
16	108,00	2,50%	2,42%
TOTAL :	8 584,03	100,01%	99,99%

Libre parcours moyen

	Source n°1	Source n°2
Libre parcours moyen	11,00	10,93
Variance normalisée	0,63	0,63

On remarque que le fond de scène n'a pas une place prépondérante et que les réflecteurs et les escaliers ont peu d'influence dans le calcul du Tr. On pourrait éventuellement simplifier la géométrie de la salle en supprimant les escaliers qui ne jouent pratiquement aucun rôle.

Les mesures que nous avons effectuées avaient pour le moins posé des problèmes dans les graves. Le nombre de membranes agissant dans les basses fréquences étant non-négligeable, on a donc considéré que dans les graves la courbe devrait être plate.

Valeurs de Tr à approcher au cours du calage

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Source n°1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,1
Source n°2	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,0
Tr optimum	2,9	2,0	1,9	1,9	1,9	1,7

Ensuite, l'interrogation s'est portée sur le rôle de chacun des matériaux et ce, pour quelle bande de fréquence :

- le toit n'étant pas bien épais, il doit transmettre une partie du signal surtout dans les graves ; ce qui, pour Epidaure, signifie que le signal est absorbé : il faut augmenter les coefficients d'absorption pour en tenir compte.

- les gradins en bois, bien que passablement encrassés, ont une surface suffisamment irrégulière pour absorber dans les aigus.

- les gradins en béton qui sont recouverts de sièges en plastique doivent un peu absorber le signal par réflexions multiples entre le plastique et le béton dans les hautes fréquences (4000 hertz).

- le cadre de scène, la scène et le parterre jouent (partiellement ou totalement) le rôle de membrane, nous l'avons vu. Ainsi, les basses fréquences seront atténuées.

- de plus, pour les mêmes raisons que pour les gradins, la scène et le parterre auront un léger rôle d'absorbant dans les aigus (état de surface, présence de sièges).

On augmentera un peu les coefficients du cadre de scène qui transmet une partie du signal.

En résumé, les matériaux influents qui absorbent dans les basses sont :

- le cadre de scène (par transmission et effet partiel de membrane)
- le plafond (par transmission)
- la scène et le parterre (par effet de membrane)

Les matériaux influents qui absorbent dans les aigus sont :

- les gradins recouverts de sièges
- le plafond (par transmission par réflexions multiples dans les haut-médiums)
- le cadre de scène (par transmission)
- les coffrages en bois

Grâce à ces éléments de réflexion, les coefficients ont été modifiés pour approcher des valeurs de Tr mesurées. Ne connaissant aucun matériau de façon précise, cette corrélation se fait grâce au bon sens et en observant les tableaux de coefficients pour les matériaux classiques.

On observe que les valeurs calculées pour la source n°1 sont très légèrement supérieures à celles données pour la source n°2. Ceci va dans le sens des mesures in situ même si la différence est plus nette pour celles-ci.

Pour conclure ce chapitre, on peut prendre connaissance des résultats obtenus grâce au calcul des critères objectifs.

On remarque que les temps de réverbération moyens sont globalement bien corrélés. De plus, la répartition est bien respectée : Les valeurs mesurées les plus fortes (respectivement les plus faibles) sont à peu près les valeurs calculées les plus fortes (respectivement les plus faibles). Cependant, les fluctuations sont un peu plus faibles dans le cas des valeurs calculées.

Pour tous les autres critères, des différences non-négligeables apparaissent.

Ces différences s'observent d'autant plus pour les critères d'intelligibilité. Ainsi, même en tenant compte des caractéristiques de la source, ces valeurs ne sont pas fiables.

Le logiciel Epidaure tel qu'il existe laisse encore apparaître de nombreuses insuffisances : on pourrait, par exemple, envisager une version qui tiendrait compte, dans une certaine mesure, de la transmission. Cependant, on pourrait toujours trouver un cas particulier qu'Epidaure ne traite pas (se reporter à [Auz93]). Le jonglage avec les coefficients d'absorption permet d'obtenir quelque chose qui reste cohérent.

Pour le cas d'utilisation qui nous a intéressé (calage d'une salle existante), Epidaure donne de bons résultats pour le Tr . Lors d'éventuelles améliorations de la salle du Palais des Sports, seul ce critère devra être considéré en valeurs absolues. Les autres devront être améliorés en valeurs relatives (i.e. en observant les variations).

Palais des Sports (Bordeaux)

Source n°1

Points f(Hz)	Tr60(s) Calculé sur une décroissance de 30 dB						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
II-I32	2,45	2,46	2,42	2,41	2,37	2,03	2,41	2,37	2,26	2,31	2,26	2,07	0,54
L17	2,32	2,31	2,26	2,19	2,11	1,81	1,91	1,84	1,72	1,62	1,56	1,51	0,52
C17	2,13	2,12	2,07	2,02	1,94	1,68	1,85	1,71	1,66	1,55	1,44	1,28	0,50
05/056-05/210	2,59	2,62	2,60	2,62	2,61	2,16	2,06	2,16	2,18	2,38	2,56	2,05	0,47
10/066-10/201	2,42	2,45	2,44	2,47	2,48	2,12	2,02	2,08	2,14	2,37	2,76	2,21	0,49
01/066-01/200	2,63	2,65	2,61	2,62	2,59	2,14	2,31	2,33	2,21	2,36	2,38	2,02	0,52
05/073-05/196	2,51	2,54	2,52	2,54	2,51	2,12	2,11	2,12	2,09	2,26	2,45	2,07	0,55
06/084-06/176	2,43	2,43	2,40	2,40	2,35	1,98	2,03	2,04	1,97	2,08	2,11	1,80	0,53
10/087-10/178	2,24	2,25	2,22	2,22	2,22	1,94	1,85	1,85	1,84	1,94	2,14	1,80	0,56
05/106-05/153	2,66	2,65	2,58	2,52	2,40	2,00	2,07	1,98	1,95	1,93	1,91	1,60	0,52
10/109-10/156	2,54	2,53	2,48	2,41	2,32	1,97	1,78	1,69	1,65	1,58	1,53	1,28	0,60
06/131	2,52	2,51	2,46	2,40	2,31	1,99	2,20	2,18	2,10	2,02	1,98	1,48	0,53
10/133	2,47	2,45	2,42	2,36	2,28	1,98	1,92	1,86	1,80	1,71	1,75	1,29	0,62
MOY	2,47	2,48	2,44	2,43	2,38	2,02							
Mesuré moyen	0,90	1,24	2,50	2,49	2,49	2,13							
Variation	1,57	1,24	-0,06	-0,06	-0,11	-0,11							

* *
* mesures ayant posé des problèmes

Palais des Sports (Bordeaux)

Source n°1

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						Niveau en dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
I1-I32	-0,59	0,34	1,01	2,00	3,61	4,60	38,90	45,89	50,48	57,97	67,92	71,81	54,2
L17	-0,85	-0,17	0,21	1,43	3,25	4,07	36,31	42,07	45,12	54,37	65,44	68,38	55,8
C17	-0,74	0,16	0,73	1,95	3,88	4,78	22,61	26,43	28,70	34,76	41,85	43,88	57,1
05/056-05/210	1,29	0,72	0,48	-0,84	-2,78	-0,61	51,05	47,78	47,47	38,78	27,50	39,50	51,1
10/066-10/201	1,36	1,36	1,42	0,55	-0,92	1,24	56,35	56,60	57,12	52,29	44,05	56,31	49,6
01/066-01/200	1,37	1,77	2,31	1,48	0,91	2,75	50,89	53,31	58,00	53,15	51,75	61,09	52,9
05/073-05/196	0,47	1,02	1,58	1,24	0,75	2,73	48,16	52,50	56,57	54,60	52,76	63,46	51,9
06/084-06/176	-0,53	0,07	0,54	0,92	1,32	2,88	39,19	43,98	47,74	51,06	55,47	63,10	52,6
10/087-10/178	0,90	1,50	1,99	2,17	2,14	3,96	48,95	54,06	57,42	59,55	60,32	69,18	50,9
05/106-05/153	0,92	1,37	1,52	2,22	2,96	3,74	40,91	45,88	47,67	54,50	61,76	63,89	53,0
10/109-10/156	2,63	3,51	4,01	4,74	5,41	6,54	51,33	57,17	59,83	67,25	71,94	74,50	52,6
06/131	1,04	2,14	2,79	3,59	4,59	5,42	47,32	56,60	61,11	66,59	72,39	75,51	52,1
10/133	2,51	3,45	4,09	5,26	5,84	6,75	58,82	66,52	70,65	76,32	79,07	82,17	53,3

Palais des Sports (Bordeaux)

Source n°2

Points f(Hz)	Tr60(s) Calculé sur une décroissance de 30 dB						EDT(s)						STI
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
II-I32	2,43	2,43	2,40	2,40	2,37	2,03	2,40	2,37	2,27	2,34	2,34	2,05	0,51
L17	2,19	2,18	2,14	2,10	2,05	1,77	1,98	1,90	1,78	1,68	1,64	1,38	0,51
C17	2,13	2,13	2,09	2,06	2,03	1,74	2,00	1,90	1,76	1,64	1,45	1,27	0,50
05/056-05/210	2,55	2,57	2,54	2,55	2,53	2,12	2,25	2,32	2,31	2,51	2,74	2,24	0,49
10/066-10/201	2,65	2,66	2,64	2,65	2,65	2,22	2,18	2,24	2,26	2,45	2,82	2,25	0,51
01/066-01/200	2,53	2,54	2,49	2,50	2,47	2,06	2,24	2,18	2,11	2,22	2,28	1,82	0,53
05/073-05/196	2,47	2,47	2,44	2,44	2,39	2,02	2,11	2,08	1,99	2,16	2,28	1,86	0,54
06/084-06/176	2,45	2,42	2,38	2,36	2,28	1,91	1,88	1,88	1,87	1,95	2,06	1,75	0,55
10/087-10/178	2,66	2,64	2,59	2,56	2,51	2,12	1,98	1,96	1,85	2,01	2,30	1,83	0,55
05/106-05/153	2,59	2,56	2,50	2,44	2,32	1,94	1,97	1,92	1,87	1,88	1,91	1,74	0,53
10/109-10/156	2,69	2,66	2,59	2,51	2,39	2,01	1,90	1,84	1,81	1,75	1,84	1,58	0,60
06/131	2,25	2,24	2,20	2,17	2,10	1,82	1,75	1,67	1,63	1,50	1,40	1,21	0,56
10/133	2,47	2,44	2,38	2,31	2,22	1,90	1,70	1,66	1,60	1,25	1,26	1,23	0,65
MOY	2,50	2,50	2,45	2,43	2,37	2,00							
Mesuré moyen	1,84	1,68	2,48	2,36	2,42	2,04							
Variation	0,66	0,82	-0,03	0,07	-0,05	-0,04							

* *
* mesures ayant posé des problèmes

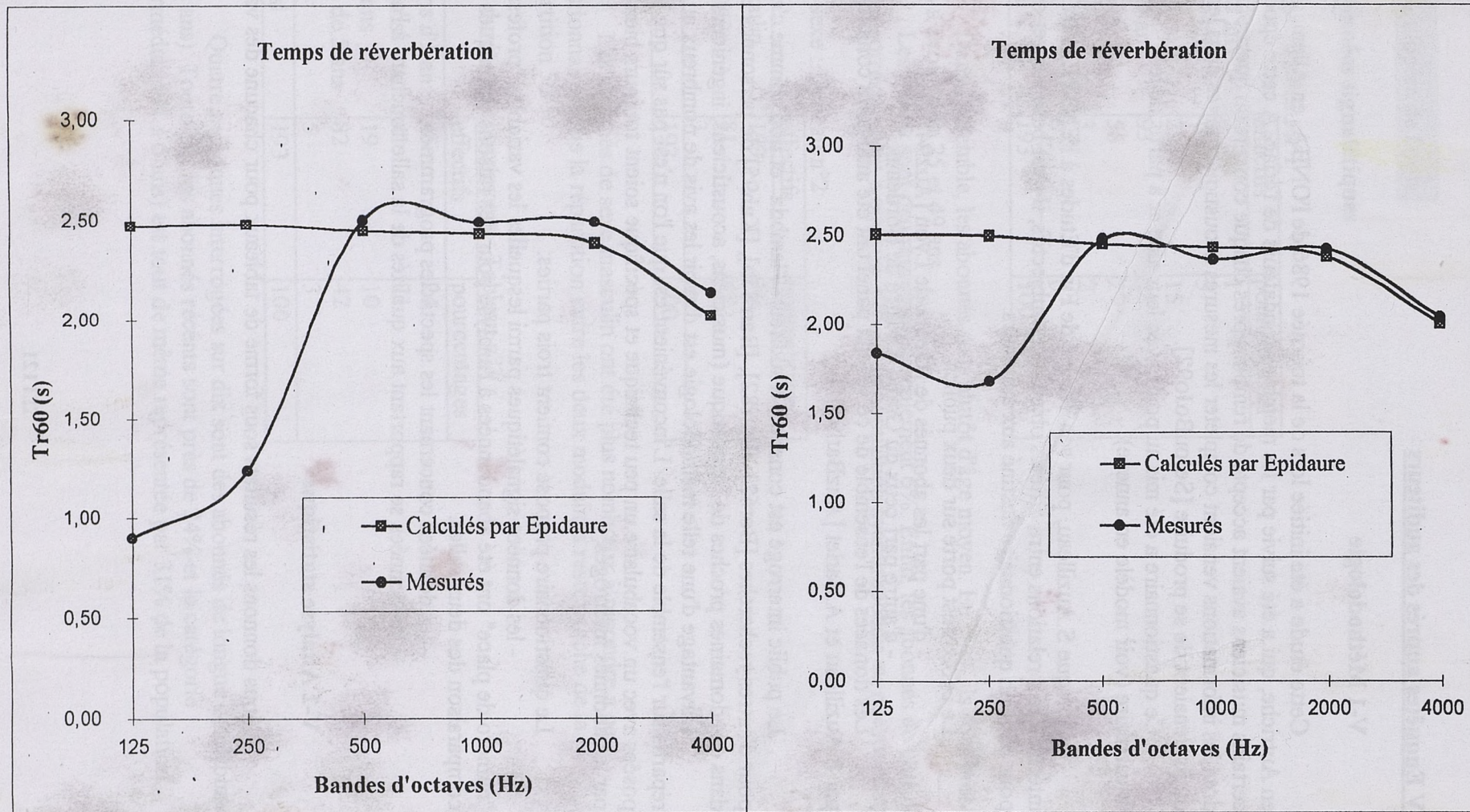
Palais des Sports (Bordeaux)

Source n°2

Points f(Hz)	C80(dB)						D50(%)						Niveau en dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000	
I1-I32	-1,16	-0,36	0,15	1,22	2,60	3,38	36,19	41,73	44,92	52,91	61,83	64,84	53,4
L17	-0,93	-0,33	0,05	0,94	2,71	3,31	33,15	37,98	40,51	46,69	55,52	57,97	55,1
C17	-1,33	-0,49	-0,01	1,23	3,08	3,66	22,09	24,99	25,81	31,08	36,66	38,50	56,0
05/056-05/210	1,33	1,02	1,12	-0,29	-1,98	0,42	54,79	53,12	54,37	46,24	37,56	50,87	51,1
10/066-10/201	1,75	1,66	1,79	0,93	-0,58	1,83	59,40	58,97	59,70	54,90	46,31	59,91	49,5
01/066-01/200	0,70	1,02	1,44	1,03	0,87	2,41	47,63	50,87	54,33	52,35	52,47	60,78	52,9
05/073-05/196	0,09	0,60	1,05	1,02	0,80	2,59	48,23	51,44	54,44	54,46	53,93	63,62	52,2
06/084-06/176	-0,37	0,41	0,98	1,55	2,18	3,54	41,46	46,30	49,86	54,64	59,90	66,04	52,7
10/087-10/178	1,23	1,83	2,43	2,66	2,62	4,15	55,05	58,46	61,62	63,06	62,37	69,98	51,1
05/106-05/153	0,65	0,99	1,30	2,25	3,19	3,76	41,04	45,16	47,32	55,10	60,87	62,63	52,7
10/109-10/156	1,93	2,82	3,43	4,25	4,54	5,50	51,03	56,36	59,52	66,71	69,49	72,16	52,1
06/131	3,16	3,79	4,29	4,94	5,45	6,08	47,05	53,94	56,69	65,42	72,13	75,43	53,2
10/133	3,63	4,15	4,70	5,69	5,79	6,53	63,55	69,35	73,06	77,78	78,69	81,18	52,8

Palais des Sports (Bordeaux)

Source n°1 et n°2



V Enquêtes auprès des auditeurs

V-1 Méthodologie

Cette étude a été initiée lors de la tournée 1986 de l'ONBA, en Allemagne et en Autriche, qui a été suivie par les membres fondateurs de l'ériac. A cette époque certains musiciens avaient accepté de remplir après chaque concert un questionnaire dont les informations venaient compléter les mesures acoustiques faites dans les salles où ils venaient de se produire [SeJouBoJo92].

Ce questionnaire a été mis au point avec leur aide et à partir de leur vocabulaire (voir modèle en annexe).

Lorsque S.Auzilleau, pour son Travail de Fin d'Etudes à l'ENTPE, s'est intéressé aux relations entre critères objectifs et subjectifs, il s'est basé sur cet exemple pour bâtir un questionnaire destiné aux auditeurs.

Le choix s'est porté sur deux publics:

- d'une part les abonnés de l'Opéra de Lyon [Auz94]
- d'autre part ceux du Grand Théâtre de Bordeaux

Les données de l'ensemble de ce second panel ont été analysées conjointement par S.Auzilleau et A.Barlet [AuzBar196].

Le public interrogé est constitué d'auditeurs "lambda" et non comme c'est le cas pour d'autres recherches [Ber62], [Barr82], [Barr85b], [Kah95] de personnes travaillant dans des domaines proches de l'acoustique (musiciens, acousticiens, ingénieurs du son,...)

L'avantage d'une telle méthodologie est d'avoir les avis de nombreux auditeurs répartis sur l'ensemble de la salle. L'inconvénient est que l'on n'est pas sûr que les questions posées avec un vocabulaire un peu technique et spécifique soient toujours bien comprises par les abonnés interrogés.

Le questionnaire proposé contient trois parties:

- les données signalétiques parmi lesquelles les variables "profession" et "numéro de place" ont été abandonnées à l'analyse pour des raisons techniques de comparaison des deux salles.
- les données concernant les spectacles programmés.
- les données se rapportant aux qualités de la salle touchant à l'acoustique.

V-2 Analyse statistique

Nous donnons les résultats sous forme de tableaux pour chacune des variables étudiées.

V-2-1 L'opéra de Lyon

□ Données signalétiques

- L'âge : Tableau n°1

	effectifs	pourcentages
15-18 ans	2	1
19-24 ans	10	5
25-34 ans	29	15
35-49 ans	93	48
50-64 ans	56	29
65 ans et +	3	2
NR	0	0
Total	193	100

Dans l'ensemble, les abonnés sont plutôt d'âge moyen. En effet, ils sont près de 63% à avoir entre 25 et 49 ans.

Les jeunes sont peu représentés, seulement 6%. Enfin, les abonnés de plus de 50 ans correspondent à environ 30% de la population ayant répondu au questionnaire.

- Le sexe : Tableau n°2

	effectifs	pourcentages
masculin	109	56
féminin	81	42
NR	3	2
Total	193	100

Les abonnés de sexe masculin ont été plus nombreux à répondre à ce questionnaire, mais la répartition entre les deux modalités reste proche de la répartition 50/50.

- La durée de l'abonnement : Tableau n°3

	effectifs	pourcentages
moins d'1 an	46	24
1-3 ans	41	21
3-5 ans	19	10
plus de 5 ans	82	42
NR	5	3
Total	193	100

Quatre personnes interrogées sur dix sont des abonnés de longue date (plus de cinq ans). Toutefois, les abonnés récents sont près de 24% et la catégorie intermédiaire (1 à 5 ans) est tout de même représentée par 31% de la population.

- La qualité d'auditeur : Tableau n°4

	effectifs	pourcentages
néophyte	29	15
amateur	130	67
amateur éclairé	34	18
NR	0	0
Total	193	100

Les abonnés de l'opéra de Lyon pensent être davantage des amateurs (67%). Les autres réponses se répartissent de façon égale entre les néophytes et les amateurs éclairés.

Il nous est beaucoup plus difficile ici de tracer le portrait des abonnés de l'opéra de Lyon ayant répondu au questionnaire. Toutefois, il apparaît qu'il s'agit de personnes d'âge moyen (25 à 49 ans), des deux sexes, abonnés depuis quelques années (en tous cas depuis plus d'un an), et se présentant comme des amateurs.

□ Les différents spectacles

- Dernier spectacle vu : Tableau n°5

	effectifs	pourcentages
Ariane	66	34
La station thermale	20	10
Songes d'une nuit d'été	19	10
Les contes d'Offman	16	8
Don Juan	34	17
Les noces de Figaro	1	1
Rodrigue	1	1
La flûte enchantée	2	1
La traviata	7	4
NR	27	14
Total	193	100

Les abonnés se sont rendus à l'opéra de Lyon principalement pour voir "Ariane", au détriment des autres opéras. 17% des abonnés n'ont pas répondu à cette question, ce qui est difficile à interpréter.

- Raisons du choix de l'oeuvre : Tableau n°6

	effectifs	pourcentages
l'oeuvre	117	61
la distribution	10	5
la mise en scène	8	4
autres	58	30
NR	0	0
Total	193	100

La principale raison évoquée par les abonnés est l'oeuvre. Viennent ensuite autres raisons (qui n'ont en général pas été exprimées), la distribution, puis la mise en scène.

□ **Les qualités de la salle**

- Localisation des sources sonores

Tableau n°7 : Impression de recevoir le son directement de la scène

	effectifs	pourcentages
tout à fait	66	34
plutôt	92	48
plutôt pas	16	8
pas du tout	2	1
NR	17	9
Total	193	100

Les spectateurs de l'opéra de Lyon ont l'impression de recevoir tout à fait ou plutôt le son directement de la scène (82% des réponses). Seulement 9% des personnes interrogées nous affirment le contraire. Le taux de non-réponses est assez important (9%), nous pouvons supposer que les auditeurs ont soit répondu par la positive à la question suivante soit qu'ils n'ont pas répondu du tout pour des raisons inconnues.

Tableau n°8 : Impression de bain sonore

	effectifs	pourcentages
tout à fait	16	8
plutôt	60	31
plutôt pas	57	30
pas du tout	19	10
NR	41	21
Total	193	100

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les abonnés sont tout de même 39% à penser être tout à fait ou plutôt dans un bain sonore. Les personnes interrogées sont toutefois très partagées puisque 40% d'entre elles pensent ne pas être du tout ou plutôt pas dans un bain sonore. Ces résultats sont contradictoires avec ceux de la question précédente. En effet, il est difficile d'être à la fois dans un bain sonore et de recevoir le son directement de la scène. De même que pour la question précédente, nous notons un important pourcentage de non-réponses (21%) qui peuvent s'expliquer notamment par une réponse positive à la question précédente.

Tableau n°9 : Croisement des deux variables

Bain sonore Son directe	tout à fait plutôt	plutôt pas pas du tout	NR
tout à fait plutôt	43/ 23%	76/ 39%	39/ 20%
plutôt pas pas du tout	18/ 9%	0/ 0%	0/ 0%
NR	15/ 8%	0/ 0%	2/ 1%

Comme nous le montre ce tableau, 48% des abonnés ont répondu de façon logique aux deux premières questions portant sur la localisation des sources. En effet, ces personnes montrent dans leurs réponses qu'il est impossible d'être dans les deux situations en même temps. Toutefois, 28% des abonnés n'ont pas répondu à une des deux questions lorsqu'ils avaient répondu par la positive à l'autre. Nous pouvons considérer qu'ils avaient bien fait la liaison entre les deux propositions mais qu'ils ont utilisé le questionnaire de façon incorrecte. Enfin, 23% des personnes interrogées ont dit avoir l'impression à la fois d'être dans un bain sonore et de recevoir le son directement de la scène ce qui paraît difficile d'un point de vue acoustique.

Ces deux premières questions font déjà la preuve du manque de clarté du vocabulaire utilisé pour qualifier les salles de concert. Il règne semble-t-il une certaine confusion dans l'esprit des abonnés même si ils se considèrent comme des amateurs, voire comme des amateurs éclairés, mais surtout pas comme des néophytes.

Enfin, comme dernière remarque, nous pouvons noter que l'action se déroulant sur scène, le spectateur a peut-être tendance à ressentir tout ce qu'il entend comme provenant de la scène, en tous cas plus que lorsqu'il assiste à un concert symphonique où il n'a pas à se concentrer sur une histoire.

- Perception de l'orchestre et du soliste

Tableau n°10 : Sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	86	45
plutôt	92	47
plutôt pas	12	6
pas du tout	1	1
NR	2	1
Total	193	100

Pour une grande majorité des abonnés (92%), la sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre ne semble pas faire de doute.

Tableau n°11 : Impression de percevoir distinctement le jeu du soliste

	effectifs	pourcentages
tout à fait	88	46
plutôt	80	41
plutôt pas	15	8
pas du tout	1	1
NR	9	4
Total	193	100

Cette fois encore, les personnes interrogées sont unanimes, elles perçoivent tout à fait ou plutôt distinctement le jeu du soliste (87%). En somme, en général, les abonnés ont la sensation de jeu d'ensemble de l'orchestre et ils perçoivent distinctement le jeu du soliste.

- Perception des différentes parties de l'orchestre

Tableau n°12 : Perception d'un équilibre entre les différentes parties de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	53	27
plutôt	108	56
plutôt pas	10	5
pas du tout	1	1
NR	21	11
Total	193	100

Pour près de 83% des personnes interrogées, l'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre est tout à fait ou plutôt respecté. Nous noterons le fort taux de non-réponses (11%), qui provient sûrement de la formulation de la question. En effet, une partie de ces sujets ont utilisé la non-réponse comme un "pas du tout".

Tableau n°13 : Les basses ressortent

	effectifs	pourcentages
tout à fait	9	5
plutôt	35	18
plutôt pas	22	11
pas du tout	10	5
NR	117	61
Total	218	100

Bien que seulement 6% des abonnés pensaient que l'équilibre n'était pas du tout respecté ou plutôt pas, 23% d'entre eux disent que les basses ressortent, la différence peut provenir des personnes n'ayant pas répondu à la question précédente.

Les 61% de non-réponses, dans le cas de cette question, sont tout à fait logique étant donné la formulation de la question. Ainsi, ceux qui pensent que l'équilibre est respecté n'ont pas jugé utile de répondre ici.

Tableau n°14 : les aigus ressortent

	effectifs	pourcentages
tout à fait	7	4
plutôt	31	16
plutôt pas	22	11
pas du tout	11	6
NR	122	63
Total	193	100

De même que pour la question précédente, il y a davantage de personnes pensant que les aigus ressortent (20%) que de personnes trouvant que l'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre n'est pas respecté. Ici encore, l'importance des non-réponses s'expliquent en partie du fait que les sujets trouvant que l'équilibre est respecté n'ont pas jugé nécessaire de répondre à cette question.

Lorsque nous procédons au croisement de ces trois variables (équilibre des différentes parties de l'orchestre, prédominance des basses, prédominance des aigus), nous nous apercevons que les non-réponses correspondent en général à la volonté de ne répondre qu'à une question sur les trois. Face à ce questionnaire, les abonnés ont construit leur propre logique de remplissage.

Nous noterons tout de même que 22% des personnes interrogées ont répondu de façon illogique à ces trois questions puisqu'ils ont dit :

- l'équilibre est respecté mais les basses ressortent
- l'équilibre est respecté mais les aigus ressortent
- l'équilibre est respecté mais les basses et les aigus ressortent
- l'équilibre n'est pas respecté et les basses et les aigus ressortent.

En cas d'irrespect de l'équilibre, les personnes sont un peu plus nombreuses à penser que ce sont les basses qui ressortent (5% contre 3% en faveur de la prédominance des aigus).

Ces questions semblent également poser le problème de la compréhension du questionnaire et donc du vocabulaire. Qu'est-ce que l'auditeur se représente lorsque nous lui parlons d'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre ?

- Perception des différentes parties musicales

Tableau n°15 : Perception à la fois de la mélodie et de l'accompagnement

	effectifs	pourcentages
tout à fait	86	45
plutôt	90	46
plutôt pas	7	4
pas du tout	0	0
NR	10	5
Total	193	100

91% des auditeurs paraissent satisfaits par la perception de la mélodie et de l'accompagnement.

Aucune des personnes interrogées n'est pas du tout satisfaite.

Tableau n°16 : Perception des nuances du jeu de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	65	34
plutôt	105	54
plutôt pas	15	8
pas du tout	0	0
NR	8	4
Total	193	100

Là encore, la salle donne de bon résultat, puisqu'à nouveau les auditeurs sont satisfaits quant à la perception des nuances (88%).

- Qualités du son

Pour des raisons statistiques nous avons transformé nos échelles en variables nominales.

Tableau n°17 : Échelle terne/brillant

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	2	1
de 6 à 10	90	47
de 11 à 14	89	46
NR	12	6
Total	193	100

Les abonnés qui ont répondu au questionnaire semblent trouver le son plutôt brillant. La proportion de non-réponses semble faire apparaître des difficultés de vocabulaire.

Pour clarifier ces résultats, nous avons procédé à des calculs de moyennes et de dispersion.

Ainsi, nous constatons que la moitié des personnes ayant répondu ont attribué une note comprise entre 10 et 12 sur l'échelle allant de 2 à 14. La moyenne arithmétique des notes attribuées est de 10.52. Les auditeurs de l'opéra de Lyon ont donc trouvé la salle plutôt brillante.

Tableau n°18 : Échelle confus/clair

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	2	1
de 6 à 10	62	35
de 11 à 14	115	64
NR	0	0
Total	179	100

Le son semble également plutôt clair aux auditeurs. D'autre part, nous constatons que 50% des réponses sont comprises entre 10 et 12 sur l'échelle d'évaluation, et que la valeur médiane est égale à la valeur moyenne qui est de 11.03. Nous avons donc une répartition des réponses similaire à celle concernant

l'aspect terne-brillant, à la différence que la moyenne arithmétique des réponses est plus élevée.

Tableau n°19 : Échelle froid, sec/chaud

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	6	3
de 6 à 10	105	59
de 11 à 14	66	38
NR	0	0
Total	177	100

La salle paraît ni froide et Éche ni chaude aux abonnés. En effet, la moitié des réponses sont comprises entre 8 et 12, ce qui représente un intervalle assez large. La médiane se situe autour de 10 et la moyenne arithmétique est égale à 9.7.

Tableau n°20 : Échelle pauvre/riche

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	2	1
de 6 à 10	91	48
de 11 à 14	86	44
NR	14	7
Total	193	100

Les auditeurs perçoivent le son comme plutôt riche. La moitié des réponses attribuées sont comprises entre 9 et 12, avec une valeur médiane égale à 10 et une moyenne arithmétique de 10.2.

En somme, la salle semble avoir toutes les qualités requises.

En fait, aux vues des questionnaires, il nous semble plutôt que les abonnés ont répondu de façon linéaire, c'est à dire qu'à partir du moment où ils avaient répondu d'une certaine façon à une question ils ont continué à répondre de la même manière aux questions suivantes.

Cela apparaît encore plus clairement lorsque l'on procède au croisement des variables deux à deux. Pour ce faire, nous avons dû regrouper les différentes modalités en deux groupes sinon les effectifs étaient trop réduits pour pouvoir calculer des χ^2 . Ainsi tous les croisements sont significatifs à $p < .001$. Ainsi, les réponses obtenues pour une question sont directement liées aux réponses données pour les autres questions.

Ces résultats, ainsi que les forts taux de non-réponses confirment le manque de clarté du vocabulaire utilisée pour définir à la fois la salle et les sons, puisque d'un point de vue acoustique ces différentes notions sont définies objectivement de façon différente.

- Autres qualifications de la salle et du son

Tableau n°21 : Intimité de la salle

	effectifs	pourcentages
tout à fait	32	16
plutôt	64	33
plutôt pas	58	30
pas du tout	34	18
NR	5	3
Total	193	100

Pour une fois, le consensus a été abandonné. Les auditeurs sont très partagé quant à l'intimité de la salle, puisque 49% d'entre eux pensent que la salle l'est contre 48% d'entre eux qui pensent le contraire.

Bien que cette question se soit trouvée dans le paragraphe concernant l'acoustique de la salle, il est assez probable que les réponses aient été faites d'un point de vue plus général, d'autant plus que l'intimité acoustique est une chose abstraite pour une personne non spécialiste de musique. Nous venons à nouveau de démontrer que le vocabulaire est mal adapté.

Tableau n°22 : Coloration du son

	effectifs	pourcentages
tout à fait	31	16
plutôt	135	69
plutôt pas	11	6
pas du tout	5	3
NR	11	6
Total	193	100

La coloration du son semble correcte ou plutôt correcte à 85% des personnes interrogées.

Tableau n°23 : Présence de bruits masquants

	effectifs	pourcentages
tout à fait	15	8
plutôt	20	10
plutôt pas	56	29
pas du tout	94	49
NR	8	4
Total	193	100

Les auditeurs gênés par des bruits masquant le son de l'orchestre sont peu nombreux (environ 2 sur 10).

Tableau n°24 : Perception des chanteurs

	effectifs	pourcentages
tout à fait	73	38
plutôt	102	53
plutôt pas	16	8
pas du tout	0	0
NR	2	1
Total	193	100

Quelque soit la place des chanteurs sur la scène, 91% des auditeurs les perçoivent correctement.

Tableau n°25 : Respect de l'équilibre entre l'orchestre et les chanteurs

	effectifs	pourcentages
tout à fait	54	28
plutôt	122	63
plutôt pas	10	5
pas du tout	4	2
NR	3	2
Total	193	100

91% des abonnés pensent que l'équilibre est respecté entre l'orchestre et les chanteurs.

- Remarques : Tableau n°26

	effectifs	pourcentages
négative	75	39
positive	11	6
neutre	44	23
NR	63	32
Total	193	100

Les remarques sont principalement de nature négative et font même parfois plutôt référence à l'organisation ou au fonctionnement du théâtre qu'à l'acoustique de la salle.

Cela paraît toutefois étonnant car elles s'opposent à l'image générale que les auditeurs ont de la salle.

□ Observations sur l'opéra de Lyon

Nous pouvons dire en conclusion que les abonnés ont une image assez positive de la salle de l'opéra de Lyon. En effet, ils pensent en majorité avoir la sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre, de percevoir distinctement le jeu du soliste, qu'il y a un bon équilibre entre les différentes parties de l'orchestre, percevoir correctement la mélodie principale et l'accompagnement, percevoir correctement les nuances du jeu de

l'orchestre, que le son est plutôt brillant, clair, chaud et riche, que la coloration du son est correcte, qu'il n'y a pas de bruits gênants, percevoir correctement les chanteurs quelque soit leur place sur la scène et enfin qu'il y a un bon équilibre entre l'orchestre et les chanteurs. Seule l'intimité a donné des résultats beaucoup plus partagés.

Nous pouvons penser que les bons résultats de la salle sont justifiés par de réelles qualités acoustiques, mesurables objectivement [Auz94].

V-2-2 Le Grand Théâtre de Bordeaux

□ Données signalétiques

- L'âge : Tableau n°1

	effectifs	pourcentages
15-18 ans	0	0
19-24 ans	6	3
25-34 ans	13	6
35-49 ans	50	23
50-64 ans	74	34
65 ans et +	73	33
NR	2	1
Total	218	100

Dans l'ensemble, les abonnés sont plutôt âgés. En effet, ils sont près de 67% à avoir 50 ans et plus.

Les jeunes sont peu représentés, seulement 3%. Enfin, la classe des 25 à 49 ans correspond à environ 30% de la population ayant répondu au questionnaire.

- Le sexe : Tableau n°2

	effectifs	pourcentages
masculin	110	50
féminin	102	47
NR	6	3
Total	218	100

Les personnes interrogées sont bien réparties vis à vis de la variable sexe puisque nous trouvons environ 50% de part et d'autre.

- La durée de l'abonnement : Tableau n°3

	effectifs	pourcentages
moins d'1 an	14	7
1-3 ans	59	27
3-5 ans	22	10
plus de 5 ans	120	55
NR	3	1
Total	218	100

Parmi les réponses obtenues, peu d'entre elles ont été données par des personnes dont l'abonnement est récent (moins d'un an), avec seulement 7%. La modalité la plus représentée correspond à un abonnement de plus de cinq ans (55%).

Enfin, 37% des personnes interrogées sont abonnées depuis au moins un an et jusqu'à cinq ans.

- La qualité d'auditeur : Tableau n°4

	effectifs	pourcentages
néophyte	11	5
amateur	113	52
amateur éclairé	87	40
NR	7	3
Total	218	100

Les abonnés du *grand théâtre* pensent être davantage des amateurs (52%) ou des amateurs éclairés (40%). Seulement 5% d'entre eux se définissent comme des néophytes.

Nous pouvons à partir de ces données tracer le portrait de l'abonné au grand théâtre de Bordeaux, qui a répondu au questionnaire. Ainsi, il s'agit de personnes de 50 ans et plus, des deux sexes, abonnées depuis plus de 5 ans et qui pensent être au moins amateur voire amateur éclairé.

□ **Les différents spectacles**

- Dernier spectacle vu : Tableau n°5

	effectifs	pourcentages
la flûte enchantée	92	42
Carmen	16	7
Billy Budd	2	1
la chauve souris	45	21
Ariane	2	1
Salomé	1	0,5
Boris Goudonov	4	2
Falstaff	1	0,5
les noces de Figaro	3	1
la vie parisienne	1	0,5
le mandarin merveilleux	2	1
Nabucco	1	0,5
Don Juan	2	1
NR	46	21
Total	218	100

Les abonnés se sont rendus au Grand Théâtre principalement pour voir soit "La flûte enchantée" soit "La chauve souris", au détriment des autres opéras. 21% des abonnés n'ont pas répondu à cette question, ce qui est difficile à interpréter.

- Raisons du choix de l'oeuvre : Tableau n°6

	effectifs	pourcentages calculés à partir du nombre total de propositions	pourcentages calculés à partir du nombre total de sujets
l'oeuvre	142	45	65
la distribution	44	14	20
la mise en scène	30	9	14
autres	92	29	42
NR	11	3	5

La principale raison évoquée par les abonnés est l'oeuvre. Viennent ensuite autres raisons (qui n'ont en général pas été exprimées), la distribution, puis la mise en scène.

□ Les qualités de la salle

- Localisation des sources sonores

Tableau n°7 : Impression de recevoir le son directement de la scène

	effectifs	pourcentages
tout à fait	103	47
plutôt	71	33
plutôt pas	8	4
pas du tout	0	0
NR	36	16
Total	218	100

Les spectateurs du grand théâtre ont l'impression de recevoir tout à fait ou plutôt le son directement de la scène (80% des réponses). Pratiquement aucune des personnes interrogées nous affirment le contraire. Le taux de non-réponses est assez important (16%), il est toutefois difficile d'en expliquer la cause, nous pouvons supposer qu'ils ont soit répondu par la positive à la question suivante soit qu'ils n'ont pas répondu du tout pour des raisons inconnues.

Tableau n°8 : Impression de bain sonore

	effectifs	pourcentages
tout à fait	38	18
plutôt	57	26
plutôt pas	26	12
pas du tout	20	9
NR	77	35
Total	218	100

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les abonnés sont 44% à penser être tout à fait ou plutôt dans un bain sonore contre 21% pensant ne plutôt pas ou ne pas y être du tout. Ces résultats sont contradictoires avec ceux de la question précédente.

En effet, il est difficile d'être à la fois dans un bain sonore et de recevoir le son directement de la scène. De même que pour la question précédente, nous notons un important pourcentage de non-réponses (35%) qui peuvent s'expliquer notamment par une réponse positive à la question précédente.

Tableau n°9 : Croisement des deux variables

Bain sonore Son directe	tout à fait plutôt	plutôt pas pas du tout	NR
tout à fait plutôt	59/ 27%	45/ 21%	70/ 32%
plutôt pas pas du tout	7/ 3%	1/ 1%	0/ 0%
NR	29/ 13%	0/ 0%	7/ 3%

Comme nous le montre ce tableau, seulement 24% des abonnés ont répondu de façon logique aux deux premières questions portant sur la localisation des sources.

En effet, ces personnes montrent dans leurs réponses qu'il est impossible d'être dans les deux situations en même temps. Toutefois, 45% des abonnés n'ont pas répondu à une des deux questions lorsqu'ils avaient répondu par la positive à l'autre.

Nous pouvons considérer qu'ils avaient bien fait la liaison entre les deux propositions mais qu'ils ont utilisé le questionnaire de façon incorrecte. Enfin, 27% des personnes interrogées ont dit avoir l'impression à la fois d'être dans un bain sonore et de recevoir le son directement de la scène ce qui paraît difficile d'un point de vue acoustique.

Ces deux premières questions font déjà la preuve du manque de clarté du vocabulaire utilisé pour qualifier les salles de concert. Il règne semble-t-il une certaine confusion dans l'esprit des abonnés même si ils se considèrent comme des amateurs, voire comme des amateurs éclairés, mais surtout pas comme des néophytes.

- Perception de l'orchestre et du soliste

Tableau n°10 : Sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	112	51
plutôt	92	43
plutôt pas	5	2
pas du tout	0	0
NR	9	4
Total	218	100

Pour une grande majorité des abonnés (93%), la sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre ne semble pas faire de doute. Bien que les non-réponses soient peu nombreuses (4%), là encore ne s'agirait-il pas d'un problème de vocabulaire ?

Tableau n°11 : Impression de percevoir distinctement le jeu du soliste

	effectifs	pourcentages
tout à fait	137	63
plutôt	57	26
plutôt pas	10	5
pas du tout	0	0
NR	14	6
Total	218	100

Cette fois encore, les personnes interrogées sont unanimes, elles perçoivent tout à fait ou plutôt distinctement le jeu du soliste (89%).

En somme, en général, les abonnés ont la sensation de jeu d'ensemble de l'orchestre et ils perçoivent distinctement le jeu du soliste.

- Perception des différentes parties de l'orchestre

Tableau n°12 : Perception d'un équilibre entre les différentes parties de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	86	40
plutôt	81	37
plutôt pas	6	3
pas du tout	1	0
NR	44	20
Total	218	100

Pour près de 77% des personnes interrogées, l'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre est tout à fait ou plutôt respecté. Nous noterons le fort taux de non-réponses (20%), qui provient sûrement de la formulation de la question. En effet, une partie de ces sujets ont utilisé la non-réponse comme un "pas du tout".

Tableau n°13 : Les basses ressortent

	effectifs	pourcentages
tout à fait	7	3
plutôt	27	12
plutôt pas	15	7
pas du tout	12	6
NR	157	72
Total	218	100

Bien que seulement 3% des abonnés pensaient que l'équilibre n'était pas du tout respecté ou plutôt pas, 15% d'entre eux disent que les basses ressortent, la différence peut provenir des personnes n'ayant pas répondu à la question précédente.

Les 72% de non-réponses, dans le cas de cette question, sont tout à fait logique étant donné la formulation de la question. Ainsi, ceux qui pensent que l'équilibre est respecté n'ont pas jugé utile de répondre ici.

Tableau n°14 : les aigus ressortent

	effectifs	pourcentages
tout à fait	6	3
plutôt	34	16
plutôt pas	15	7
pas du tout	14	6
NR	149	68
Total	218	100

De même que pour la question précédente, il y a davantage de personnes pensant que les aigus ressortent (19%) que de personnes trouvant que l'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre n'est pas respecté. Ici encore, l'importance des non-réponses s'expliquent en partie du fait que les sujets trouvant que l'équilibre est respecté n'ont pas jugé nécessaire de répondre à cette question.

Lorsque nous procédons au croisement de ces trois variables (équilibre des différentes parties de l'orchestre, prédominance des basses, prédominance des aigus), nous nous apercevons que les non-réponses correspondent en général à la volonté de ne répondre qu'à une question sur les trois. Face à ce questionnaire, les abonnés ont construit leur propre logique de remplissage.

Nous notons tout de même que 14% des personnes interrogées ont répondu de façon illogique à ces trois questions puisqu'ils ont dit :

- l'équilibre est respecté mais les basses ressortent
- l'équilibre est respecté mais les aigus ressortent
- l'équilibre est respecté mais les basses et les aigus ressortent
- l'équilibre n'est pas respecté et les basses et les aigus ressortent.

En cas d'irrespect de l'équilibre, les personnes sont un peu plus nombreuses à penser que ce sont les aigus qui ressortent (8% contre 5% en faveur de la prédominance des basses).

Ces questions semblent également poser le problème de la compréhension du questionnaire et donc du vocabulaire. Qu'est-ce que l'auditeur se représente lorsque nous lui parlons d'équilibre entre les différentes parties de l'orchestre ?

- Perception des différentes parties musicales

Tableau n°15 : Perception à la fois de la mélodie et de l'accompagnement

	effectifs	pourcentages
tout à fait	112	51
plutôt	84	39
plutôt pas	7	3
pas du tout	0	0
NR	15	7
Total	218	100

90% des auditeurs paraissent satisfaits par la perception de la mélodie et de l'accompagnement.

Aucune des personnes interrogées n'est pas du tout satisfaite.

Tableau n°16 : Perception des nuances du jeu de l'orchestre

	effectifs	pourcentages
tout à fait	96	44
plutôt	93	43
plutôt pas	14	6
pas du tout	0	0
NR	15	7
Total	218	100

Là encore, la salle donne de bon résultat, puisqu'à nouveau les auditeurs sont satisfaits quant à la perception des nuances (87%).

- Qualités du son

Pour des raisons statistiques nous avons transformé nos échelles en variables nominales.

Tableau n°17 : Échelle terne/brillant

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	0	0
de 6 à 10	54	25
de 11 à 14	133	61
NR	31	14
Total	218	100

Les abonnés qui ont répondu au questionnaire semblent trouver le son plutôt brillant. La forte proportion de non-réponses semble faire apparaître des difficultés de vocabulaire.

Tableau n°18 : Échelle confus/clair

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	5	2
de 6 à 10	46	21
de 11 à 14	127	58
NR	40	19
Total	218	100

Le son semble également plutôt clair aux auditeurs. Cette fois encore, le taux de non-réponses est important (19%).

Tableau n°19 : Échelle froid, sec/chaud

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	6	2
de 6 à 10	53	24
de 11 à 14	111	52
NR	48	22
Total	218	100

Le son apparaît comme plutôt chaud, mais le nombre de non-réponses augmente encore (22%)

Tableau n°20 : Échelle pauvre/riche

	effectifs	pourcentages
de 2 à 5	1	1
de 6 à 10	56	26
de 11 à 14	137	63
NR	24	10
Total	218	100

Les auditeurs perçoivent le son comme plutôt riche. En somme, le son semble avoir toutes les qualités requises.

En fait, aux vues des questionnaires, il nous semble plutôt que les abonnés ont répondu de façon linéaire, c'est à dire qu'à partir du moment où ils avaient répondu d'une certaine façon à une question ils ont continué à répondre de la même manière aux questions suivantes.

Cela apparaît encore plus clairement lorsque l'on procède au croisement des variables deux à deux. Pour ce faire, nous avons dû regrouper les différentes modalités en deux groupes sinon les effectifs étaient trop réduits pour pouvoir calculer des χ^2 . Ainsi tous les croisements sont significatifs à $p < .001$. Ainsi, les réponses obtenues pour une question sont directement liées aux réponses données pour les autres questions.

Ces résultats, ainsi que les forts taux de non-réponses confirment le manque de clarté du vocabulaire utilisée pour définir à la fois la salle et les sons, puisque d'un point de vue acoustique ces différentes notions sont définies objectivement de façon différente.

- Autres qualifications de la salle et du son

Tableau n°21 : Intimité de la salle

	effectifs	pourcentages
tout à fait	127	58
plutôt	71	33
plutôt pas	10	5
pas du tout	3	1
NR	7	3
Total	218	100

Ici encore, nous retrouvons automatisme des personnes interrogées. La salle est ressentie comme intime par 91% des auditeurs.

Tableau n°22 : Coloration du son

	effectifs	pourcentages
tout à fait	88	40
plutôt	111	51
plutôt pas	0	0
pas du tout	0	0
NR	19	9
Total	218	100

La coloration du son semble correcte ou plutôt correcte à 91% des personnes interrogées.

Tableau n°23 : Présence de bruits masquants

	effectifs	pourcentages
tout à fait	11	5
plutôt	10	4
plutôt pas	56	26
pas du tout	128	59
NR	13	6
Total	218	100

Les auditeurs gênés par des bruits masquant le son de l'orchestre sont peu nombreux (environ 1 sur 10).

La gêne est principalement due aux bruits des autres spectateurs.

Tableau n°24 : Perception des chanteurs

	effectifs	pourcentages
tout à fait	92	42
plutôt	91	42
plutôt pas	26	12
pas du tout	0	0
NR	9	4
Total	218	100

Quelque soit la place des chanteurs sur la scène, 84% des auditeurs les perçoivent correctement.

Tableau n°25 : Respect de l'équilibre entre l'orchestre et les chanteurs

	effectifs	pourcentages
tout à fait	65	30
plutôt	109	50
plutôt pas	21	10
pas du tout	1	0
NR	22	10
Total	218	100

80% des abonnés pensent que l'équilibre est respecté entre l'orchestre et les chanteurs.

- Remarques : Tableau n°26

	effectifs	pourcentages
négative	37	17
positive	29	13
neutre	91	42
NR	61	28
Total	218	100

Les remarques sont principalement de nature neutre et faisaient même parfois plutôt référence à l'organisation ou au fonctionnement du théâtre qu'à l'acoustique de la salle.

□ Observations sur le Grand Théâtre de Bordeaux

Comme pour l'opéra de Lyon nous pouvons dire en conclusion que les abonnés ont une image assez positive de la salle du Grand Théâtre de Bordeaux.

Toutes les qualités concernant la perception auditive (sensation du jeu d'ensemble de l'orchestre, discernement distinct du jeu du soliste, bon équilibre entre les différentes parties de l'orchestre, perception correcte de la mélodie principale et de l'accompagnement, ainsi que des nuances du jeu de l'orchestre, son brillant, clair, chaud et riche, salle intime, coloration du son correcte, pas de bruits gênants, perception correcte des chanteurs quelque soit leur place sur la scène et enfin un bon équilibre entre l'orchestre et les chanteurs) ont une connotation positive marquée.

Nous pouvons penser que les bons résultats de la salle sont justifiés par de réelles qualités acoustiques, mesurables objectivement (voir III-2-3).

L'image patrimoniale qu'elle représente pour les bordelais, joue sans doute également, l'enquête ayant été faite après rénovation.

On peut voir apparaître ici une complexité de l'appréhension du confort d'écoute étudié séparément de l'ensemble des données qui font le plaisir de se trouver dans un lieu pour assister à un spectacle.

□ Observations globales

En première analyse de ces enquêtes faites dans un cadre plutôt étroit, puisqu'elles concernaient l'écoute de l'opéra (dont on a vu que le public est relativement spécialisé), on peut tirer quelques conclusions sur la pertinence de la rédaction du questionnaire.

La grande linéarité des réponses, qu'elle soit visuelle ou démontrée par les différents croisements, tend à nous conforter dans l'idée que le vocabulaire utilisé pour définir des critères subjectifs de confort acoustique est mal adapté. De plus, nous n'avons fait appel ici qu'à des abonnés donc des sujets amateurs, qu'en serait-il pour des néophytes ?

En outre, nous avons réalisé de nombreux croisements et notamment avec des variables telles que le sexe, l'âge, la durée de l'abonnement, la qualité de l'auditeur ou encore la nature des remarques. Tous ces croisements ont fourni des χ^2 non significatifs, du fait de l'unanimité des réponses.

Enfin, si le vocabulaire est peu approprié ou mal connu par les utilisateurs des salles qui se trouvent en dehors donc du domaine de l'acoustique, nous pouvons nous demander comment des critères subjectifs, définis à partir de celui-ci, ont pu aboutir à une définition de critères objectifs et mesurables (cf. travaux de Beranek, Barron...)

VI Perspectives

En conclusion générale de ce rapport, qui traduit l'état d'avancement des travaux de l'équipe **interdisciplinaire de recherche sur l'acoustique et le confort en architecture et urbanisme**, on peut donner les développements souhaitables dans chacune des phases de l'étude.

□ **sur les sources sonores**

L'ériac sera à même, dès que L. Couthon aura présenté sa thèse, de sortir un catalogue des sources que l'on pourrait utiliser dans des logiciels de simulation. Elle aura également mis au point le système de diffusion de référence qui permettra d'une part de faire des mesures in situ, d'autre part de procéder aux tests d'écoute en laboratoire.

Les résultats obtenus avec le haut-parleur autonome Nagra DSM nous incitent à envisager l'acquisition d'une source plus puissante pour pouvoir travailler dans des locaux de grand volume et/ou avec un niveau de bruit de fond élevé.

□ **sur les mesures et relevés in situ, ainsi que sur la modélisation**

La méthodologie que nous avons mis en place pour réaliser les prises de données acoustiques et architecturales est justifiée dans le mémoire de doctorat d'état de C. Sémidor.

Si les méthodes dBImpuls et dBÂti sont employées par d'autres chercheurs et bureaux d'études, l'utilisation de la photogrammétrie et des systèmes annexes est une démarche originale dans le domaine de l'acoustique pour récupérer les éléments architecturaux utiles.

Le problème le plus ardu qui reste posé, est la qualification des matériaux mis en oeuvre tant du point de vue de leur rôle dans la réflexion spéculaire que dans la réflexion diffuse de l'énergie sonore [Delh94].

Il semblerait qu'en collaboration avec nos partenaires scientifiques et industriels, l'abord de cette question par l'aspect architectural viendrait bien compléter les travaux en cours actuellement dans de nombreux laboratoires (réseau "surface diffusivity group" dont l'ériac fait partie) sur l'approche physique.

□ **sur les enquêtes auprès des usagers**

Les premières observations nous amènent à proposer une modification de notre pratique.

Nous lançons avec les abonnés de l'ONBA une nouvelle étude dans laquelle une contribution active, sous forme de rencontres afin de définir un vocabulaire mieux approprié, leur sera demandée. A partir de ce lexique, il sera possible d'établir un questionnaire destiné à être plus largement distribué (public d'autres salles sur Bordeaux, Lyon,...).

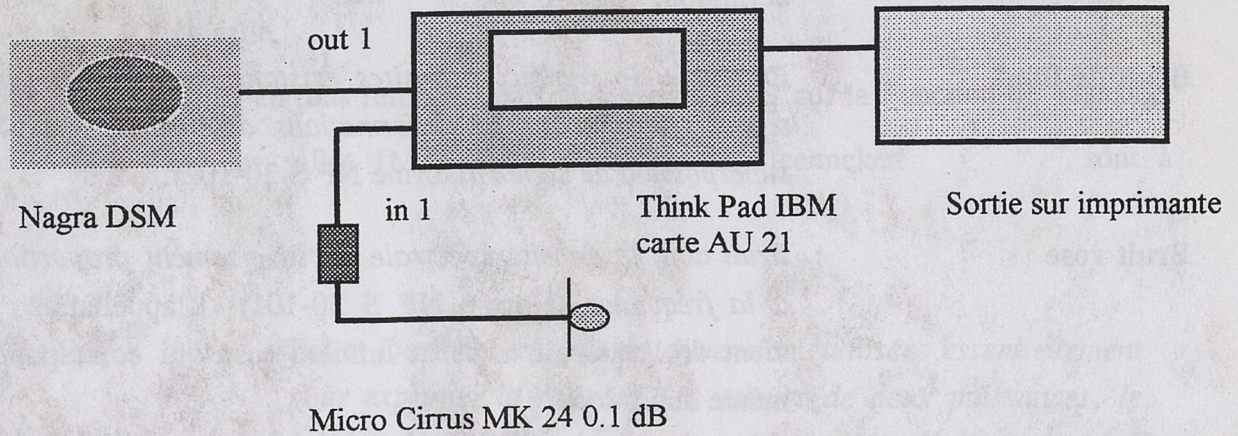
Bibliographie

- [Auz93] S.AUZILLEAU Guide de l'utilisation d'Epidaure
Mémoire de stage 2ème année ENTPE juin-août 1993
- [Auz94] S.AUZILLEAU L'opéra de Lyon: un exemple de la relation privilégiée
entre l'acoustique et les opéras
Mémoire de T.F.E. E.N.T.P.E. juin 1994
- [AuzBar196] S.AUZILLEAU, A.BARLET Analyse des enquêtes auprès des abonnés
du Grand Théâtre de Bordeaux et de l'Opéra de Lyon
Rapport interne ériac EAPBx fev. 1996
- [Barr82] M.BARRON Listener survey of U.K. auditoria
Proceedings of the Institute of Acoustics, 1982
- [Barr85b] M.BARRON Subjective survey of british concert halls
Proceedings of the Institute of Acoustics, 1985
- [Ber62] L.BERANEK Music acoustics and architecture.
John Wiley and son's New York, 1962.
- [Cou96] L.COUTHON Prise en compte de la puissance et de la directivité des sources
sonores en acoustique architecturale: mesures et simulation
Thèse de spécialité en acoustique Uni. Paris VI prévue fin 1996
- [Dal75] A.DALLEAS Conception et réalisation de la chambre anéchoïque de l'Université de
Bordeaux 1
Thèse, université de Bordeaux I, 1975.
- [DelePui94] L.DELEERSNYDER, Y.PUIATTI Mesures de critères objectifs dans des salles
de spectacles de la Communauté Urbaine de Bordeaux
*Rapport de stage 2ème année ENTPE /DESS-CEAA EAPB
juin-août 1994*
- [Delh94] J.P.DELHOM Modèle de prévision acoustique en espace clos basé sur les hypothèses
de reflexion diffuse et spéculaire en paroi.
Mémoire CNAM en acoustique mai 1994
- [Gay96] P.GAYAN Comparaison de deux méthodes de mesures des critères acoustiques in situ
Mémoire de stage maitrise de mécanique physique ériac juin 1996
- [Gui91] Ph.GUIGNOUARD L'absorption acoustique des matériaux poreux. Prédications et mesures.
Thèse de Doctorat de l'Université du Maine (Le Mans), 1991
- [GTB91] Coll. d'auteurs sous la direction de M.LARÛE-CHARLUS Le Grand Théâtre de Bordeaux
William Blake and Co edit. 1991

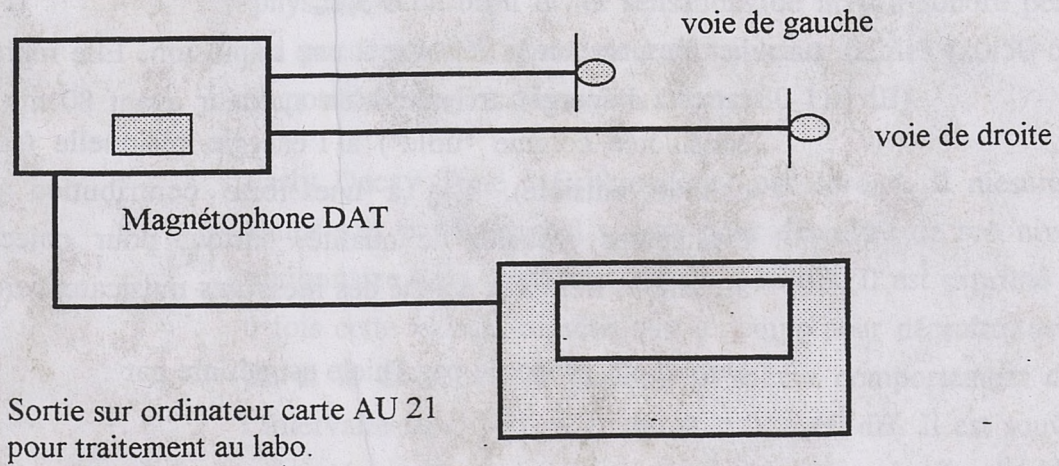
- [HouSte73] T.HOUTGAST, H.J.M.STEENEKEN The modulation transfert function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility
Acustica vol 28 1973 66-73
- [Joa92] P.JOANNE Absorption acoustique de mobilier scolaire
Mémoire de DESS-CEAA sept 1992
- [Jor69] V.L.JORDAN Room acoustics and architectural acoustic developpement in recent years.
Applied Acoustics. 2, n° 1, janvier 1969, p. 59-81
- [Jor80] V.L.JORDAN Acoustical design of concert halls and theaters
Applied Science Publishers 1980.
- [Jou92] Ph.JOUEENNE Caractérisation de la qualité acoustique des lieux d'écoute
Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie(VI) décembre 1992
- [Kah95] E.KAHLE Validation d'un modèle objectif de la perception de la qualité acoustique dans un ensemble de salles de concerts et d'opéras
Thèse de Doctorat de l'Université du Mans-IRCAM juin 1995
- [Kut79] H.KUTTRUFF Room acoustics.
Applied Science Publishers, 1979.
- [Mey67] J.MEYER Pouvoir directionnel des instruments de musique.
Bulletin du GAM n°27, 1967.
- [Pel91] X.PELORSON Pertinence des paramètres objectifs utilisés pour caractériser la qualité acoustique d'une salle
Thèse de Doctorat de l'Université du Mans novembre 1991
- [Sch65] M.R.SCHROEDER New method of measuring reverberation time,
JASA., vol. 37, n° 3, 1965, p. 409-412.
- [SeJouBoJo92] C.SEMIDOR, Ph.JOUEENNE, C.BONHOMME, P.JOANNE Qualité acoustique de quelques salles de concert en Allemagne
in [CFA92] Arcachon
- [ViaVMae86] J.P.VIAN, D.VAN MAERCKE Calculation of the room impulse response using a raytracing method
in [Van86] ICA 12 Symposium Vancouver 1986
- [Vor95] M.VORLANDER International Round Robin on room acoustical computer simulations
in [I.C.A.95] Trondheim
- [Xu92] A.Y.XU Invisible acoustics in the restauration of the Grand Théâtre de Bordeaux
*Proceedings of the Institute of Acoustics, vol 14 part II
Birmingham, UK 1992*

Annexes

Matériel utilisé pour dBImpuls



Montage utilisé pour dB Bâti



Glossaire

Source : Thèse de P. JOUENNE

Bruit blanc

Bruit dont la densité spectrale est indépendante de la fréquence (Norme NF S 30-101). L'appellation "blanc" vient de l'analogie avec la lumière blanche qui correspond à la même définition.

Bruit de fond

Ensemble de signaux parasites existant en l'absence de tout signal transmettant les informations désirées et pouvant se superposer à ce signal (Norme NF S 30-102).

Bruit rose

Bruit dont la densité spectrale est inversement proportionnelle à la fréquence (Norme NF S 30-101). L'appellation "rose" vient de l'analogie avec la lumière rose qui correspond à la même définition.

C₈₀

Est définie par :

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{dB})$$

et mesurée sur la réponse à une impulsion. Elle représente le rapport d'énergie arrivant à un auditeur avant 80 ms (énergie considérée comme "utile") à l'énergie résiduelle (considérée comme nuisible). C₈₀ a une forte contribution dans les évaluations globales de qualité, surtout pour objectiver les sensations liées à la netteté des messages musicaux perçus.

D₅₀

Definition, proposée par Thiele est définie par :

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (\%)$$

D₅₀ est mesurée sur la réponse à une impulsion. Elle représente le rapport d'énergie arrivant à un auditeur avant 50 ms (énergie considérée comme "utile") à l'énergie résiduelle (considérée comme nuisible). D₅₀ sert à objectiver les sensations liées à la netteté des messages parlés.

Ce critère "Définition" est beaucoup plus aisé à mesurer que les critères d'intelligibilité, tel l'indice d'articulation, obtenus en calculant le pourcentage de mots sans signification (logatomes), de phrases ou de mots dans les phrases bien compris sur des listes ou des phrases types.

Le critère "Définition" a, de plus, le mérite de se prévoir si on sait prévoir la réponse impulsionnelle d'une salle.

Il est, toutefois, de plus en plus remplacé par des critères basés sur la Fonction de Transfert de Modulation dans les salles (MTF) dont Houtgast et Steenneken sont à l'origine.

dB Bel et Decibel: *unités sans dimension, utilisées essentiellement pour exprimer le rapport des valeurs de deux puissances, le nombre de Bel étant égal au logarithme décimal de ce rapport. Le décibel est le dixième du Bel (Norme NF S 30-101).*

dB A,B,C Unité de mesure du niveau sonore après une pondération plus ou moins énergétique (A, B ou C), liée à la sensibilité moyenne de l'oreille, permettant de mieux faire coïncider le niveau physique d'un bruit et les sensations de niveau sonore perçu. La pondération A s'adresse à des niveaux faibles (20-50 dB), la pondération C à des niveaux forts (80-110 dB).

EDT Early Decay Time : Critère défini par Jordan. Il mesure le temps mis par un signal sonore pour décroître de son niveau stationnaire à un niveau inférieur de 10 dB. Il est exprimé par 6 fois cette valeur, représentant le temps pour décroître de 60 dB si la décroissance présente le même comportement dans l'intervalle 0, -10 dB et l'intervalle 0, - 60 dB. Il est souvent présenté comme corrélant mieux l'impression de réverbération que le Temps de Réverbération.

RASTI Rapid Speech Transmission Index. Critère d'appréciation de l'intelligibilité, calculer comme le STI mais restreint aux bandes d'octave 500 Hz et 2 KHz.

Réverbération

Persistance d'un son dans un espace clos ou semi-clos après interruption de la source acoustique (Norme NF S 30-106).

STI

Speech Transmission Index. c'est un critère objectif qui permet de caractériser l'intelligibilité de la parole. STI est le prédicateur prenant en compte toutes les causes possible d'altération de la parole, hormis les effets non linéaires. Une source sonore émet dans la salle étudiée un son dont l'intensité est modulée à 100% avec une période de modulation correspondant à celle de la voix. Au point de réception, l'amplitude de la modulation a été réduite par la salle. Cette transmission est caractérisé par la Fonction de Transfert de Modulation (MTF). Celle-ci peut être obtenue à partir de la réponse impulsionnelle de la salle. STI est calculé à partir de MTF.

STI étant plus adapté aux mesures d'intelligibilité que Définition (D) et étant tout aussi prévisible, on comprend pourquoi ce dernier est de moins en moins pris en compte.

NOM DE LA SALLE :

A

Lorsque vous jouez sur scène :

Percevez-vous clairement et distinctement :

- le (ou les) solistes ? -----

- vos voisins immédiats ? -----

- les musiciens les plus éloignés ? -----

Avez-vous l'impression de suivre le chef :

- à l'oreille ? -----

- à l'œil ? -----

Avez-vous une sensation de jeu d'ensemble
de l'orchestre ? -----

Avez-vous l'impression que le son passe
vers la salle ? -----

Sentez-vous le retour du public ? -----

L'attaque du son vous semble-t-elle franche ?

Resentez-vous une mollesse du son ? -----

Etes-vous gêné par des bruits qui vous
masquent le son de l'orchestre ? -----

Bien Moyennement Un peu Pas du tout

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

B

Lorsque vous êtes dans la salle :

Avez-vous l'impression de :

- recevoir le son directement de la scène ?

- d'être dans un bain sonore ? -----

Avez-vous la sensation de jeu d'ensemble de

l'orchestre ? -----

Le jeu du soliste vous apparaît-il distinctement ?

Y-a-t-il un équilibre entre les différentes parties

de l'orchestre ? -----

Où bien est-ce que : les basses ressortent ? --

les aigus ressortent ? --

Percevez-vous de façon correcte les nuances du jeu ?

Le son vous semble-t-il plutôt :

- brillant -----

- confus (bain sonore)

- chaud -----

- fragile et clinquant

- creux -----

La salle vous paraît-elle :

- à vide : vivante -----

sèche -----

- avec le public : vivante -----

sèche -----

Vous semble-t-il y avoir des places où

la force sonore est plus faible ? -----

Bien Moyennement Un Peu Pas du tout

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

D'une façon générale :

Avez-vous trouvé qu'il est agréable de jouer dans cette salle ?

Avez-vous apprécié :

- l'accueil ?
- les installations annexes (loges, vestiaires, toilettes...)?
- l'espace sur scène ?
- l'ambiance intérieure (lumière, couleurs, chaleur, ...)?
- l'architecture (forme, matériaux, espace, ...)?

