

(Groupe d'Acoustique Musicale)

Laboratoire d'Acoustique

Faculté des Sciences

8, rue Cuvier PARIS 5°

BULLETIN N° 131°) REUNION DU 16 JUIN 1965

Etaient présents :

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président

M. LEIPP Secrétaire Général; Melle CASTELLENGO, Secrétaire

Monsieur GAUTHIER, Vice Doyen de la Faculté des Sciences nous avait honoré de sa présence.

puis par ordre d'arrivée :

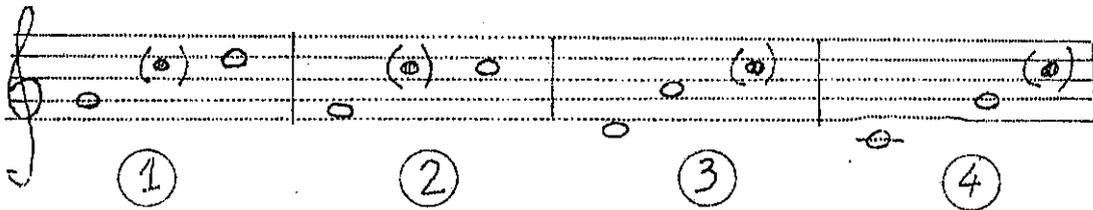
M. J.S. LIENARD (ingénieur A. et M.); M. FAYEULLE, Chef de la Fanfare de l'Opéra de Paris et son fils; Melle GIGNOUX (Conservatoire de Paris); M. FORET (Compositeur, ex Chef de la Garde Républicaine); M. DUBUC (Ingénieur du CHAM); Mme de BOISSIEU (Professeur de Musique); M. LAFORGE (Chef des Choeurs de l'Opéra) et M. LAFORGE; M. BASCHET (Groupe de Recherche de l'ORST); M. POUELAN (Médecin-biologiste); Melle THIÉRON et Melle DOUEL (Conservatoire de Musique); M. BERNARD (Maître de Conférence à la Faculté des Sciences de CAEN); Mme CANAC; et Melle KLEIN (Pianos); Mme GAUTHIER; M. BLONDELET (Directeur des Ets BUFFET CRAMPEL); M. MOREAU (Professeur d'Education Musicale); M. BUGAL (Musique Arabe CRTF); Melle CLEMENCEAU, Melle FLANDRIN (Conservatoire de Musique); M. Bertrand 'AGRAIVES (Ingénieur); Melle SIESTRUNCK (Etudiante); Mme LEIPP; M. EYTLINGER (Clarinette solo à l'Opéra de TEL-AVIV); M. DORGEUILLE (Docteur en Médecine); M. TRAN VAN KHE (musicologue); M. DUPARCO (Revue Musicale); M. ISOIR (organiste).

Excusés : M. CHAVASSE (Ingénieur en Chef du CERT); M. MOLES (Faculté des lettres de Strasbourg); M. WINCKEL (Université Technique de Berlin); M. CHAILLEY (Directeur de l'Institut de Musicologie de Paris); M. GALLOIS-MONTERUN (Directeur du Conservatoire National de Musique de Paris); M. DUFOURCQ (Professeur au Conservatoire); M. AGOSTINE (Directeur Technique de l'Opéra de Paris); Mme BOREL MAISONNY (Orthophoniste); M. BUSNEL (Directeur du Laboratoire de physiologie acoustique de l'INRA); M. ROUGET (Directeur du Département d'Etnomusicologie du Musée de l'Homme); Mme FULIN (Professeur de Musique); M. LE ROY (Professeur au Conservatoire); Mme CHARNASSE (CNRS); Melle N. ROCHE (Conservatoire de Musique); Mme GRIMAUD (CNRS); M. SAINT GUIRONS (IBM); Dr MILLET; Melle Cl. MARCEL-DUBOIS (Maître de recherche au CNRS); M. CAPELLE (Facteur d'instruments à percussion); M. BEAUGNIER (Saxophones); M. MALERNE (Clarinettes); M. DUPUY (luthier); Mme HELFFER (Musée Guimet); M. GEORGEAIS et Mme STRAUS (Professeurs au Lycée LA FONTAINE); Melle CHAILLEY (Etudiante en musique); M. GEMINIANI (percussionniste); Dr VALLANCIEN (Docteur en Médecine); Melle DENVILLE

...../

(Orthophoniste); M. MAUGUIN (Musique turque); M. NAVROCKI (UNESCO); M. BATAISSIER (Secrétaire technique du SIERE); M. Ch. MAILLOT (Cordes Harmoniques, Lyon); L. VICHNIEVSKY (Professeur à la Faculté des Sciences de Paris).

- 2°) RECTIFICATIF (bulletin N° 12). Deux erreurs se sont glissées malencontreusement à la p.9 du précédent bulletin, à propos des quatre accords de la vièle vietnamienne; nous avons pu faire la rectification sur les bulletins envoyés par poste; pour les autres voici ce qu'il faut lire :



De même page 2, 25° ligne, lire 1 000 et non 6 000 000.

- 3°) L'ORGUE : Nous poursuivons au laboratoire des recherches sur l'orgue, en collaboration avec M. ISOIR, organiste à St-Médard, qui nous a permis de faire des relevés à Maison Alfort. Ces travaux font suite à ceux qui ont été réalisés avec M. MEYER SIAT dont nous avons signalé en son temps (bulletin N°9) l'intéressant ouvrage sur les CALLINET, facteurs d'orgue en Alsace. Nous rappelons que la publication est accompagnée d'un disque d'improvisations de M. Erwin SATTLER organiste à Cronenbourg, enregistré à l'orgue de MOLLAU (Librairie Istra).
- 4°) CONGRES INTERNATIONAL D'ACCOUSTIQUE (ICA) Liège, septembre 1965. M. LEIPP présentera une étude sur l'acoustique des églises considérées comme salles où l'on joue de l'orgue. Melle CASTELLENGO a fait un travail sur l'acoustique des cloches et M. J.S. LIENARD fait un exposé sur l'usure acoustique des disques.
- 5°) Le laboratoire d'acoustique cesse ses activités au mois de juillet : les réunions du GAM reprendront dans le courant d'octobre; vous en sera averti par la convocation habituelle.

o
o o

REUNION DU 16 JUIN 1965. M. CANAC, Directeur du Centre de Recherches Scientifiques et Industrielles de Marseille, Directeur honoraire du Centre de Recherches Physiques de Marseille nous a présenté un exposé sur l'acoustique des théâtres antiques dont voici le résumé par M. LIENARD.

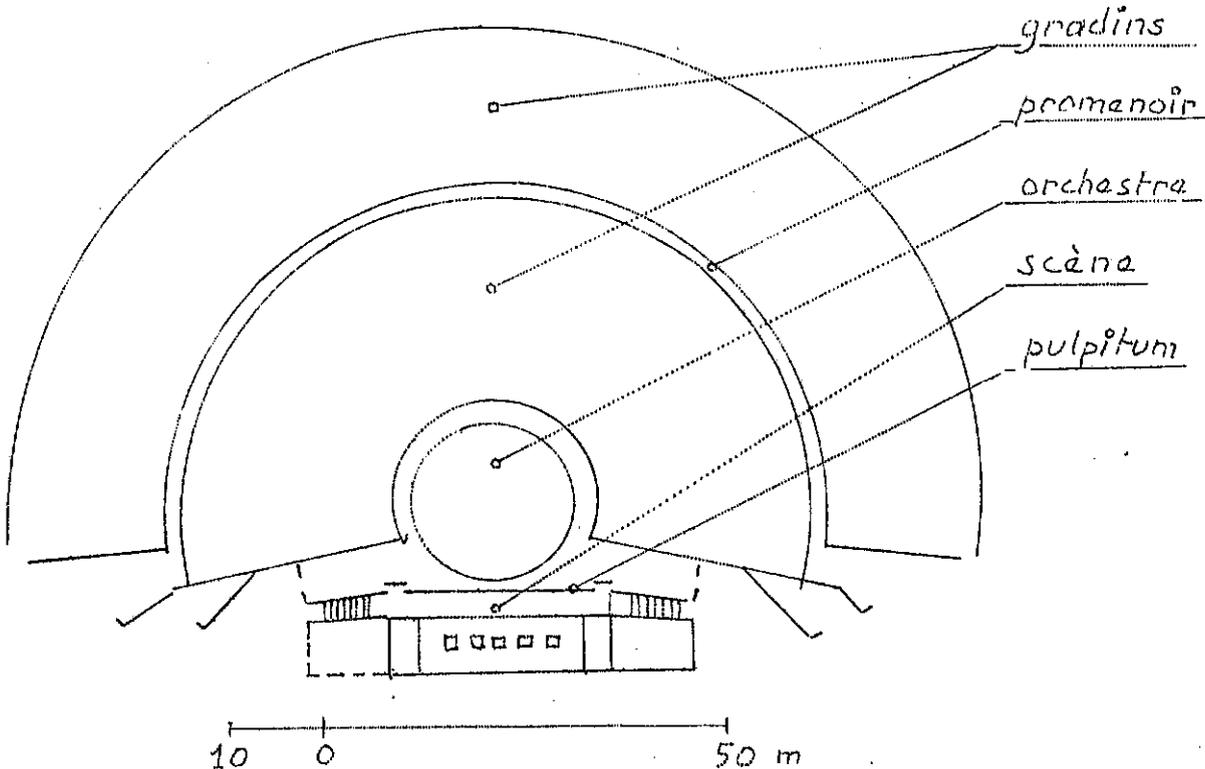
...../

L'ACCOUSTIQUE DES THÉÂTRES ANTIQUES

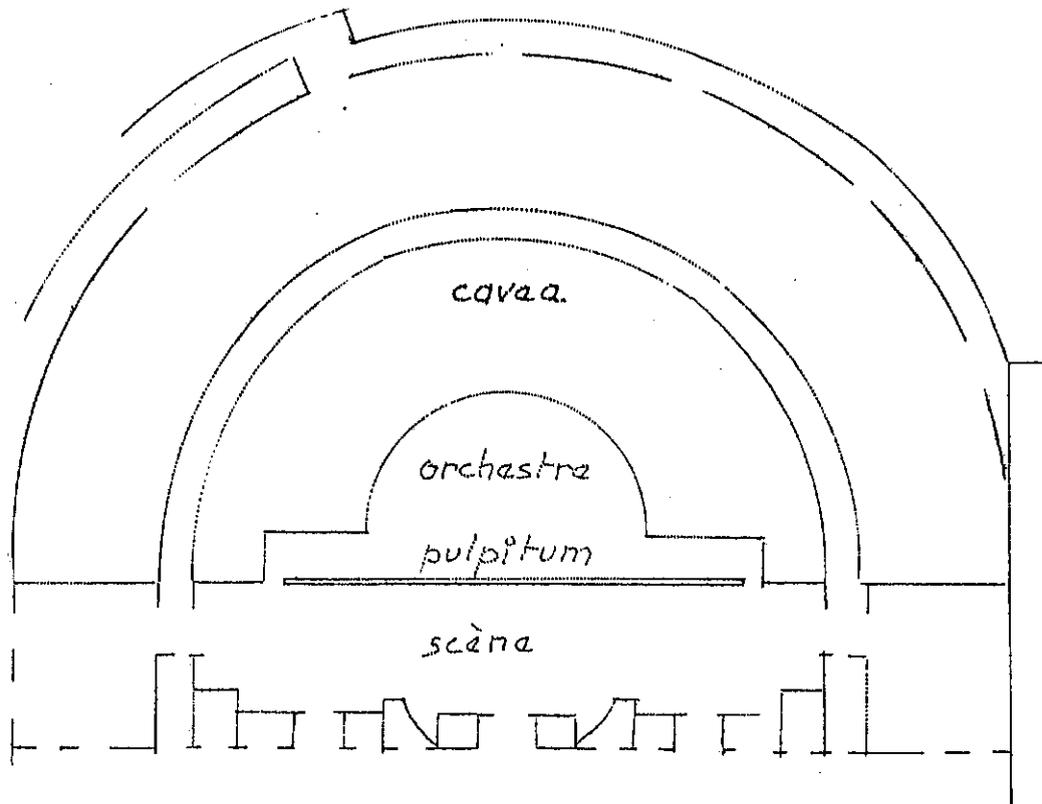
Exposé de M. CANAC, résumé par J.S. LIENARD.

Du V^{ème} avant Jésus Christ au II^{ème} siècle de notre ère les Grecs, puis les Romains ont construit des théâtres en plein air. A l'origine endroits pour voir ces théâtres sont devenus aussi des endroits pour entendre (la musique), ou pour comprendre (la parole) et leur architecture s'est adaptée à ces divers impératifs.

On trouve presque tous les théâtres autour de la Méditerranée et quelques uns sont encore très bien conservés. L'un des plus beaux est celui d'EPIDAURE, construit au IV^{ème} siècle avant JC par Polyclète le Jeune. Placé comme la plupart des théâtres grecs dans une dépression de terrain (adossé à une colline) cet édifice permet à 12 000 spectateurs assis sur les gradins semi-circulaires (cavea) de contempler le spectacle qui se déroule sur la scène. Entre la scène et les gradins se trouve l'orchestre, plate-forme circulaire et bien dégagée. La scène est légèrement surélevée, d'environ 1,50 mètre, et le mur qui lui sert de façade, nommé plus tard *pulpitum* par les Romains, comporte une série d'alvéoles verticales de section alternativement circulaire et carrée.



Un autre théâtre bien conservé est celui d'ORANGE, construit par les Romains au 1er siècle de notre ère. On relève dans l'architecture quelques différences caractéristiques : l'édifice n'est pas adossé à une colline, et derrière la scène est érigé un grand mur autrefois bordé de colonnes, piètre toile de fond comparée à celle d'EPIDAURE. L'orchestre a ici la forme d'un cercle tronqué, et la scène est plus proche des gradins.



On trouve encore bien d'autres théâtres appartenant à l'un de ces deux types, avec quelques variantes :

- PERGAME, SEGESTE : pas de mur.
- OSTIE : un mètre ou deux de mur; alternance de niches servant à diffuser le son.
- CARTHAGE : mur plat de faible hauteur, agrémenté de colonnes.
- AORMINE : ce théâtre aurait pu être le plus beau, mais il a été saboté par les Romains, qui ont construit un grand mur derrière la scène, inutile acoustiquement et plutôt nuisible du point de vue esthétique.
- ATHENES : l'Odéon d'HERCDE ATTICUS est plus spécialement destiné à la musique. Les conditions acoustiques sont différentes et se traduisent dans l'architecture par un pulpitum plat et

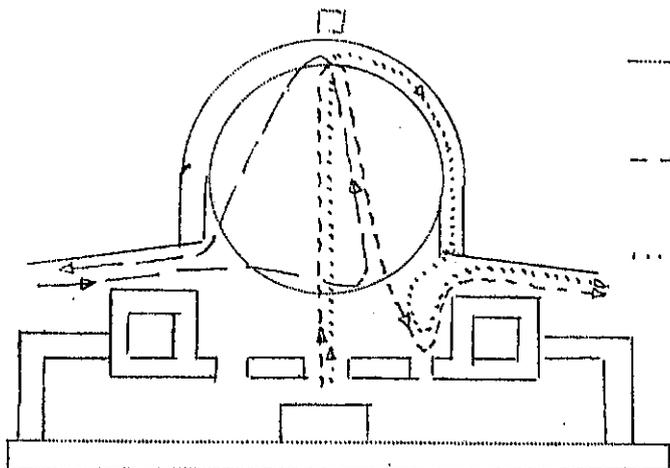
une pente plus grande des gradins. C'est une grosse erreur de faire de la musique dans un théâtre et réciproquement.

- POMPEI : à Pompéi se trouvent côte à côte un théâtre et un odéon. La comparaison montre clairement que les architectes avaient le souci d'assurer une audition correcte dans les deux cas.

L'orchestre des théâtres antiques joue un rôle acoustique particulier. Aristote, puis Pline l'Ancien ont déjà souligné son rôle de miroir sonore. Pour que l'audition soit bonne l'orchestre doit être dégagé de tout absorbant acoustique; il faut donc d'après ces auteurs, enlever la paille et les balles d'avoine que l'on y met pour permettre aux danseurs d'évoluer. Ceci est encore valable actuellement car on recommence à utiliser les Théâtres à l'occasion des festivals d'art lyrique ou dramatique, en particulier Epidaure, Orange et Herode Atticus, et on dispose des fauteuils dans l'orchestre pour gagner de la place. Certes, les spectateurs assis à cet endroit bénéficient d'une écoute correcte car ils sont proches de la scène; mais c'est au détriment de ceux qui sont assis sur les gradins. D'ailleurs dans l'antiquité les meilleures places - celles des notables de l'époque - se trouvaient à l'opposé de la scène, à mi-hauteur des gradins, légèrement au-dessus du promenoir.

En général le centre de l'orchestre était marqué par un petit autel de forme cylindrique consacré à Dionysos. Malheureusement, en raison de son faible volume, cet autel a été très souvent emporté par les archéologues; mais on peut encore le voir intact dans le petit théâtre de Tusculum, près de Rome.

Lors des représentations antiques l'orchestre et la scène étaient mis à profit pour les déplacements du chœur et des acteurs, comme en témoigne le plan ci-dessous, relatif à la représentation des " Grenouilles " d'Aristophane.



—▶— Trajet de Charon

---▶--- Trajet de Dionysos

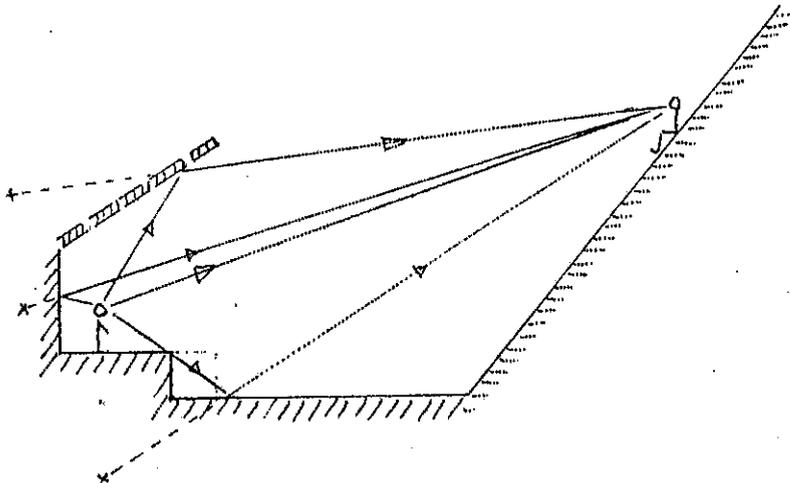
.....▶..... Trajet de Xanthios

ETUDE ACOUSTIQUE.

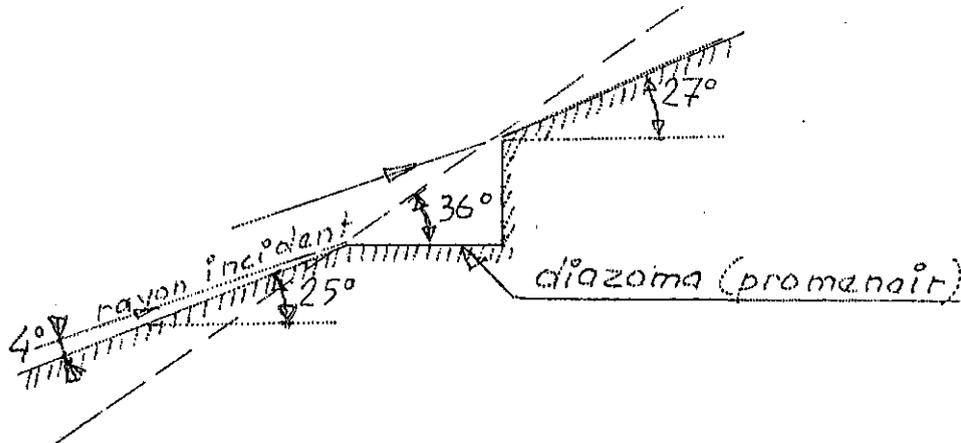
Les théâtres antiques, immenses bâtiments pouvant accueillir jusqu'à 20 000 spectateurs (Syracuse), possèdent tous une acoustique excellente que l'étude doit permettre d'expliquer. Mais il importe de distinguer au préalable parole et musique.

La parole doit essentiellement être comprise distinctement; il faut donc la préserver des bruits parasites et lui donner un niveau suffisant, sans toutefois l'affecter d'échos trop marqués. Le meilleur moyen d'éviter les bruits extérieurs est de construire le théâtre à flanc de coteau comme faisaient les Grecs, de façon que derrière la scène se trouve le vide; cette disposition permettait en outre aux spectateurs de contempler un vaste décor naturel. Les Romains construisaient plutôt leurs théâtres en terrain plat et isolaient la scène des bruits extérieurs en disposant un grand mur derrière celle-ci.

Mais la bonne compréhension d'un texte parlé requiert aussi la netteté de la parole, c'est-à-dire l'absence d'échos isolés ou d'une réverbération trop longue : les syllabes ne doivent pas se chevaucher. La durée moyenne d'une syllabe étant d'environ 1/5ème de seconde la différence de trajet du son direct et du son réfléchi ne doit pas excéder 70 mètres (célérité du son dans l'air : 340 m/s). A vrai dire le sens du discours est surtout donné par les consonnes, qui durent en moyenne 1/20ème de seconde. Ainsi la différence de trajet entre sons directs et sons réfléchis doit être inférieure à 17 mètres. Cette condition est à vérifier sur les plans du théâtre, sachant que les échos peuvent provenir de réflexions sur le mur arrière, la scène elle-même, l'orchestre et éventuellement le toit.

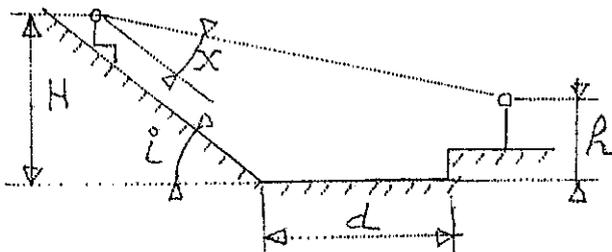


Un autre facteur important est l'absorption du son par les auditeurs, l'absorption par l'air et par les parois étant négligeable. La construction du théâtre, en particulier la pente des gradins en relation de l'envergure du bâtiment, doit être telle que l'angle x (figure ci-dessous) soit suffisamment grand (au moins 5 degrés). Cet angle caractérise le dégagement vertical visuel et auditif du spectateur par rapport aux voisins qui se trouvent devant lui. Ce même souci a conduit à donner à la partie supérieure des gradins une pente légèrement plus forte.



*Relèvement de l'angle d'écoute
au dessus du diazoma*

Les théâtres antiques sont caractérisés par un certain nombre de dimensions, angles et distances, dont les plus importantes sont données ci-dessous.



- h hauteur de la bouche de l'orateur
- H hauteur de la tête du spectateur
- d diamètre de l'orchestre
- i inclinaison des gradins
- x angle de dégagement

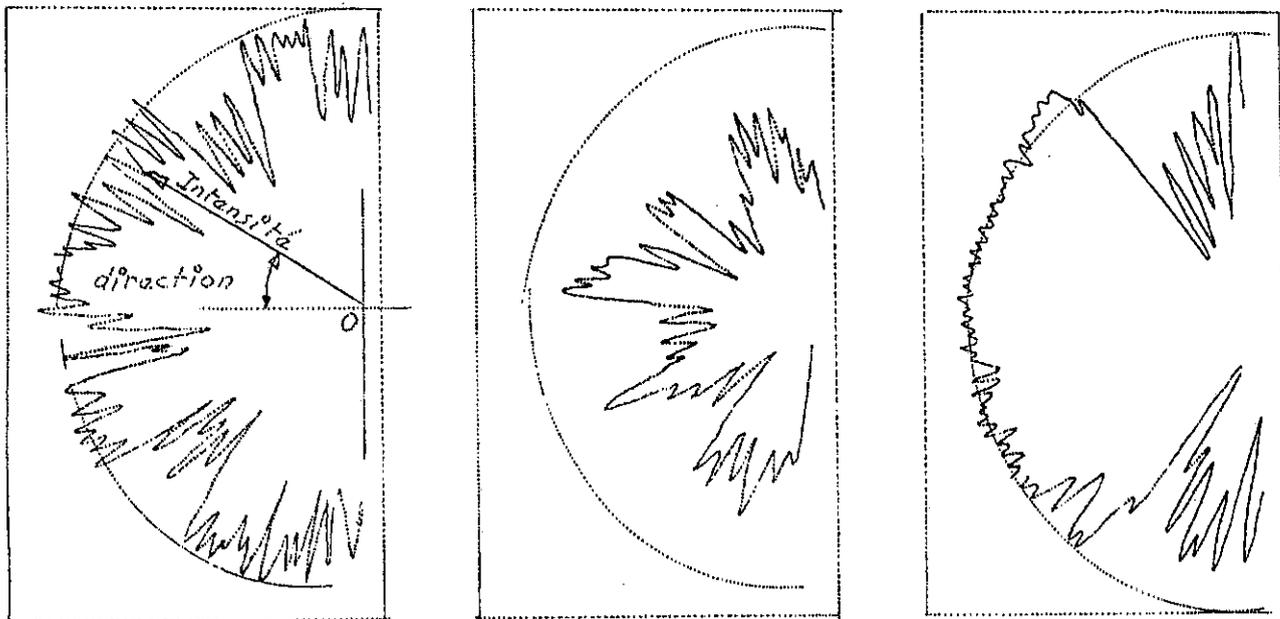
On peut trouver entre ces divers éléments une relation commune à tous les bons théâtres qui fera l'objet d'une communication au Congrès International d'Acoustique de Liège (septembre 1965). Une telle relation, exprimant sous forme mathématique la qualité acoustique de l'édifice, peut aider les archéologues à préciser lors d'une reconstitution une ou deux dimensions manquantes, comme cela s'est déjà produit.

...../

ETUDE EN LABORATOIRE

On dispose actuellement de méthodes photographiques permettant de connaître approximativement la répartition de l'énergie sonore dans un local en remplaçant celui-ci par une maquette et les sons réels par des ultrasons, moyennant certaines conditions expérimentales. Si la maquette est au 1/100e on utilisera des ultrasons de 80 000 Hertz au lieu de 800 hertz. La source d'ultrasons est placée à l'endroit où se tient normalement l'orateur, et on recueille le signal à l'aide d'un microphone qui peut explorer tout le champ sonore des auditeurs.

Cette étude met en évidence le rôle diffusant des alvéoles du mur ou du pulpitum. On a relevé, sur la maquette au 1/100e du théâtre d'Orange, la variation de l'intensité sonore tout au long d'un même gradin dans les trois cas suivants : sans mur arrière, avec un mur plan et finalement avec le mur d'origine. La troisième expérience montre une bien meilleure homogénéité du champ sonore et permet de penser que les architectes ont étudié la forme de ce mur en fonction d'une répartition régulière de l'énergie sonore.



mur plan

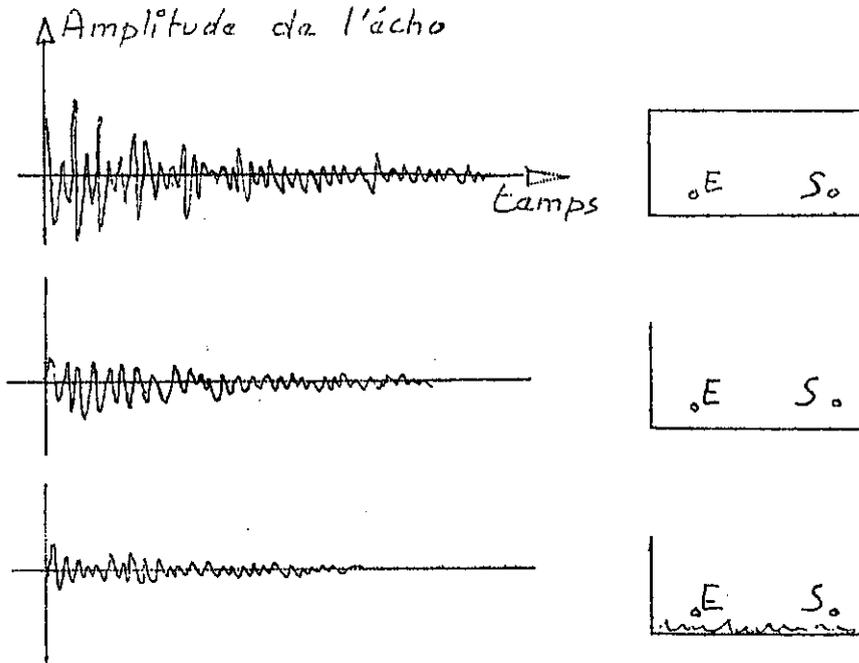
pas de mur

mur d'Orange

Par la même méthode on étudie également l'influence du toit dont on a présumé l'existence au-dessus de la scène. Cette fois au lieu d'émettre un signal continu on envoie des impulsions très brèves et l'on étudie la répartition des échos. D'après les critères de compréhension évoqués plus haut ces échos doivent décroître très rapidement pour éviter le chevauchement des syllabes. Les trois

...../

relevés suivants montrent le rôle néfaste du toit par rapport au cas normal du théâtre complètement découvert et occupé par les spectateurs - remplacés expérimentalement par des absorbants répartis sur les gradins.

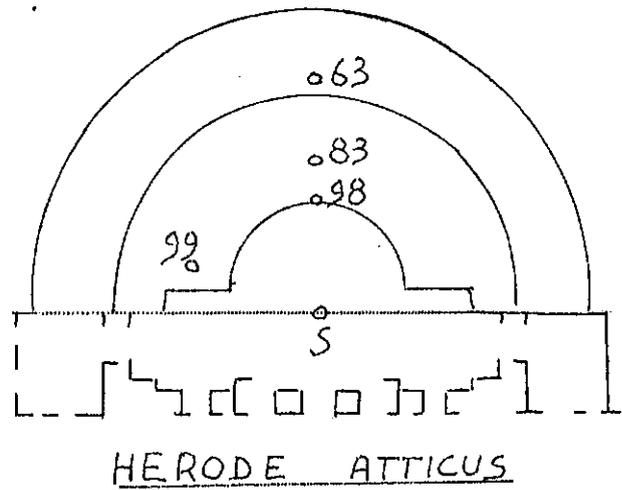
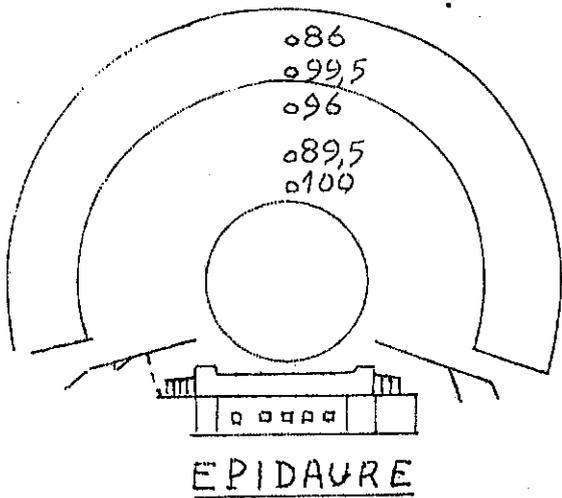


VERIFICATIONS SUR PLACE

Les expériences de laboratoire, pour intéressantes qu'elles soient, n'ont de valeur que si les résultats sont confirmés par l'expérimentation sur place. La qualité d'un théâtre étant liée à la compréhension de la parole on pratique des tests d'intelligibilité en faisant le pourcentage du nombre de mots bien compris par un auditeur par rapport au nombre total de mots lus par l'orateur placé sur la scène. On utilise habituellement des logatomes, c'est-à-dire des mots dénués de sens dont la répartition caractérise les sons de la langue parlée. Mais les difficultés de prononciation et d'écriture ont fait préférer des listes de mots prélevés dans le vocabulaire courant. Il faut noter que les Anciens connaissaient déjà les logatomes : Vitruve rapporte que les mots vox, lux, nox servaient à apprécier la qualité des théâtres.

On a comparé par cette méthode deux théâtres très différents Epidaure et Hérode Atticus. La compréhension est nettement meilleure à Epidaure, en particulier à l'endroit où se tenaient les notables (99,5 %) alors qu'à Hérode Atticus elle décroît rapidement avec la distance (60 % au niveau des derniers gradins; la voix s'accompagne d'un bourdonnement gênant).

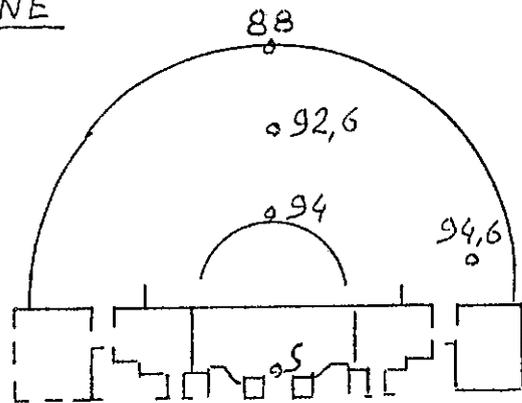
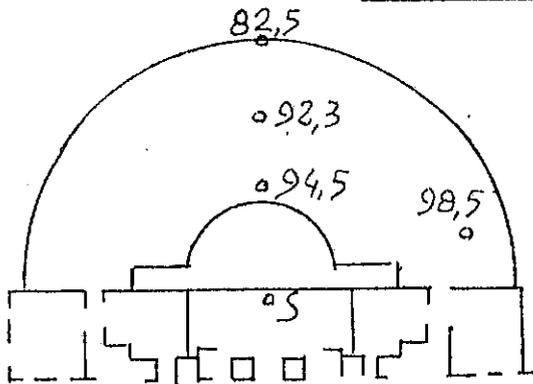
...../



pourcentages d'intelligibilité

On a également comparé deux théâtres très semblables : le théâtre de Vaison la Romaine est la réplique au mètre près de celui d'Orange; la seule différence provient du mur, qui n'existe pas à Vaison. Les mesures d'intelligibilité montrent avec évidence que ce mur nuit à la compréhension, même si par ailleurs il assure une bonne répartition du son.

VAISON LA ROMAINE



Influence de la position de l'orateur

Dans ce même théâtre de Vaison on a cherché à préciser le rôle de la position de l'orateur sur la scène. On a constaté que la compréhension était meilleure, surtout pour les spectateurs éloignés, lorsque l'orateur se trouvait au fond de la scène; ceci par suite de la réflexion du son sur le plancher même de la scène.

CONCLUSION

L'étude montre que les théâtres antiques possèdent plusieurs caractéristiques propres :

- absence de toit
- haut du mur garni de niches, statues ou colonnes favorisant la diffusion du son
- pulpitum garni d'alvéoles pour la même raison
- amplification sonore due à l'orchestre, souvent recouvert de plaques de marbre
- absorption du son par les côtés de la scène
- pente des gradins s'accroissant vers le haut, pour assurer à tous les spectateurs un dégagement visuel et acoustique suffisant.

Pour les odéons, les conclusions sont presque opposées :

- petites dimensions
- mur et pulpitum plats
- pente plus grande des gradins
- côtés de la scène étroits
- ensemble plus refermé.

Il faut dans tous les cas souligner la perfection des résultats. Ces édifices permettent à un auditoire très nombreux, cinq à vingt mille personnes, de voir, d'entendre et de comprendre sans amplification, chose remarquable de nos jours.

DISCUSSION

M. LEIPP - Vous savez sans doute que l'Opéra de Paris va donner des représentations à Orange et à Epidaure pendant l'été. Peut-être pouvons-nous espérer que vos conseils seront suivis quant à la suppression des fauteuils dans l'orchestre. D'autre part M. EYTLINGER, clarinettiste solo à l'Opéra de Tel-Aviv, nous a dit avoir joué dans l'odéon d'Hérode Atticus et avoir été très gêné, ne retrouvant pas le timbre habituel de son instrument.

M. LAFORGE - J'ai participé l'an dernier à la représentation de la Messe en si mineur et de Jeanne au bûcher, à Hérode Atticus. L'audition à toutes les places était excellente; néanmoins, comme nous l'a expliqué M. CANAC, les artistes dramatiques étaient quelquefois mal compris.

.... /

M. LEIPP - Une salle ne peut pas être universelle, le problème est le même de nos jours. Mais peut-être la langue et la musique des Grecs étaient-elles différentes des nôtres ?

M. CANAC - Les sons courts, t et thèta, abondent dans la langue grecque; les instruments utilisés, flûtes, lyres, percussions, se situaient tous dans un registre aigu.

M. SIESTRUNCK - Peut-être M. EYTLINGER ne retrouvait-il pas son timbre habituel, sans pour autant jouer mal pour les auditeurs ?

M. LEIPP - Très souvent le musicien qui s'entend mal joue mal, car il règle son jeu à l'oreille.

M. CANAC - C'est le problème de l'impression ressentie par l'acteur sur scène. Le grand comédien qu'était Mounet Sully est à l'origine de tous les festivals donnés à notre époque dans les théâtres antiques car à Orange il a senti que sa voix " portait ". Ce terme bien sûr est très vague ; on a l'impression que la voix " porte " quand on éprouve une certaine satisfaction à s'entendre. Mais il ne faut pas trop s'entendre, c'est tout le problème des échos.

o
o o

La discussion, close rapidement en raison de l'heure tardive, a trouvé un prolongement dans les précisions qu'a bien voulu nous envoyer M. FCRET quelques jours plus tard :

.... J'aurais tenté d'expliquer à M. CANAC ce que ressentent musiciens et chanteurs quand ils disent que le son ou la voix " porte ". Il existe des rapports très exactement définis entre la vitesse de propagation du son (célérité) et le degré thermique du milieu dans lequel il est émis. Toute température supérieure à 15° (celle admise pour l'accord des instruments à souffle humain, ce dernier considéré comme une source d'énergie à 32°) entraîne une célérité qui, s'accroissant, ne permet plus à l'émetteur le contrôle habituel de ses qualités propres de sonorité et l'oblige à un effort très supérieur pour retrouver (sans y arriver toujours) son timbre particulier et le volume sonore auxquels il est accoutumé.

A la vérité le son porte toutes ses qualités pour l'émetteur quand il atteint l'auditeur selon les vœux de l'artiste, et cela sans un effort inhabituel. Il ne porte pas toutes ses qualités (...) quand une célérité accrue ne permet plus le contrôle immédiat à l'émission. Souvent avec la Musique de la Garde j'ai pu constater que les concerts dans la tiédeur des après-midi d'été ne donnaient pas une satisfaction totale à chacun de nous, alors que ceux du soir au théâtre antique d'Arles par exemple nous donnaient des joies intégrales (....).