

# Le modèle acoustique du théâtre grec

Benoit Beckers & Nicoletta Borgia  
Département en Génie des Systèmes urbains  
Université de Technologie de Compiègne  
[benoit.beckers@utc.fr](mailto:benoit.beckers@utc.fr)    [www.heliodon.net](http://www.heliodon.net)

## Résumé

On propose d'interpréter le théâtre gréco-romain dans son évolution, au cours de ses mille ans d'existence, comme un problème couplé d'acoustique géométrique et de géométrie visuelle, et, par-delà, comme la première étape d'un modèle acoustique plus général, lequel englobe toutes les conceptions de salles dont le premier critère est la jauge.

## The acoustic model of the Greek theatre

### Summary

We propose to interpret the Greco-Roman theatre within its evolution, during its one thousand years of existence, as a coupled problem of geometric acoustics and visual geometry, and, beyond that, as the first step of a more general acoustic model, which involves all the rooms designs whose first criterion is the gauge.

## 1. Introduction

Depuis quelques années, on assiste à un regain d'intérêt pour l'acoustique des théâtres antiques, dont de nombreux vestiges égayent le paysage méditerranéen de l'ancien monde gréco-romain. En général, les articles sur le sujet se basent sur des mesures du champ sonore réalisées dans des théâtres importants, comme ceux d'Épidaure et de Dodone [12], d'Aphrodisias et d'Aspendos [16].

Parfois, il s'agit simplement de mieux connaître les qualités auditives de ces lieux où l'on monte encore régulièrement des spectacles. Le problème est alors que ces mesures se réalisent le plus souvent en l'absence de tout public, bien que les spectateurs modifient particulièrement l'acoustique de ces architectures de pierre. Souvent aussi, ces mesures sont un prétexte pour évaluer des programmes de simulation basés sur le lancer de rayons [14, 15], qui tiennent ou non compte de la réflexion diffuse. Il est alors malaisé d'en déduire les propriétés originelles de ces théâtres qui ne sont plus que des ruines, certes parfois dans un état de conservation remarquable, mais dont les revêtements de marbre ont disparu et dont les pierres mêmes sont fortement érodées, ce qui affecte particulièrement les composantes spéculaires et diffuses du son réfléchi.

A notre avis, le résultat de ces travaux est qu'on donne trop d'importance à des effets secondaires (réflexions multiples entre la scène et les gradins, ou entre les parties opposées des gradins) qui disparaissent presque complètement lorsque le public s'installe, qui n'expliquent en rien la genèse ni la fonction de ces théâtres, qui tiennent peu

compte des motivations de leurs architectes, et qui ne peuvent guère, finalement, nous orienter dans nos propres projets d'architecture...

Chez les chercheurs en acoustique des salles, on observe, depuis une cinquantaine d'années, un manque d'intérêt vers une véritable culture architecturale, orientée vers la conception, seule à même de justifier les mesures et les analyses, afin d'aider à la création de nouveaux espaces. Au lieu de cela, on cherche à mettre en avant une série de paramètres dont on espère qu'ils puissent donner une connaissance complète du champ sonore et de sa perception. Or, cette intention se révèle presque chimérique quand on se penche sur l'acoustique des théâtres antiques. On montre ainsi que la clarté y est grande, mais que le son s'y trouve bien moins renforcé que dans les salles contemporaines munies d'un toit. En réalité, cela n'a pas grande importance. La réverbération est très faible à Épidaure (où tout l'appareil scénique a disparu [12]), et plus que notable à Aspendos (où le mur de scène, qui ferme complètement l'enceinte de ce théâtre romain, est presque intact [16]). On oublie alors de se demander s'il n'est pas quelque peu anachronique de mettre en avant un tel paramètre dans ces lieux mesurés à vide : il ne peut guère en effet y avoir de réverbération quand le public est là, ces lieux n'ont pas été conçus avec une telle intention. S'il fallait chercher à cette époque les prémisses de ce qu'on appellera ici le « modèle réverbérant », on ferait mieux d'étudier les basiliques romaines, ancêtres des églises chrétiennes où, pour la première fois peut être, on a composé en Europe des œuvres musicales pensées pour réverbérer.

Or, ce qui nous paraît indiscutable, c'est que le théâtre antique appartient à un modèle acoustique radicalement distinct, qui doit être étudié selon sa propre logique constructive, avec des outils purement géométriques. Il faut donc repartir des travaux de F. Canac [3], qui sont les plus complets à ce jour. Malheureusement, les progrès réalisés dans le domaine des mesures acoustiques ne nous apportent pas grand-chose de nouveau, faute d'avoir été appliqués dans le dessein que nous ébaucherons ici. En revanche, on peut essayer, comme nous allons le faire, de passer outre à la limitation la plus discutée des travaux pionniers de F. Canac, qui se basaient sur un théâtre « idéal » (celui d'Épidaure), et mésestimaient l'importance de l'évolution historique.

Un modèle historique ne se comprend bien qu'à travers de ses évolutions. Ce sont elles qui nous révèlent les pensées des architectes impliqués, leurs souhaits de mieux faire et leurs propres limitations. En somme, ce qui était en jeu à l'époque, et ce qui peut encore l'être aujourd'hui.

## 2. L'évolution du théâtre gréco-romain

L'utilisation du théâtre grec et de son avatar romain court sur près de mille ans : depuis le siècle de Périclès (ou très peu avant) jusqu'au cinquième siècle de notre ère, lorsque, sous l'influence chrétienne, puis à cause de la chute de l'empire d'occident, tous les lieux de spectacle ont été peu à peu délaissés. D'une manière conventionnelle, nous adopterons un découpage en quatre époques : archaïque, classique, hellénistique et romaine. Précisons tout de suite que cette nomenclature, quant à l'évolution du théâtre, se trouve constamment retardée par rapport au découpage proprement historique sur lequel elle est calquée.

Nous n'avons pas la moindre trace vraiment concluante concernant l'époque archaïque, qu'on ne peut raisonnablement pas faire remonter très loin, et certainement pas aux époques crétoise ou mycénienne, puisque les lieux publics y adoptaient alors la forme rectangulaire, la plus répandue parmi les civilisations antiques (en Amérique ou en Chine, par exemple). On peut juste accepter l'hypothèse des auteurs anciens qui prétendaient en général que le théâtre était né sur les flancs de l'Acropole, à Athènes, sans doute à l'époque de Pisistrate (vers 530 av. J.C.), comme une extension du culte dionysiaque [6]. Cette genèse expliquerait assez bien la double spécificité du théâtre de Dionysos, et de tous ses émules postérieurs : des gradins tronconiques à flanc de colline (le *koilon*) et un lieu scénique double, composé d'un espace circulaire (*l'orchestra*) et de la scène proprement dite, située devant un simple rideau (la *skene*) qui deviendrait ensuite le mur de scène.

Le *proskenion* fut ensuite élevé au-dessus de l'*orchestra*, pour assurer une meilleure visibilité.

Cette scène étroite, où le prêtre originel avait été remplacé par deux puis trois acteurs (jamais plus dans la tragédie grecque) s'opposait à l'espace libre de l'*orchestra*, où se tenaient les chœurs et leur chef, le coryphée. Tous les théâtres de l'époque classique ont été modifiés à l'époque suivante et leurs structures scéniques, qui étaient en bois, ont disparu. Malgré ces inconnues, deux évolutions caractérisent clairement le théâtre hellénistique : de nouvelles rangées de gradins sont ajoutées au *koilon*, et le *proskenion* est élevé bien plus haut, jusqu'à plus de trois mètres au-dessus de l'*orchestra*.

Chez les romains, la construction de théâtres en pierre ne commence que dans les dernières années de la république, et les principaux exemplaires conservés datent du premier au troisième siècle de notre ère. Ces théâtres ne sont pas adossés à une colline, et forment un ensemble fermé auquel il ne manque qu'un toit.

## 3. L'abstraction d'un théâtre type

Nous allons maintenant raisonner sur un théâtre type, en nous demandant comment on pouvait penser à l'époque, et s'il est vrai qu'on le faisait avec des notions d'acoustique, tout en sachant que celles-ci ne pouvaient s'exprimer comme aujourd'hui, et en prenant garde de ne pas projeter sur ces idées anciennes des connaissances anachroniques.

Au départ, il y a donc cette idée de former le public en cercle autour de l'action, et de l'étagé sur des gradins. Cela paraît évident, pour de simples raisons visuelles, et pourtant, on ne trouve rien de semblable dans aucune autre civilisation ancienne.

Dans un livre récent [13], Paul Veyne parle d'une "idée neuve", proprement grecque, un "idéal aristocratique qui a été étendu à tout un corps civique autoproclamé, paysans et gens de la ville", et il ajoute l'observation suivante. "Dès l'Iliade, il n'y a plus de despote, il y a des « rois », qui sont d'ailleurs plus ou moins rois et dont l'un d'entre eux, Achille, peut envoyer paître Agamemnon, qui est pourtant le plus roi de tous. Si un gros problème se pose, l'armée fait cercle avec, au centre de la communauté guerrière, un espace libre qui est collectif et impersonnel".

Ce qui s'est construit bien plus tard sur les flancs de l'Acropole serait donc la conséquence de cet idéal aristocratique étendu, et c'est d'ailleurs à un phénomène comparable que l'on doit, à la Renaissance, la résurgence du même « modèle circulaire » de théâtre, après une éclipse millénaire. N'est-ce pas la même intention qui présidera alors à la naissance de l'opéra italien ? Là où l'idéal aristocratique prévaut, on fera, partout en Europe, des salles en fer à cheval puis en éventail, tandis que le goût bourgeois des concerts anglais ou allemands préférera souvent des salles rectangulaires...

Pour les grecs et les romains, le théâtre est un lieu public de première importance, et les spectacles profanes ou religieux qui s’y déroulent sont le sceau même de la civilisation, l’orgueil de la cité: en 418 ap. J.C. encore, huit ans après la dévastation de Rome par les Goths, les citoyens exigèrent des spectacles et des jeux, comme preuve du retour à la normale [13]. Les théâtres ont toujours attiré une foule incroyable, et c’est pourquoi on leur a donné des proportions gigantesques. Ce sont des lieux prévus seulement pour une assistance massive. Leur forme répond d’abord à la nécessité de faire voir une scène aux dimensions réduites par des milliers de spectateurs (« seulement » 5000 à Priène [9], mais jusqu’à 25 000 à Ephèse [2]). C’est cela qui définit le modèle circulaire et son acoustique originale, avec ses avantages et ses limitations. Au départ, il y a donc l’idée que ce qui se voit bien s’entend bien : en libérant les visuelles, on dégage aussi le son direct. Pour ce double objectif, il faut des gradins très inclinés et, mieux encore, il convient que l’inclinaison augmente avec la distance à la scène. Dans les plus grands théâtres, le koilon est divisé en deux zones concentriques (voire trois), par un passage circulaire (la *diazoma*) au-delà duquel l’inclinaison peut être renforcée.

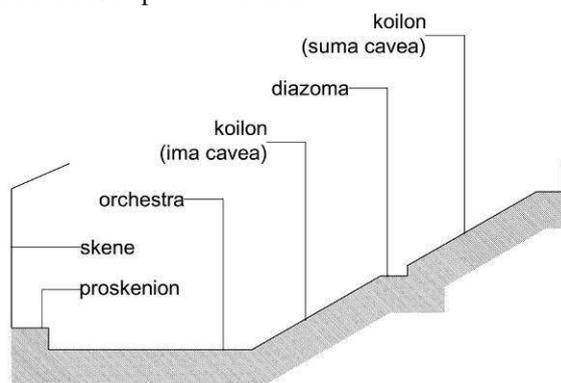


Fig. 1 : Coupe longitudinale du théâtre, avec une *diazoma* partageant les gradins

Le paramètre important est l’angle d’incidence que fait le rayon du son direct avec la ligne des têtes des spectateurs. Plus celui-ci est important, plus la vue sera dégagée et le son direct se percevra d’autant mieux. Cependant, le son ne se comporte pas exactement comme la lumière : pour les incidences rasantes, il y a fort à parier que les fronts d’onde soient partiellement absorbés et déformés par le public situé en avant, et que cette absorption varie fortement avec la fréquence. C’est ici que des mesures seraient nécessaires, qui soient réalisées avec des gradins de pierre, ce qui devrait modifier les quelques résultats obtenus dans des salles modernes. De telles mesures, certes difficiles à réaliser, nécessairement *in situ* et avec du public, seraient bien plus utiles que tout ce qui a été mesuré dans les théâtres vides...

Cependant, l’acoustique du théâtre grec n’est pas seulement dans la disposition tronconique

du public et dans le libre déploiement du son direct qui en résulte : sa forme si particulière, issue du culte dionysiaque, lui offre en outre deux renforts essentiels. On a rappelé, d’abord, que la scène du théâtre grec est étroite : 2.4 mètres à Epidaure, moins de trois mètres à Priène, Pergame ou Syracuse, et 3.3 mètres au théâtre athénien de Dionysos à l’époque hellénistique. Cela permet une réflexion peu retardée sur le mur de scène, qui renforce le niveau sonore sans nuire à la clarté du discours. Il est très instructif de comparer ces résultats avec ce qui est advenu à Rome, où les acteurs sur scène pouvaient être beaucoup plus nombreux, et où le *proskenion* était en conséquence beaucoup plus profond. Dans tous les cas que nous avons étudiés, le retard de la réflexion reste cependant sous la valeur de 50 millisecondes aujourd’hui retenue comme limite pour l’intelligibilité de la parole. Ainsi, dans le cas extrême du théâtre d’Ephèse, où la scène atteint 7.8 mètres de profondeur, le retard maximum, produit pour les premiers gradins par un acteur situé tout au bord du *proskenion*, est limité à 46 millisecondes. Dans ce cas, il suffirait de porter la profondeur à 9 mètres pour dépasser la valeur limite. Cela indique clairement que les architectes romains avaient senti cette limite et contrôlaient en conséquence la géométrie de leurs théâtres.

Le second renfort est offert par la surface réfléchissante de l’orchestra, qui semble constituer l’idée la plus originale du théâtre grec : éloigner un peu le public de la scène, pour lui offrir une seconde réflexion du premier ordre très peu retardée (ici, en effet, les retards sont toujours négligeables). Cependant, on trouve d’autres exemples anciens de ce genre, comme un théâtre chinois dont la scène repose sur un plan d’eau, lequel éloigne les spectateurs tout en réfléchissant le son [11].

Pour le théâtre grec, la conséquence très notable de cette configuration est que tout le public se trouve dans le champ réfléchi, c’est-à-dire que l’ensemble du son réfléchi sur la scène et l’orchestre est toujours plus important que la composante directe. Donc, tout le monde entend essentiellement grâce à l’architecture. C’est d’ailleurs la manière la plus simple de réaliser cet effet, la plus économe. Il faut évidemment que le bruit ambiant soit très faible pour que ça marche, mais alors le résultat est surprenant : on voit très bien et on entend distinctement, parce qu’un nombre très réduit de réflexions fortes s’ajoute au son direct. C’est une solution élégante et fragile, qu’on ne devrait ni surestimer ni mépriser : il suffit de considérer les nombreuses imitations modernes géométriquement incorrectes pour percevoir l’apport réel de ces modestes réflexions à des gradins bien inclinés...

#### 4. Utilisation du programme « Radit2d »

Depuis l'année 2002, nous avons développé un programme informatique pour l'aide à la conception acoustique, destiné aux étudiants et aux professionnels de l'architecture [10]. Il permet d'étudier en coupe les variations du son direct et des réflexions du premier ordre en fonction du tracé de l'enceinte étudiée. Sa caractéristique principale est que tous les calculs sont réalisés de manière analytique (contributions en décibels, élimination des parties cachées, cartes des niveaux sonores et diagrammes polaires), de sorte que son maniement est réellement interactif et que l'on peut tester avec rapidité de nombreuses configurations (position de la source et du récepteur, position et orientation des différentes surfaces réfléchissantes, facteurs d'absorption).

Ici, le programme « Radit2d » nous a permis de comparer de très nombreux cas de théâtres, en faisant varier la position de la source sur le proskenion et sur l'orchestra.

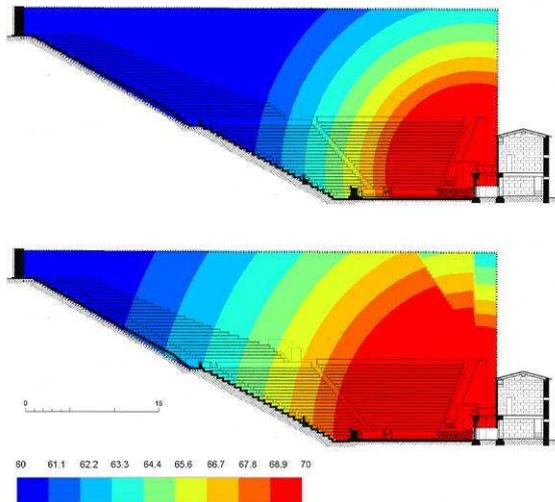


Fig. 2 : le son direct seul (en haut), puis ajouté aux réflexions sur l'orchestra et sur la skene (en bas) ; carte du programme en transparence sur une coupe du théâtre de Priène (schéma d'après [9]).

Dans le théâtre de Priène, on vérifie ainsi qu'un spectateur situé au premier rang bénéficie déjà d'un niveau sonore réfléchi ( $L_p^r = 66.8$  dB) supérieur au niveau direct ( $L_p^d = 65$  dB), même en ne considérant que les premières réflexions sur l'orchestra et le mur de scène (ces deux surfaces sont supposées parfaitement réfléchissantes). Il en sera toujours ainsi dans les théâtres antiques, du moment que le spectateur reçoive au moins deux réflexions.

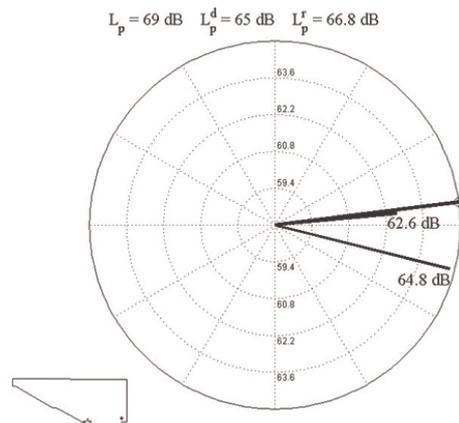


Fig. 3 : Diagramme polaire du programme, pour un spectateur assis au premier rang du théâtre de Priène, avec une source au bord du proskenion ; les réflexions sur la skene (62.6 dB) et sur l'orchestra (64.8 dB) donnent un niveau réfléchi (66.8 dB) supérieur au niveau du son direct (65 dB).

#### 5. Evolutions du théâtre type

Nous essayerons maintenant d'expliquer comment le théâtre type que nous venons de décrire a pu évoluer, malgré toutes les incertitudes dues à la disparition sur les sites des revêtements et des structures en bois, et à l'impossibilité, souvent, de distinguer clairement les différentes phases de transformation. Nous utiliserons ici comme exemples trois théâtres hellénistiques (Athènes [3], Epidaure [5] et Priène [9]) et trois romains (Orange [3], Aspendos [4] et Ephèse [4]), qui sont parmi les plus représentatifs et les mieux connus (voir tableau récapitulatif en annexe).

A l'époque hellénistique, le problème principal est celui de la jauge : certains théâtres deviennent très grands, par adjonction de nouvelles rangées de gradins, et il devient difficile d'en préserver les qualités visuelles et acoustiques. D'autant plus qu'on est limité par la construction à flanc de colline. Ainsi, dans les théâtres d'Athènes et de Priène, l'inclinaison des gradins est constante, et l'angle d'incidence du son direct peut devenir critique pour les derniers gradins ( $7^\circ$  seulement à Athènes, pour une inclinaison constante des gradins de  $21^\circ$ ). L'utilisation des masques des acteurs comme porte-voix a souvent été évoquée, mais jamais démontrée [5]. Il semble que la solution généralement adoptée a été plutôt de hausser fortement le proskenion : à Priène (2.7 m. seulement, mais avec des gradins fortement inclinés, à  $29^\circ$ ) et à Epidaure (3.8 m.), l'angle d'incidence se maintient toujours au-dessus de  $10^\circ$ . Bien sûr, cette élévation de la scène est limitée par la nécessité de maintenir sa visibilité depuis les premiers rangs du koilon, qui sont réservés aux notables.

Mais il y a une autre conséquence défavorable, et seulement pour l'acoustique : plus le proskenion est élevé, et plus l'angle d'incidence au

public de la réflexion sur l'orchestra est faible. Pour la première fois, nous nous trouvons en présence d'une contradiction entre les intérêts de l'œil et ceux de l'ouïe. A Priène et à Athènes, le son réfléchi sur l'orchestra arrive aux derniers rangs avec une incidence inférieure à  $3^\circ$ , et est donc fortement absorbés par le public situé aux rangs inférieurs. En revanche, à Epidaure, malgré l'élévation plus importante du proskenion, mais grâce au léger renforcement de l'inclinaison des gradins au-delà de la diazoma, les deux angles d'incidence sont meilleurs (plus de  $12^\circ$  pour le direct, et, surtout, plus de  $4^\circ$  pour le réfléchi, à hauteur des derniers gradins) : cela suffit peut-être pour expliquer la réputation d'excellence dont jouit l'acoustique de ce théâtre.

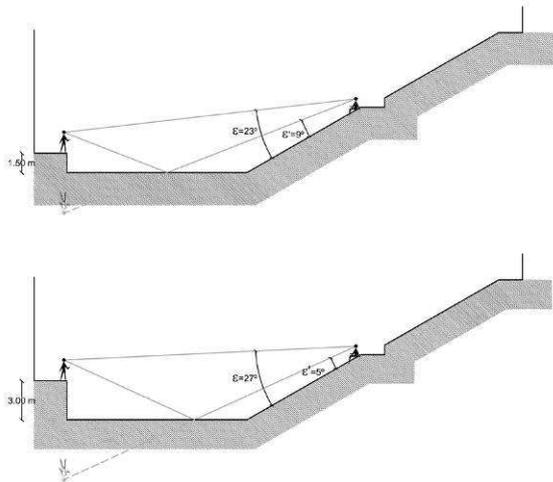


Fig. 4 : Si l'on hausse le proskenion, l'angle  $\epsilon$  d'incidence du son direct au spectateur croît, mais l'angle  $\epsilon'$  d'incidence du son réfléchi décroît.

A Epidaure, quand on a voulu rebâtir un mur de scène pour des représentations modernes (l'original ayant totalement disparu), on s'est rendu compte que ce mur était préjudiciable pour l'acoustique [12]. Sans doute la raison en est-elle qu'on a voulu jouer trop en avant sur l'orchestra, et donc trop loin de ce mur, y causant un écho. A l'époque, cela ne serait pas arrivé, parce que les acteurs restaient sans doute sur le proskenion, et que le coryphée se trouvait dans une situation bien particulière : la scène derrière lui était tellement élevée, que sa voix ne se réfléchissait plus sur son mur arrière, mais sur un nouveau mur, le pied du proskenion, juste derrière lui, haut de 3.8 mètres. Ce qui était en train de se produire, c'était une véritable scission entre les deux espaces scéniques : le proskenion, très haut, qui avait presque perdu la réflexion sur l'orchestra (mais peut-être gagné un toit géométriquement bien orienté, et tout aussi efficace, puisque peu élevé et produisant une réflexion non soumise à l'incidence rasante) et l'orchestra, acoustiquement moins favorable, mais protégée par son enfoncement de l'écho défavorable qui eût pu revenir du mur de scène (comme c'est

sans doute arrivé dans des représentations modernes moins bien contrôlées).

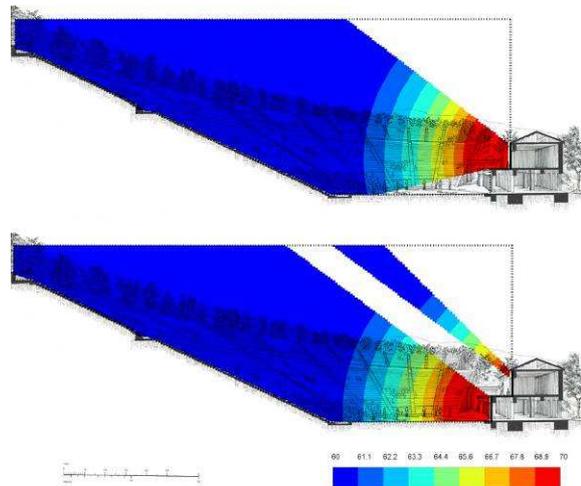


Fig. 5 : Source sur le proskenion d'Épidaure (en haut), puis sur l'orchestra (en bas), où l'on voit que la réflexion sur la skene n'atteint plus le public ; carte du programme en transparence sur une coupe du théâtre d'Épidaure (schéma d'après [5]).

Voilà donc ce qui a pu se passer à l'époque hellénistique. En tout cas, le problème a dû se poser avec une certaine acuité, puisque les romains, loin de leur réputation de simples imitateurs en ce domaine (on a pu prétendre, contre toute logique, que l'orchestra avait perdu chez eux son rôle acoustique), y ont apporté une solution originale, certainement réfléchie, et d'ailleurs très efficace.

Ils bénéficiaient sur leurs devanciers de l'avantage certain de ne plus dépendre de l'inclinaison d'une colline, puisqu'ils élevaient le koilon (en latin : la *cavea*) aussi bien sur un sol horizontal. En revanche, les lieux choisis pour construire les théâtres étaient moins privilégiés, malgré l'insistance révélatrice de Vitruve à ce sujet [1], et sans doute plus bruyants. Cela suffit à expliquer pourquoi ceux-ci étaient entièrement fermés sur eux-mêmes, ce qui leur conférait une certaine isolation. La cavea romaine est en général beaucoup plus pentue que le koilon grec, ce qui est évidemment bénéfique. De plus, l'inclinaison y est toujours relevée une fois, comme à Orange ( $27^\circ$  avant la diazoma et  $31^\circ$  après) ou à Aspendos ( $33^\circ$  et  $36^\circ$ ) et parfois deux (comme à Éphèse :  $25^\circ$ ,  $28^\circ$  et  $30^\circ$ ). En revanche, le proskenion est rabaisé (sa hauteur n'est plus que de 2 mètres à Orange, 2.5 mètres à Aspendos et 2.1 mètres à Ephèse). Il est aussi beaucoup plus profond, mais, par là même, il suffit aux jeux des acteurs, qui n'ont pas à descendre sur l'orchestra, d'où le mur de scène produirait sans doute un écho trop retardé.

En conséquence de ces changements, les angles d'incidence sont bien meilleurs, pour le son direct évidemment, mais surtout pour le son réfléchi sur l'orchestra (ils dépassent alors  $6^\circ$  et  $8^\circ$ , respectivement, pour les derniers rangs d'Orange et

d'Aspendos). Même à Ephèse, où les inclinaisons des gradins sont plus modérées, l'angle d'incidence de la réflexion sur l'orchestra reste largement supérieur à 4° (donc à ce qu'on trouve à Epidaure), grâce aux deux diazomas, qui le remontent brusquement chaque fois qu'il devient trop faible.

S'il restait un doute sur la réalisation consciente de ces améliorations, c'est à un auteur latin que l'on doit la seule affirmation claire que nous connaissons sur le rôle acoustique de l'orchestra : Pline signale en effet que « des trous ou du sable étendu sur l'orchestre dévient la voix » (Pline, Liv. 11, chap. 32, cité par F. Canac [3]). Or, Vitruve, auteur de la seule description étendue des théâtres grecs et romains qui nous soit parvenue, ne parle pas du tout de cela, et défend par ailleurs les gradins sans changement d'inclinaison [1]. Mais les sources principales de Vitruve sont grecques, et peut-être n'est-il pas trop hasardeux de supposer qu'entre sa génération et celle de Pline, c'est-à-dire au tout début de notre ère et de l'empire romain, une attention plus grande a été apportée à l'étude des réflexions sonores, en accompagnement des nouvelles réalisations architecturales en pierre...

En revanche, ce dont les romains se sont clairement passé, c'est du renfort acoustique qu'aurait pu permettre le toit de la scène : celui-ci était trop haut placé et, même s'il avait été correctement orienté (ce que les reconstitutions virtuelles du théâtre d'Aspendos [4, 7], par exemple, semblent contredire), il aurait créé des retards beaucoup trop importants (jusqu'à 80 millisecondes, selon nos calculs), ce qui n'était pas le cas dans les théâtres hellénistiques, où le mur de scène était moins haut (selon nos estimations, un toit bien orienté à Priène causerait des retards limités à une vingtaine de millisecondes seulement).

Finalement, il y a les odéons. Selon les interprètes modernes, un *odeon* est un petit théâtre construit à côté du grand théâtre principal et réservé à des fonctions essentiellement musicales, mais c'est aussi un théâtre couvert. Il l'est sans doute parce que ses dimensions réduites le permettent, avec les techniques constructives du temps. Ainsi, la reconstitution de l'odéon de Pompéi [8] nous montre un théâtre complet, mais en miniature, enfermé dans une boîte qui coupe latéralement les gradins pour rejoindre le mur de scène, et dont tous les murs et le toit plat sont ornés, munis de fenêtres et de caissons, de sorte que les propriétés acoustiques de ces surfaces devaient être essentiellement diffusantes.

Conceptuellement, l'odéon n'offre rien de révolutionnaire : ce n'est pas un changement radical, mais la transcription exacte de l'idée générale des théâtres à une autre échelle. Pour ses spectacles, il semble que le monde gréco-romain n'a connu qu'un seul modèle visuel et acoustique, mais il l'a patiemment optimisé et adapté aux nouvelles circonstances, à tous les changements survenus dans la scénographie depuis le culte dionysiaque originel

que les Athéniens rendaient sur les flancs de l'Acropole jusqu'aux grandes représentations de pantomime et aux « concerts privés » qui caractérisent l'antiquité tardive...

## 6. Le modèle circulaire de l'acoustique

Au Moyen Age, tandis que les théâtres antiques sont complètement ignorés, c'est dans des édifices très différents, les églises et les cathédrales, que se développe essentiellement un genre de spectacle tout à fait nouveau, celui de la musique polyphonique. Ce sont des espaces très réverbérants et, d'un point de vue acoustique, ils n'affirment absolument pas la séparation entre « scène » et « public », c'est pourquoi ils permettent des effets de spatialisation et de résonance inimaginables dans le spectacle antique. C'est donc bien un modèle acoustique radicalement différent qui s'ébauche ainsi dès l'antiquité tardive, puis à Byzance, dans les monastères occidentaux et dans les cathédrales de Reims ou de Paris. Nous l'appellerons « modèle réverbérant » pour bien le distinguer du « modèle circulaire » antérieur, alors laissé à l'abandon.

A la Renaissance, quand celui-ci redeviendra à la mode, il aura subi l'influence de cette réverbération à laquelle la musique s'est adaptée. Mais il ne faut pas exagérer : il y a une coupure radicale entre la musique modale du Moyen Age et le nouveau système tonal dans lequel on compose pour l'opéra, et cette coupure doit énormément au changement d'acoustique : les nouvelles salles devront bien plus aux théâtres antiques qu'aux églises et, s'il y a une innovation, c'est surtout à cause d'une nouveauté absolue – le décor en perspective centrale – et aux accommodements que celle-ci impose à un type de construction qui y était en fait bien préparé, puisque le théâtre antique réalisait déjà l'exigence d'une séparation drastique entre la salle et la scène (bien plus que le théâtre élisabéthain, par exemple). Il suffira de convertir le demi-cercle du koilon en une sorte de fer à cheval (ou, plus tard, d'éventail) et de renoncer à la réflexion sur l'orchestra.

Sur ce point, il est particulièrement instructif d'examiner une œuvre de transition, le « Théâtre Olympique » que Palladio projette pour la ville de Vicence vers 1580. Il s'agit en fait d'une sorte d'odéon : les gradins y sont encore en demi-cercle sous un toit parfaitement plat. Le changement, c'est d'abord le décor, qui est un surprenant trompe-l'œil ; mais la petite orchestra est tellement enfoncée qu'elle ne permet plus au son de s'y réfléchir vers le public. Sans doute l'architecte, qui voulait vraiment réaliser une œuvre antiquisante, ignorait-il son ancienne utilité acoustique. En tout cas, peut-être malgré lui, il s'est inscrit dans une idée nouvelle : son orchestra s'est convertie, déjà, en une fosse d'orchestre, pour y placer des musiciens (et voilà qu'apparaît l'« orchestre », dans son sens moderne).

En revanche, on peut vérifier que la réflexion sur le toit, qui s'y substitue, est assez bien contrôlée, puisque son retard dépasse à peine les 50 millisecondes. Or, notre sens de l'ouïe est très peu sensible à l'angle vertical d'incidence du son, à cause de la symétrie de la tête humaine. On peut donc raisonnablement supposer que l'acoustique de ce théâtre est encore très semblable à celle d'un odéon, et qu'il s'agit d'une œuvre charnière entre deux formes du même modèle acoustique : d'une part, les théâtres antiques, et de l'autre, toutes les nouvelles expressions du modèle circulaire, qui jouiront jusqu'au milieu du vingtième siècle d'un quasi-monopole sur les lieux d'écoutes à grande jauge (théâtres, salles de concert, d'opéra ou de conférences).

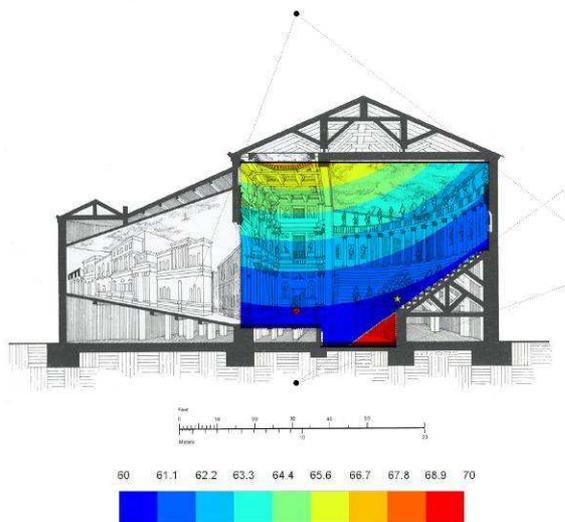


Fig. 6 : Réflexions sur le toit et sur la fosse d'orchestre dans le théâtre de Palladio. Pour cette position limite de la source, éloignée à 2 mètres du bord de la scène, la réflexion sur l'orchestre n'atteint même plus les premiers spectateurs, tandis que le retard de la réflexion sur le plafond est exactement de 50 millisecondes ; carte du programme en transparence sur une coupe du Théâtre Olympique (schéma d'après [6]).

Au dix-neuvième siècle cependant, le troisième modèle acoustique du spectacle européen entre en scène. Il s'agit de salles parallélépipédiques construites sur des bases purement fonctionnelles et qui, depuis quelques siècles, servent aussi parfois pour des concerts. Leur acoustique est souvent supérieure, de façon surprenante, à tout ce qui se fait sur le modèle grec. Il faudra toutefois attendre la seconde moitié du vingtième siècle, après les travaux pionniers de Lothar Cremer (autour du projet de la Philharmonie de Berlin) pour mettre en avant la caractéristique essentielle de ce « modèle rectangulaire » : la présence de nombreuses réflexions latérales, qui manquent forcément dans le modèle circulaire. L'ultime aventure du théâtre grec sera, par la suite, grâce à des systèmes de terrasses,

de tenter d'y engendrer ces réflexions qui augmentent la « sensation d'enveloppement » [7].

## 7. Conclusions

Dans cette étude, nous avons essayé de réfléchir en architecte, c'est-à-dire que nous nous sommes demandés à tout moment pourquoi prendre telle décision géométrique et non telle autre, car la conception nous intéresse plus que l'analyse. Dans cette optique, depuis 2002, nous avons développé un programme informatique, « Radit2d » [10], dont l'aspect interactif nous a beaucoup servi ici pour comparer en coupe les différents théâtres et les diverses options de configuration (scène, orchestra, gradins, toit éventuel,...).

Cela nous a permis de suggérer comment les théâtres avaient pu évoluer depuis la haute époque jusqu'aux temps hellénistiques et romains, d'une manière qui paraît finalement assez logique et raisonnée. Nous croyons que ce travail pourra ainsi aider les archéologues intéressés par l'acoustique à décrire leurs découvertes avec les quelques paramètres qui ont une importance décisive pour la qualité d'audition, et, en particulier, à présenter des coupes longitudinales soignées (il nous a été impossible, par exemple, de trouver une telle représentation de l'imposant théâtre de Pergame).

Ces mêmes paramètres (hauteur et largeur du proskenion, hauteur et inclinaison du toit éventuel, rayon de l'orchestra et, surtout, inclinaison des gradins) sont ceux qu'il convient d'optimiser, encore aujourd'hui, dans la conception de lieux de spectacles à ciel ouvert. L'architecte intéressé trouvera ici quelques conseils élémentaires, mais essentiels.

Cependant, la grande simplicité de ces très anciens théâtres ne doit pas nous tromper : c'est en eux que s'est réalisé pour la première fois, et avec beaucoup de conscience et d'imagination, l'un des trois modèles acoustiques du spectacle occidental, celui qui, aujourd'hui encore, attire le plus les architectes et pèse le plus sur la création contemporaine de grande salles pour la parole ou la musique.

## 8. Références

- [1] Vitruve, "Les dix livres d'architecture", version française de Claude Perrault (1684), éditions Pierre Mardaga, Liège, 1988.
- [2] Bieber M., "The History of the Greek and Roman Theater", PUP, Princeton New Jersey, 1961.
- [3] Canac F., "L'acoustique des théâtres antiques", Editions du CNRS, Paris, 1967.
- [4] De Bernardi Ferrero D., "Teatri classici in Asia Minore vol. 3", L'erma di Bretschneider, Roma, 1970.
- [5] Izenour G., "Theater Design", Yale University Press, New York, 1977.

[6] Ruzza L., Tancredi M., "Storie degli spazi teatrali", Edizioni Euroma, Roma, 1987.  
 [7] Barron M., "Auditorium acoustics and architectural design", E&FN SPON, Londres, 1993.  
 [8] P. Ciancio Rossetto, G. Pisani Sartorio, "Teatri greci e romani. Alle origini del linguaggio rappresentato", ed. Seat, Rome-Turin, 1994-6.  
 [9] Y.G. Houtopoulos, "Priene", Foundation of the Hellenic World, Athènes, 2000.  
 [10] B. Beckers & L. Masset, programme informatique "Radit2d", disponible sur le site www.upc.edu/aie avec un manuel complet en espagnol, version 1 (2002-2005).  
 [11] Chourmouzladou, P. & Kang, J., "Acoustic Simulation of Ancient Greek and Chinese Performance Spaces", Proceedings of the IOA, Vol. 24, Pt. 4, 2002.  
 [12] Vassilantonopoulos, S.L. & Mourjopoulos, J.N., "A Study of Ancient Greek and Roman

Theater Acoustics", Acta Acustica Vol. 89 (2003) p. 123-135.  
 [13] Veyne P., "L'empire gréco-romain", Éditions du Seuil, collection "Des travaux", Paris, 2005.  
 [14] A.C. Gade, M. Lisa, C. Lynge Christensen, J.H. Rindel, "Roman Theatre Acoustics; comparison of acoustic measurement results from the Aspendos Theatre, Turkey", Proceedings from 17<sup>th</sup> ICA, Kyoto (2004).  
 [15] M. Lisa, J.H. Rindel, C.L. Christensen, "Predicting the acoustics of ancient open-air theatres: the importance of calculation methods and geometrical details". Proc. Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004, Mariehamn, Finland.  
 [16] M. Lisa, J.H. Rindel, A.C. Gade, "How did the ancient Roman Theatres sound?", Forum Acusticum, Budapest, 2005.

**Annexe: données géométriques des six théâtres étudiés**

ATHENES (Inclinaison des gradins : 21°; hauteur du proskenion : 2,50 m.)							
		première file	avant 1 <sup>er</sup> diazoma	après 1 <sup>er</sup> diazoma	avant 2 <sup>nd</sup> diazoma	après 2 <sup>nd</sup> diazoma	dernière file
angle $\epsilon$	h =4,10 m	26,2°	14°	12,6°	8,8°	8°	7,1°
angle $\epsilon'$	h =4,10 m	9,8°	5,3°	4,8°	3,4°	3,1°	2,7°
EPIDAURE (Inclinaison des gradins : 26°; 27°; hauteur du proskenion : 3,80 m.)							
		première file	avant la diazoma	après la diazoma	dernière file		
angle $\epsilon$	h =5,40 m	32,5°	16,5°	16,6°	12,6°		
angle $\epsilon'$	h =5,40 m	8,9°	4,6°	5,5°	4,3°		
PRIENE (Inclinaison des gradins : 29°; hauteur du proskenion : 2,70 m.)							
		première file	avant la diazoma	après la diazoma	dernière file		
angle $\epsilon$	h =4,30 m	39,8°	19,5°	17,9°	11,4°		
angle $\epsilon'$	h =4,30 m	9,2°	4,6°	4,2°	2,8°		
ORANGE (Inclinaison des gradins : 27,3°; 31°; hauteur du proskenion : 2,00 m.)							
		première file	avant la diazoma	après la diazoma	dernière file		
angle $\epsilon$	h =3,60 m	33°	13°	14°	12,8°		
angle $\epsilon'$	h =3,60 m	13,8°	5,6°	6,9°	6,3°		
ASPENDOS (Inclinaison des gradins : 33°; 36°; hauteur du proskenion : 2,50 m.)							
		première file	avant la diazoma	après la diazoma	dernière file		
angle $\epsilon$	h =4,10 m	36,9°	22,7°	22,1°	16,3°		
angle $\epsilon'$	h =4,10 m	16°	10°	11°	8,3°		
EPHESE (Inclinaison des gradins : 25° ; 28°; 30°; hauteur du proskenion : 2,10 m.)							
		première file	avant 1 <sup>er</sup> diazoma	après 1 <sup>er</sup> diazoma	avant 2 <sup>nd</sup> diazoma	après 2 <sup>nd</sup> diazoma	dernière file
angle $\epsilon$	h =3,70 m	25,7°	15,8°	17,3°	12°	12,9°	10°
angle $\epsilon'$	h =3,70 m	6°	3,7°	6,7°	4,7°	6,2°	4,8°

Tableau 1 : Angle d'incidence au spectateur du son direct ( $\epsilon$ ) et du son réfléchi sur l'orchestra ( $\epsilon'$ ), pour une source située au bord du proskenion, à 1,6 mètre de haut, et des récepteurs distribués au long de la coupe longitudinale de chacun des théâtres, à 1 mètre au-dessus des gradins. Le théâtre d'Athènes présente une diazoma, mais sans changement d'inclinaison des gradins, au contraire des théâtres d'Épidaure, d'Orange et d'Aspendos. Le théâtre de Priène n'a pas de diazoma, celui d'Éphèse en a deux. La valeur « h » indique la hauteur de la source au-dessus de l'orchestra (hauteur de la scène + 1,6 mètre).