

# Modélisation numérique du théâtre antique d'Orange

Robin GUEGUEN

9 mai 2017



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>vii</b>
<b>1 L’outil de modélisation logiciel</b>	<b>1</b>
1.1 Généralités sur les méthodes de virtualisation . . . . .	1
1.2 Blender . . . . .	1
1.3 Les modificateurs (modifiers) utilisés . . . . .	2
1.3.1 Array . . . . .	2
1.3.2 Boolean . . . . .	2
1.3.3 Mirror . . . . .	2
1.3.4 Screw . . . . .	2
1.3.5 Solidify . . . . .	2
1.3.6 Triangulate . . . . .	2
1.3.7 Cloth . . . . .	2
1.3.8 Particle System . . . . .	2
<b>2 Modélisation du théâtre</b>	<b>3</b>
2.1 Le mur de scène et ses basiliques . . . . .	3
2.2 Le pulpitum et l’orchestra . . . . .	3
2.3 La colline Saint-Europe . . . . .	4
2.4 La cavea . . . . .	4
2.5 Maenianum . . . . .	4
2.6 Aditus . . . . .	5
2.7 Porticus in summa cavea . . . . .	5
2.8 Couverture des escaliers, des parascaenium et des basiliques . . . . .	5
2.9 Les escaliers intérieurs et passages des parascaenium au mur de scène . . . . .	5
2.10 L’hyposcaenium et le caniveau . . . . .	5
<b>3 Modélisation d’objets aléatoires ou mobiles</b>	<b>7</b>
3.1 Le velum . . . . .	7
3.2 Les arbres . . . . .	7
3.3 Les spectateurs . . . . .	7
3.4 Le rideau de scène . . . . .	7



# Table des figures

2.1	Le repose pied et le premier gradin du premier cuneus : vu de l'extrémité nord avec au premier plan, le mur bordant l'aditus est . . . . .	4
2.2	Modélisation des maenianum et de l'emprunte des escaliers à retirer apres application des modifiers Array et Screw . . . . .	5



# Liste des tableaux





# Introduction

Le théâtre antique d'Orange situé dans le Vaucluse est connu pour être un des mieux conservé du monde grâce à la préservation exceptionnelle de son mur de scène long de plus de 100m. Sa construction débuta en 40 av J-C sous le règne d'Auguste et fut menée par les vétérans de la II<sup>e</sup> légion gallique de César. Il dura près d'un siècle.

En 2014, dans le cadre du projet Numéro, les équipes d'archéologues de la Sorbonne s'associent l'UPMC et l'Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD) pour virtualiser les fragments de frises retrouvés dans les décombres du théâtre. Le but de cette collaboration était la création d'un outil informatique permettant de manipuler des blocs de frises pour retrouver leur positionnement à la manière d'un puzzle. Suite à cette étude, il a été décidé d'aller plus loin dans la reconstitution en modélisant le théâtre dans son ensemble. L'objectif étant de pouvoir utiliser ce modèle numérique pour effectuer des calculs et des simulations notamment sur le plan acoustique. Une thèse de trois ans a donc débutée en 2015 dans cette optique.



# Chapitre 1

## L'outil de modélisation logiciel

### 1.1 Généralités sur les méthodes de virtualisation

Pour pouvoir étudier un monument dans ces moindres détails de nombreux chercheurs s'orientent aujourd'hui vers la modélisation 3D. Effectivement, jusqu'à présent les scientifiques menaient leurs études à l'aide de plans ou de dessins en 2D ou bien de maquette à échelle réduite. Mais les outils numériques disponibles aujourd'hui comportent de nombreux avantages par rapport à ces anciennes techniques. Tout d'abord, il est possible d'obtenir les mêmes informations qu'avec les "anciennes techniques" en terme de côtes, formes, aspect. Mais en plus, à partir d'un modèle numérique unique, on peut sélectionner les informations que l'on souhaite étudier tout simplement en changeant les objets à afficher, les vues ou les modes d'affichage. On peut par exemple afficher un monument par vu du dessus avec ses cotes et étudier le plan 2D correspondant. Mais on peut également réaliser une impression 3D pour en avoir une maquette à l'échelle réduite. Un seul outil permet donc d'obtenir l'ensemble des informations que l'on souhaitait acquérir par le passé. Un modèle numérique 3D peut par ailleurs être utilisé par des logiciels de calcul ou de simulation afin de tester des hypothèses physiques (écoulement de fluide, acoustique, ...) ou architecturale (portance, agencement de décor, ...). Il permet également de réaliser des animations (déplacement de personnages, ouverture de haut-vents, ...) ou des visites immersives grâce aux technologies de réalité virtuelle.

Il existe bien entendu de nombreuses limites à la numérisation 3D car cette technique est relativement récente et beaucoup de développement sont en cours. La principale contrainte est la puissance de calcul des ordinateurs et leur espace de stockage qui doivent prendre en charge de très grandes quantités de données.

Pour virtualiser des monuments, il y a deux techniques principalement utilisées. La première consiste à réaliser un nuage de point à l'aide d'appareils de mesure (laser, appareils photo, ...) à la manière d'un scanner. Prenons l'exemple de la photogrammétrie qui est aujourd'hui largement répandue dans la restitution numérique de monument. Il s'agit de photographier l'ensemble du bâtiment sous tous ses angles en s'assurant que chaque photo a une partie commune avec une autre. Les logiciels de traitement peuvent alors corréler les photos les unes avec les autres et recréer l'image en trois dimensions. Cependant, la limite de cette technique est que plus la précision est grande, plus le volume de donnée à traiter est conséquent et rend les calculs difficiles. C'est pourquoi nous avons utilisé la deuxième méthode dite de CAO (conception assistée par Ordinateur). Il s'agit de retranscrire par des formes géométriques 3D plus ou moins complexes les monuments.

### 1.2 Blender

Avant de commencer ce travail de modélisation il fut nécessaire de choisir l'outil approprié. De nombreux logiciels de CAO existe sur le marché tels que AutoCAD, CATIA, SketchUp, ... c'est finalement sur blender que le choix a été porté pour les raisons suivantes :

Blender est :

- gratuit
- multiplateforme
- modulaire (de nombreuses fonctionnalités peuvent y être ajoutées selon les besoins)
- permet un rendu réaliste notamment grâce au texturage
- permet de réaliser des animations et des vidéos
- peut exporter les maillages sous différents formats couramment utilisés
- suivi et commenté par une large communauté

— permet le développement de script en python

Toutes ces spécificités vont être utilisées dans le projet et c'est pourquoi c'est ce logiciel qui a été choisi. Il comporte néanmoins quelques limites notamment la difficulté de prise en main, l'utilisation restreinte dans le milieu architectural et la faible qualité de rendu de son game engine (en comparaison aux moteurs Unity et Unreal par exemple). En ce qui concerne ce dernier point, cela n'est pas gênant car blender peut exporter des modèles texturés dans Unity ou Unreal pour des visites virtuelles de très haute qualité.

## 1.3 Les modificateurs (modifiers) utilisés

La modélisation du théâtre d'Orange implique l'utilisation d'outils appartenant à Blender. Il s'agit de fonctionnalités mathématiques pré-établies qui permettent de modifier le maillage. Voici la description de ceux utilisés lors du projet :

### 1.3.1 Array

Le modifier Array permet de répéter  $n$  fois un objet en disposant les copies dans le repère absolu, le repère relatif à l'objet source ou bien par rapport à un objet tiers. Il est par exemple utilisé pour créer des escaliers où la première marche est copiée ou bien des colonnes. Pour répéter l'objet selon une courbe, on peut lier le modifier à un objet vide (empty) qui aura subi une rotation.

### 1.3.2 Boolean

Le modifier Boolean permet des opérations d'addition, de soustraction ou d'intersection entre objets. Il est utilisé par exemple pour faire des trous pour les portes par exemple.

### 1.3.3 Mirror

Le modifier Mirror permet de reproduire en miroir un objet selon un axe par rapport au centre de l'objet. Le centre de symétrie peut également être un objet tiers.

### 1.3.4 Screw

Le modifier Screw permet d'étirer un maillage sans face afin de construire un objet circulaire autour d'un point de révolution. Cela sert par exemple à créer des gradins à partir du plan de coupe.

### 1.3.5 Solidify

Le modifier Solidify permet d'ajouter une épaisseur à une face. Cela sert par exemple à créer une marche à partir d'un plan de coupe.

### 1.3.6 Triangulate

Le modifier Triangulate permet de transformer toutes les faces en faces triangles (c'est à dire composées de trois points). Cela permet de faire des calculs sur des faces à trois points ce qui les simplifie considérablement.

### 1.3.7 Cloth

Le modifier Cloth permet de donner à un objet les paramètres physiques d'un tissu. Une fois définis des points d'accroche il est alors soumis à la gravité afin de prendre une forme réaliste. Lors d'animation il peut également bouger sous l'effet du vent par exemple. Cela peut par exemple servir à donner leur forme aux velum (toiles) suspendus au dessus des gradins.

### 1.3.8 Particle System

Le modifier Particle System permet de générer un grand nombre d'objets (copiés depuis un ou plusieurs objets sources) et de les répartir sur une surface. C'est grâce à cela que l'on peut créer des cheveux par exemple ou bien une assemblée de spectateur.

## Chapitre 2

# Modélisation du théâtre

Comme la plupart des théâtres construits à l'époque impériale, celui d'Orange est une construction unitaire composée d'une Cavea (gradins) demi-circulaire fermée au Nord par un mur de scène comportant de part et d'autres deux structures annexes appelées basiliques. L'étude se concentre sur le théâtre lui même et il ne sera pas représenté le porticus post scaenam ni le temple sur la partie occidentale. Nous représenterons néanmoins les substructures sur lesquels reposent l'édifices tels que l'Orchestra (l'orchestre) ou bien la colline Saint-Europe. Sur blender, les cotes sont référencés sous l'unité métrique et le centre de révolution de la Cavea est choisi au point (0,0) du plan XY. Sur l'axe Z, nous utilisons les relevés d'élévation (altitude par rapport au niveau de la mer correspondant à l'altitude 0 sur blender).

Toute la modélisation se fait par rapport au document [2] qui présente une large étude de l'architecture du théâtre d'Orange en se basant sur des archives de la Médiathèque de l'architecture et du patrimoine à Charenton-le-Pont, les archives départementales de Vaucluse (Avignon) ainsi sur de nombreux relevés fait sur site.

Le théâtre peut être découpé en différents sous-ensembles. Toutes les mesures présentes dans le document [1] sont répercutées sur le modèle numérique. Si certaines cotes ne sont pas cohérentes entre elles, par exemple si une corniche sensée être à niveau présente deux élévations différentes, on prend toujours la plus éloigné de centre de l'objet. Cette hypothèse est faite car la dimension d'un objet ne peut que réduire avec le temps (pour les objets dit d'origine). Aussi, il est précisé dans ce document lorsqu'une hypothèse a été faite pour compléter les informations manquantes à l'élaboration du modèle numérique.

Les prochaines sections décrivent la logique de modélisation de chaque sous-ensemble.

### 2.1 Le mur de scène et ses basiliques

Le mur de scène ainsi que ses deux basiliques constituent un bloc distinct. Le contour extérieur est créé grâce aux cotes de la planche XXI [1]. Ce bloc est disposé dans le repère absolu d'après les cotes indiquées sur le plan nord-sud par rapport au centre de révolution de la cavea. Sur le plan est-ouest, le mur de scène extérieur (la plus grande longueur) est centré en 0, les extrémités de chacune des basiliques sont donc à 51,96m du centre.

Sont ensuite créés des objets représentant les pièces. A l'aide d'un modifier Boolean ces objets sont soustraits à la forme de base. La même méthode est utilisée pour le haut du mur qui supporte le toit (fig 24 [2], pour les ouvertures sur le front de scène (planche XXIX [1]), et pour les portes (planche XXI [1]). Pour l'encastrement des poutres dans la partie sommitale du mur nous utilisons des poutres rectangulaire et identique car les traces décrites sur la planche XXXVII [1] sont difficiles à interprétation. Cet élément pourra être corrigé par les archéologues dans une prochaine étape.

### 2.2 Le pulpitum et l'orchestra

Le pulpitum, autrement dit l'estrade de scène a complètement disparu et a aujourd'hui été remplacé par un plancher moderne. Il reste néanmoins des traces sur le mur de scène qui permettent de le modéliser dans sa version antique. Les planches XLVII et XLIX [1] donnent les élévations du pulpitum ainsi que de l'orchestre sure les extrémités orientales et occidentales. L'orchestre est une forme volumique dont la face supérieure représente le sol. Il sera dans une prochaine étape creusé à l'aide de modifiers Boolean pour l'hyposcaenium et le caniveau décrit dans une autre partie.

## 2.3 La colline Saint-Europe

Comme souvent les architectes de l'époque ont adossé la cavea sur un relief naturel afin de solidifier la structure et de simplifier la construction de l'édifice. La colline Saint-Europe qui soutient donc le théâtre sur sa partie méridionale a été modélisée d'après les lignes d'altitude (référéncées page 11 [2]) à partir de la plus basse jusqu'à la plus haute par pas de 6m par extrusion successive. Les élévation ont ensuite été légèrement adaptée (ligne par ligne) pour s'encaster au mieux dans le théâtre. La colline est donc actuellement peu précise et il est nécessaire de l'affiner à l'aide d'un document détaillant mieux sa géométrie.

## 2.4 La cavea

La cavea est la partie semi-circulaire adossée à la colline qui soutien les maenianum (gradins). Elle comporte des ambulacres qui permettent aux spectateurs d'atteindre leur siège par le biais de vomitorium et s'ouvre sur les rues extérieures par trois étages d'arcades. La modélisation se fait à partir de la planche LX [1] en plaçant la bordure extérieure au même niveau que la bordure des basilique (c'est à dire à 51,96m du centre). Une fois le plan de coupe réalisé on utilise un modifier Screw pour faire une extrusion circulaire autour du centre. On comprend alors que les cotes de l'ensemble de la cavea sont celles de la coupe théorique. Sur cette planche certaines valeurs sont incohérentes et on utilise donc la règle décrite en introduction de cette partie pour choisir les bonne valeurs. Le troisième maenianum n'étant pas soutenu par la colline, il repose sur des caissons voûtés qui sont modélisés séparément.

Les arcades donnant sur l'extérieur sont répétées à l'aide d'un modifier Array puis soustraites à la cavea par un modifier Boolean. A noter que le modifier Screw doit être appliqué pour que le Boolean fonctionne.

## 2.5 Maenianum

Les Maenianum sont modélisés à partir d'un plan de coupe d'un bloc formant un gradin auquel est appliqué un modifier Array (dupliquant du nombre de gradins) et d'un modifier Screw pour faire une extrusion de révolution. Le plan de base est un quasi-triangle représentant le profil d'un bloc rectangulaire coupé en deux. Il n'est pas coupé le long de la diagonale car une partie plate d'une dizaine de centimètre permet de faire reposer les bloc les uns sur les autres. Cette forme est issue du document [2] où l'on retrouve "le seul gradin antique dont une face de joint est actuellement visible" figure 2.1. C'est cette forme qui est ajustée pour coïncider avec les cotes de la cavea. Une fois les modifieurs appliqués, on peut utiliser un nouveau modifier Boolean pour les marches d'escalier et les vomitorium. Les empreintes des escaliers qui seront retirés aux maenianum sont en fait la forme de base du maenianum retourné et placé de sorte que le coin supérieur (le bord du gradin) se retrouve au centre de la partie visible du gradin. Cela permet de retirer exactement la moitié de la hauteur et de la profondeur du gradin. La forme 2D de l'escalier est ensuite dupliqué avec le modifier Array et extrudé avec un modifier Solidify sur 1,2m. Cette valeur est prise arbitrairement par rapport aux plans non coté du document [1] et devra être affinée par les experts.



FIGURE 2.1 – Le repose pied et le premier gradin du premier cuneus : vu de l'extrémité nord avec au premier plan, le mur bordant l'aditus est

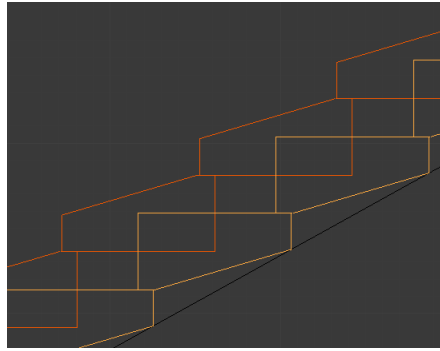


FIGURE 2.2 – Modélisation des maenianum et de l’emprunte des escaliers à retirer apres application des modifiers Array et Screw

## 2.6 Aditus

## 2.7 Porticus in summa cavea

## 2.8 Couverture des escaliers, des parascaenium et des basiliques

## 2.9 Les escaliers intérieurs et passages des parascaenium au mur de scène

## 2.10 L’hyposcaenium et le caniveau

Ceci n’a pas encore été modélisé.





## Chapitre 3

# Modélisation d'objets aléatoires ou mobiles

### 3.1 Le velum

### 3.2 Les arbres

### 3.3 Les spectateurs

### 3.4 Le rideau de scène

Ceci n'a pas encore été modélisé.



# Bibliographie

- [1] Badie Alain, Fincker Myriam, Moretti Jean-Charles, Rabatel Liliane, Rosso Emmanuelle, and Tardy Dominique.  
Le theatre d'orange - rapport final d'opération - planches. PACA Vaucluse, Orange Théâtre antique 84 087 0031  
- Patriarche 9827 n° 2012-203, 2013.
- [2] Badie Alain, Fincker Myriam, Moretti Jean-Charles, Rabatel Liliane, Rosso Emmanuelle, and Tardy Dominique.  
Le theatre d'orange - rapport final d'opération - texte. PACA Vaucluse, Orange Théâtre antique 84 087 0031 -  
Patriarche 9827 n° 2012-203, 2013.