

La Rotonde des Valois

Reconstitution archéologique en 3D



Mémoire de Master 2 d'Edwige Lelièvre
Section Arts et Technologies de l'Image, Université Paris 8
2007/2008

Remerciements

A M. Wyss de l'Unité Archéologique de Saint Denis pour le temps qu'il a bien voulu m'accorder, la visite de la Basilique, les nombreux documents et informations qu'il m'a fournis, et surtout pour m'avoir donné l'idée de reconstituer la Rotonde des Valois.

A Mme Frommel et son équipe, notamment Gian Carlo De Leo, pour son aide, son temps, ses hypothèses et son soutien dans ce travail.

A toute l'équipe du département Arts et Technologies de l'Image et plus spécialement Marie Hélène Tramus et Pascal Ruiz qui ont suivi mon projet tout au long de l'année. Je tiens également à remercier Annie Pollack pour sa gentillesse et sa patience !

Aux collègues de Wakeupp Productions, studio de communication où j'ai travaillé à mi-temps cette année, qui ont été très agréables et auprès de qui j'ai beaucoup appris.

Aux étudiants de Licence 3 à qui j'ai donné des cours de Maya. J'y ai consacré beaucoup de temps, mais ça aura été avec plaisir !

A tous les M2 et aussi aux anciens de notre promo pour leur créativité, leurs conseils et leur soutien.

Pour finir, merci également à tous ceux qui ont bien voulu regarder mon projet et à mon mémoire pour m'aider à les améliorer : Florencia Aguilera, Renée et Yves Lelièvre, François Le Parc, Natacha Doki-Thonon, Marc Ménégalli, Antoine Zanuttini et Annie Bernard.

Sommaire

Remerciements.....	2
1. Introduction.....	5
2. Histoire de la Rotonde.....	7
3. Etat de l'art.....	11
3. 1. Reconstitutions archéologiques.....	11
3. 2. Reconstitutions historiques en 3D.....	12
3. 3. Multiplicité des supports.....	14
4. Reconstitution de la Rotonde en 3D.....	15
4. 1. Références.....	15
4. 1. Modélisations	18
Début de la modélisation.....	18
Ordres.....	19
Optimisation	20
4. 2. Problèmes soulevés par la modélisation et hypothèses.....	22
Ouvertures.....	22
Frises Intérieures/Extérieures.....	26
Escalier.....	26
4. 3. Textures.....	27
5. Supports de diffusion.....	30
5. 1. Animation.....	30
Musique.....	30
Contenu.....	30
Rendu.....	31
Post Production.....	33

5. 2. Visites virtuelles.....	33
Préparation de la modélisation et des textures.....	33
Menu Principal.....	37
Visite Guidée.....	38
Visite Libre.....	39
Interactivité.....	42
5. 3. Affiche.....	43
6. Conclusion.....	45
7. Bibliographie.....	46
7. 1. Rotonde des Valois.....	46
7. 2. Reconstitution archéologique et infographie 3D.....	46
7. 3. Jeux	47
7. 4. Filmographie.....	47
8. Annexes.....	48
8. 1. Lexique : Infographie 3D.....	48
8. 2. Lexique : Architecture.....	51
8. 3. Rendu Batch.....	53
8. 4. Cleanup.....	55
8. 5. Rendu de contour dans Mental Ray.....	57

1. Introduction

La 3D a de nombreux domaines d'applications. Elle est tout particulièrement utile pour représenter des univers imaginaires, des objets qui n'existent pas encore et pour recréer des objets qui n'existent plus ou sont inaccessibles. L'archéologie lui fait ainsi de plus en plus appel. J'ai souhaité essayer de recréer à mon tour un univers qui n'existe plus, et de le présenter sous différentes formes.



Photo de Saint Denis prise depuis la tour de la Basilique

Saint-Denis est une ville étonnante, d'une grande variété. J'ai passé mes cinq premières années d'études supérieures à l'université de Saint-Denis. Pour mon Master, j'ai décidé de travailler sur ma ville universitaire. Des rues du centre ville au début du siècle, aux vitraux de la Basilique, j'ai finalement suivi l'idée proposée par M. Wyss de l'unité Archéologique de Saint Denis : reconstituer la Rotonde des Valois.

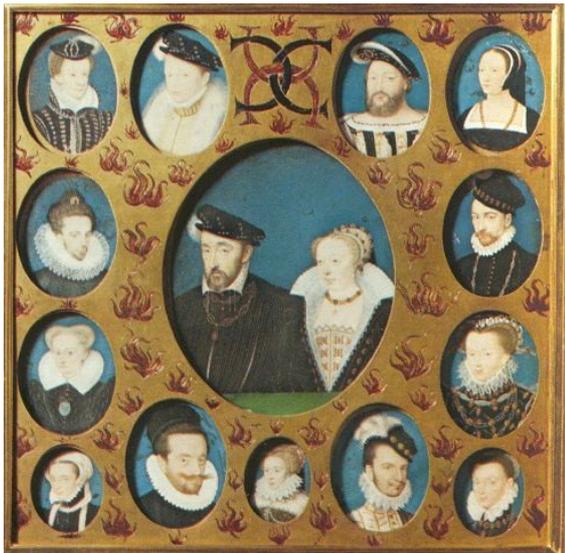
De ce bâtiment disparu aujourd'hui, qui autrefois jouxtait la Basilique, il ne reste que des gravures, des textes et les fondations, enfouies. La Rotonde des Valois a été conçue par Le Primatice sur commande de Catherine de Médicis pour accueillir les dépouilles des Valois. Ce bâtiment de la Rotonde dont la construction ne fut jamais terminée devait être un chef d'oeuvre. J'ai choisi de le reconstituer tel que l'avait souhaité cet architecte aussi précisément que possible. Je me suis appuyée pour cela sur les documents fournis par M. Wyss et les travaux de Mme Frommel, spécialiste du Primatice.

En plus de la reconstitution en 3D de la Rotonde, ce mémoire traite de la diffusion. Compte tenu de l'exercice obligatoire, j'ai essayé de proposer différents supports : un film en 3D classique, une visite virtuelle interactive et une affiche, pour montrer les différentes applications de ce travail.



2. Histoire de la Rotonde

La Rotonde des Valois, qui autrefois joutait la Basilique de Saint Denis, n'est plus signalée aujourd'hui que par des buissons taillés sur le plan de ses fondations. Cet édifice devait accueillir les dépouilles des Valois, dynastie régnante à l'époque de sa construction, qui débuta en 1568. Catherine de Médicis, veuve d'Henri II, demanda au Primatice de réaliser un mausolée pour sa famille. Si la Rotonde ne fut jamais terminée, elle eut par contre un écho important auprès de ses contemporains et reste aujourd'hui un des édifices les plus étonnants de la fin de la Renaissance italienne.



La famille de Catherine de Médicis

Après la mort de son époux Henri II en 1559, Catherine de Médicis obtient un rôle beaucoup plus important dans la gouvernance du Royaume de France. Mais commence alors une période d'instabilité. C'est le début des guerres de religions. François II, époux de Marie Stuart, succède à l'âge de 16 ans au trône de son père. Mais il décède un an et cinq mois plus tard en 1560. Catherine de Médicis devient alors Régente du Royaume de France. Malgré les nombreux conflits religieux et les problèmes financiers de la couronne, elle entreprend de nombreux et ambitieux projets artistiques.

Catherine de Médicis est un mécène prodigue : poètes, peintres, musiciens, architectes, sculpteurs, tous sont les bienvenus à sa cour. Elle use de l'argent de sa famille, les Médicis, et du Royaume, pour subvenir à ces projets. Elle souhaite à travers cela diffuser la culture de la Renaissance en France, témoigner de la grandeur des Valois, améliorer le moral du peuple et également donner du travail à de nombreuses personnes. En effet, la crise économique ne touche pas uniquement les caisses du Royaume, et des constructions importantes permettent de donner du travail au peuple.

Ayant passé sa jeunesse en Italie, Catherine de Médicis sollicite régulièrement Le Primatice, italien expatrié en France, comme elle, pour un grand nombre de ses projets. Se drapant du costume de la veuve éplorée, toujours habillée de noir, Catherine de Médicis prend exemple sur Artémise, reine d'Halicarnasse, qui à la mort de son époux Mausole, fait construire le Mausolée d'Halicarnasse, une des sept merveilles du monde. Ainsi la Reine conçut-elle le projet de construire un mausolée grandiose pour accueillir la dépouille de son défunt mari et de sa famille.

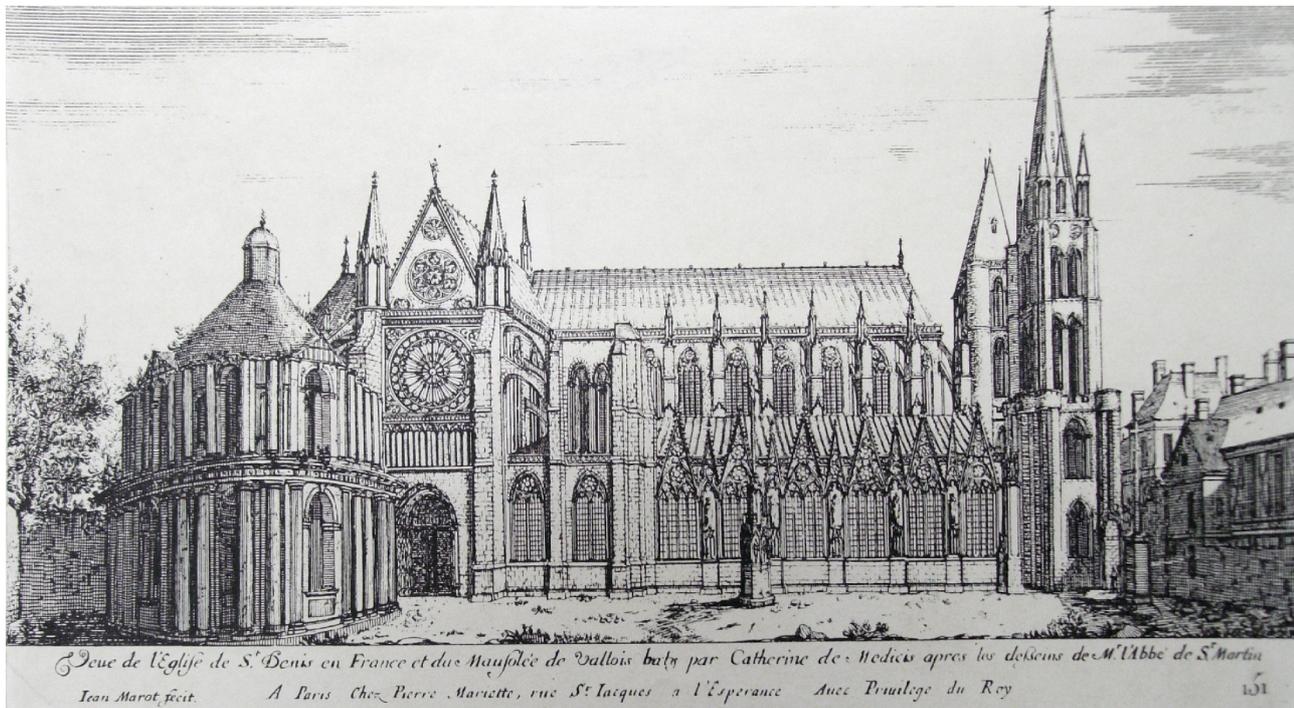


Le Primatice, Francesco Primaticcio de son vrai nom, est à la fois peintre, architecte et sculpteur. Originaire de Bologne, il se met au service de François Ier en 1532 et devient l'un des maîtres de l'école de Fontainebleau. Il est nommé *Surintendant des bâtiments de la couronne* et se voit confier la construction du tombeau puis de la Rotonde des Valois.



Le tombeau, encore visible aujourd'hui à la Basilique de Saint Denis, est réalisé à partir de 1559 notamment par les sculpteurs Germain Pilon et Ponce Jacquot.

La construction de la Rotonde débute en 1568. De nombreuses dépenses sont engagées par la Couronne, et des marbres blancs, noirs, gris et rouges sont amenés à Saint Denis. Le Primatice meurt peu de temps après, en 1570. Pendant les deux années suivant le décès de l'architecte, les travaux sont poursuivis par un de ses admirateurs, Alberto Gondi, qui suit scrupuleusement ses dessins et ses modèles.



Différents architectes se relaient alors pour continuer le chantier, avec des interruptions plus ou moins longues, des changements de plans par rapport à la création initiale du Primatice, et même des vols de marbres destinés à la Rotonde. Catherine de Médicis meurt à son tour en 1589. La Rotonde n'a pas encore de toit à cette date. Les Bourbons, qui succédèrent alors aux Valois, n'entreprirent que la construction d'un toit provisoire pour protéger le mausolée des intempéries.

Toutefois cet ouvrage ne suffit pas et le mausolée tomba en ruines. Le tombeau fut alors transporté dans la Basilique puis la Rotonde fut démolie en 1719. Il n'en reste aujourd'hui que les fondations, dont une partie a été fouillée récemment, et bien sûr de nombreux témoignages et gravures de cette étonnante construction.

« Un siècle et quart d'incurie acheva facilement de transformer en ruine le monument qui était tout à la fois l'un des plus curieux produits de l'art du XVIème siècle et l'une des preuves les plus saisissantes de l'inconstance des choses humaines. » A. de Boislisle, 1876.

3. Etat de l'art

3. 1. Reconstitutions archéologiques

Les reconstitutions archéologiques peuvent prendre plusieurs formes. On peut restituer un bâtiment par une simple image, par une maquette, en infographie 3D ou même parfois en grandeur nature. Chaque médium a ses spécificités, cependant on trouve des points communs à la démarche de reconstitution pour chacun d'entre eux. C'est en effet toujours le même défi de combler les vides de l'histoire. Il faut choisir entre différentes hypothèses, souvent supposer, et finalement c'est toujours un point de vue qui est proposé, en fonction du but recherché.

Une des reconstitutions archéologique qui m'a le plus intriguée est celle de la Dame de Florès. Un article paru dans le Science & Vie du mois de mars 2008 fait état de ce travail.

« A partir de quelques ossements exhumés sur une petite île d'Indonésie, un groupe de sculpteurs et de scientifiques a reconstitué Homo floresiensis grâce à des techniques médico légales de pointe. Oui, mais comment faire la part de l'inconnu pour donner corps à un spécimen vieux de 20 000 ans ? Plongée dans les coulisses d'un difficile exercice d'équilibriste entre science et interprétation. »

Pour rendre humains ces ossements, tout en étant précis dans la reconstitution, un important dialogue entre science et art a dû s'instaurer. C'est à mon sens le point commun entre toutes les reconstitutions archéologiques.

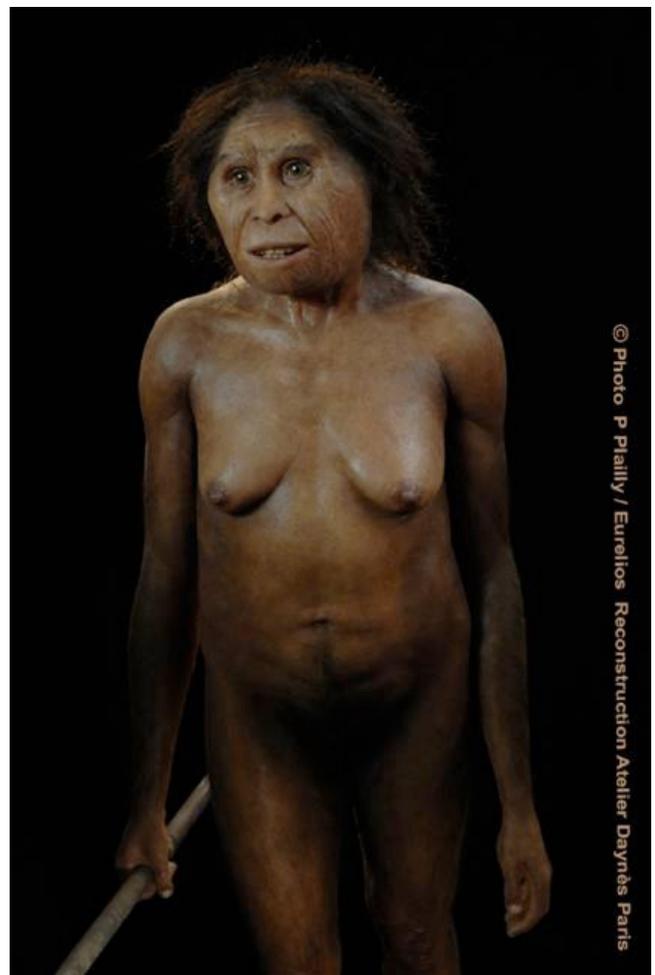


Photo de la Dame de Florès une fois reconstituée

3. 2. Reconstitutions historiques en 3D

Que ce soit dans les films ou dans les jeux vidéo, les reconstitutions en 3D deviennent de plus en plus nombreuses. Dans les films, la 3D permet d'obtenir des décors très réalistes, sur lesquels on intègre souvent des acteurs bien réels. Plus que le réalisme, c'est l'ambiance qui prime. On peut citer notamment parmi les films les plus récents *Gladiator*, *Alexandre* et *Astérix aux Jeux Olympiques*.



Image extraite du film Astérix aux Jeux Olympiques

Dans les jeux vidéo, la reconstitution archéologique varie en qualité et en détail suivant le type de jeu. Les jeux de gestion et de stratégie, comme *Caesar 3* ou *Civilization 4*, restituent les différents bâtiments de manière assez schématique.



Capture d'écran de Caesar 3

Les incohérences de temps et de lieu ne posent pas problème dans le jeu vidéo. En effet, il s'agit souvent de réécrire l'histoire.



Capture d'écran de Civilization 4

Les jeux d'aventures proposent par contre une restitution beaucoup plus fidèle. On peut notamment penser à *Versailles, Complot à la Cour du Roi Soleil*, doté d'une très belle qualité graphique et d'une grande précision. Les décors avaient été précalculés, il ne s'agissait donc pas de 3D temps réel. Dans le cas de Versailles, le jeu proposait non seulement une aventure dans Versailles et ses jardins, mais aussi d'en apprendre sur ce château tel qu'il était au XVII^{ème} siècle et sur la vie de la noblesse à cette époque. On parle alors de jeu ludo-éducatif.

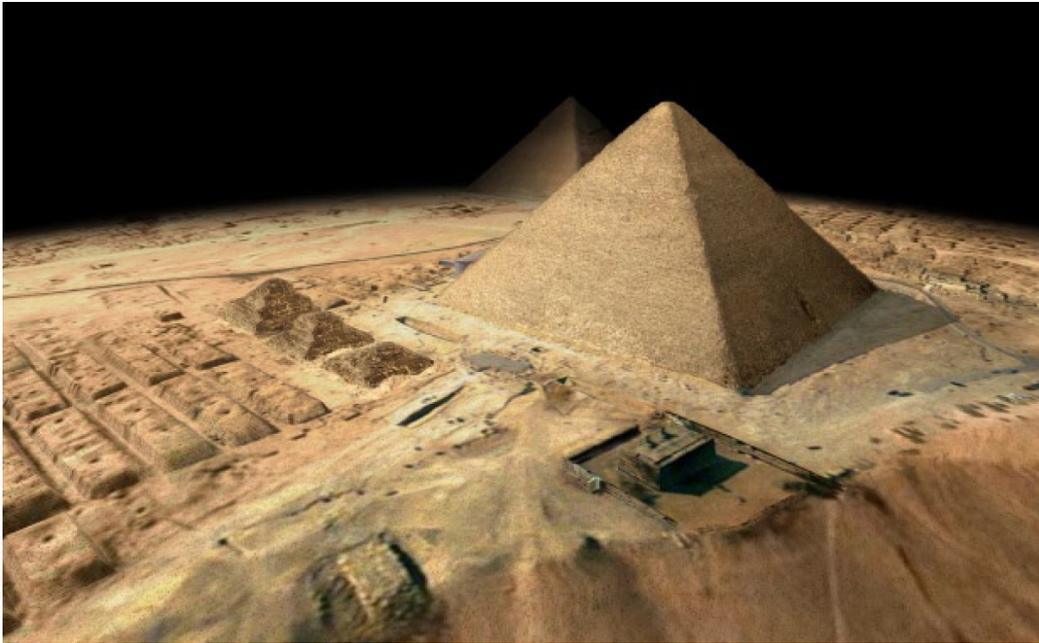


Capture d'écran du jeu Versailles, Complot à la Cour du Roi Soleil

Les jeux ludo-éducatifs se rapprochent des visites virtuelles car ils ont également un but pédagogique. L'approche de la reconstitution y est beaucoup plus rigoureuse.

3. 3. Multiplicité des supports

L'infographie 3D s'est récemment mise au service de l'archéologie dans une des plus grandes énigmes de l'Égypte ancienne, la construction de la pyramide de Kheops.



La 3D a dans ce cas été utilisée à deux effets : d'une part, vérifier la théorie de Jean-Pierre Houdin (la pyramide aurait été construite de l'intérieur) grâce au logiciel CATIA et d'autre part, présenter cette hypothèse au grand public, à travers une présentation en 3D temps réel sur internet (réalisée sur Virtools) et un film en relief présenté à la Géode.



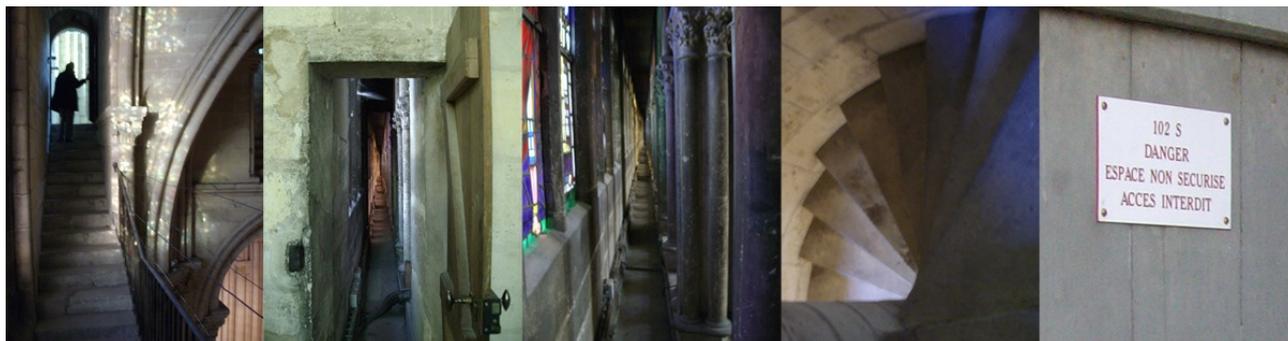
Capture d'écran de l'application temps réel sur Kheops

4. Reconstitution de la Rotonde en 3D

4. 1. Références

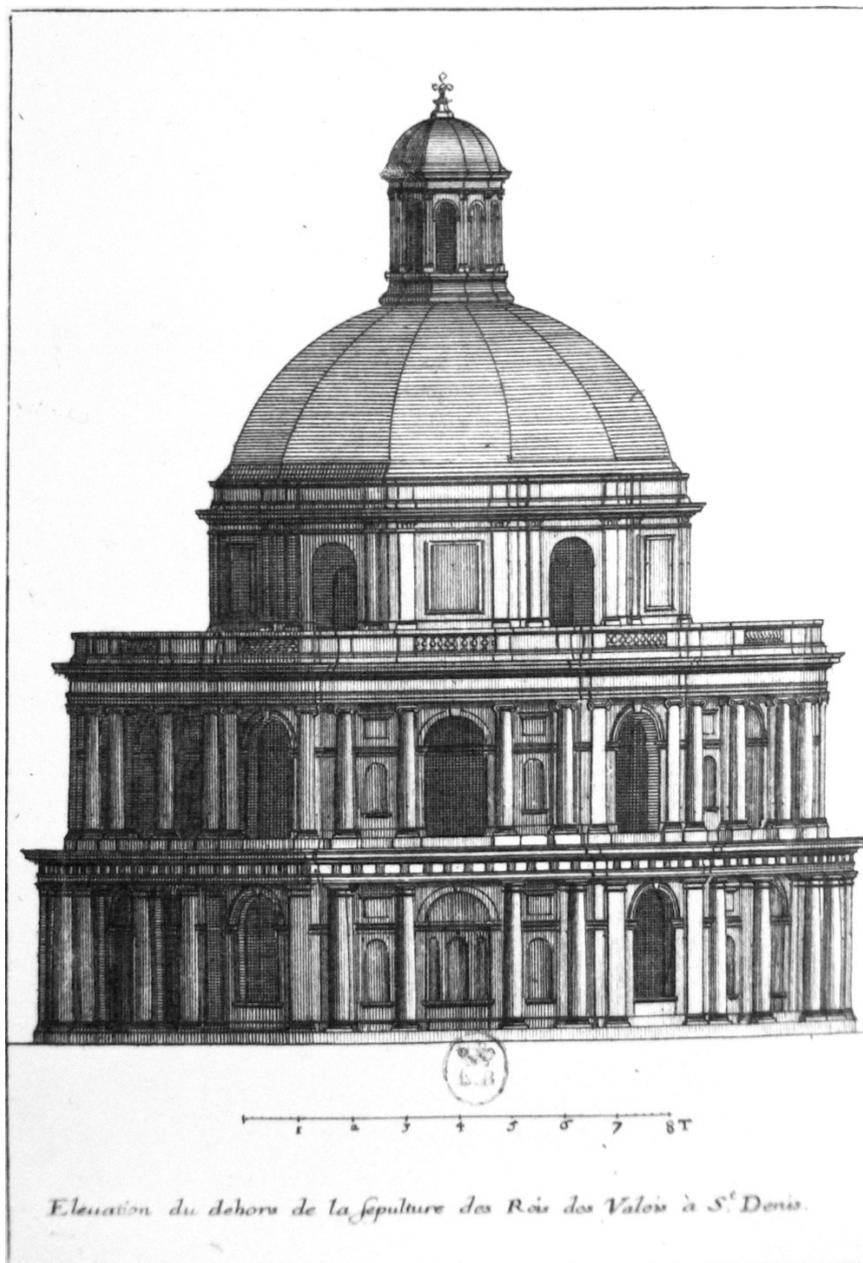
L'intérêt d'une reconstitution archéologique réside notamment dans la précision et la justesse de la restitution. De plus, il m'a semblé plus intéressant de travailler sur un projet utile, qui pouvait à la fois faire découvrir un lieu disparu, une autre époque aux spectateurs, mais aussi permettre aux historiens de l'art de confronter leurs théories avec un modèle réaliste.

Monsieur Michael Wyss de l'Unité Archéologique est à l'origine de mon projet de reconstitution de la Rotonde. Je l'avais en effet rencontré à l'époque où j'envisageais de reconstituer une partie de la Basilique. Il m'avait alors fait visiter les parties inaccessibles de cette construction (les coursives longeant les vitraux, la salle de l'orgue, les chapelles au-dessus de l'entrée, la tour..) car nous pensions qu'il pouvait être intéressant de les présenter au public. Ces passages secrets m'enthousiasmaient.



Cependant, M. Wyss m'a rappelé peu après pour me proposer un autre projet qui lui semblait plus intéressant : la Rotonde des Valois. Aucune restitution précise en 3D n'avait été réalisée, ni aucune maquette, malgré les recherches effectuées à ce sujet et il n'en reste plus rien de visible aujourd'hui.

Cette idée m'a immédiatement séduite, car elle me semblait plus utile que les précédentes. De plus, la quantité de gravures et textes traitant de ce mausolée devait me permettre de réaliser une reconstitution précise. La plupart des gravures qui m'a servie de références a été réalisée par Jean Marot (1619-1679), qui a probablement travaillé d'après les plans des différents architectes et peut-être aussi des maquettes de la Rotonde aujourd'hui disparues.



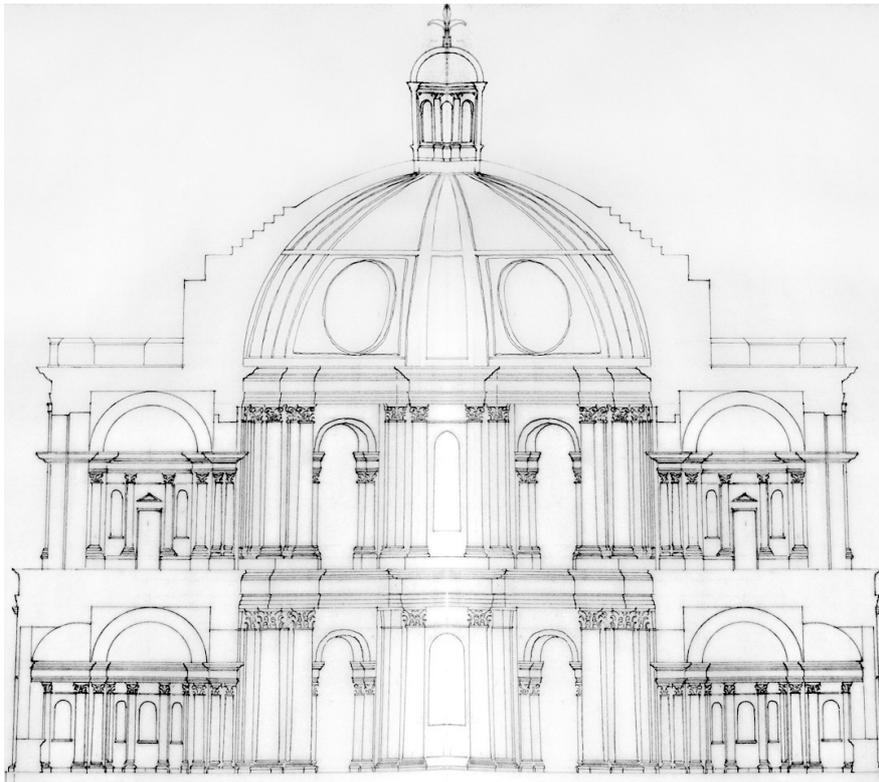
Malheureusement, je me suis vite rendue compte que les gravures se contredisaient souvent, il m'était donc très difficile d'avancer, ne sachant pas sur quel plan travailler. M. Wyss m'a alors conseillée de contacter Mme Sabine Frommel, historienne de l'art et spécialiste du Primatice.

Elle a pu m'éclairer sur de nombreux problèmes que j'avais : les plans de Marot correspondaient non pas à une seule Rotonde, mais à deux projets différents : d'un côté la Rotonde telle que l'avait dessinée le Primatice et de l'autre la Rotonde qui a été effectivement construite avec les remaniements des différents architectes.



La partie de gauche correspond à la Rotonde telle que l'avait prévue le Primatice, et celle de droite au projet des architectes qui lui ont succédé. Ces deux gravures ont été réalisées par Marot.

Mme Frommel m'a également fourni les plans qu'elle et son équipe avaient dessiné, ainsi que des textes, comprenant leur différentes hypothèses pour les parties où les dessins de Marot n'étaient pas clairs, ou discutables (par exemple vis à vis du toit).

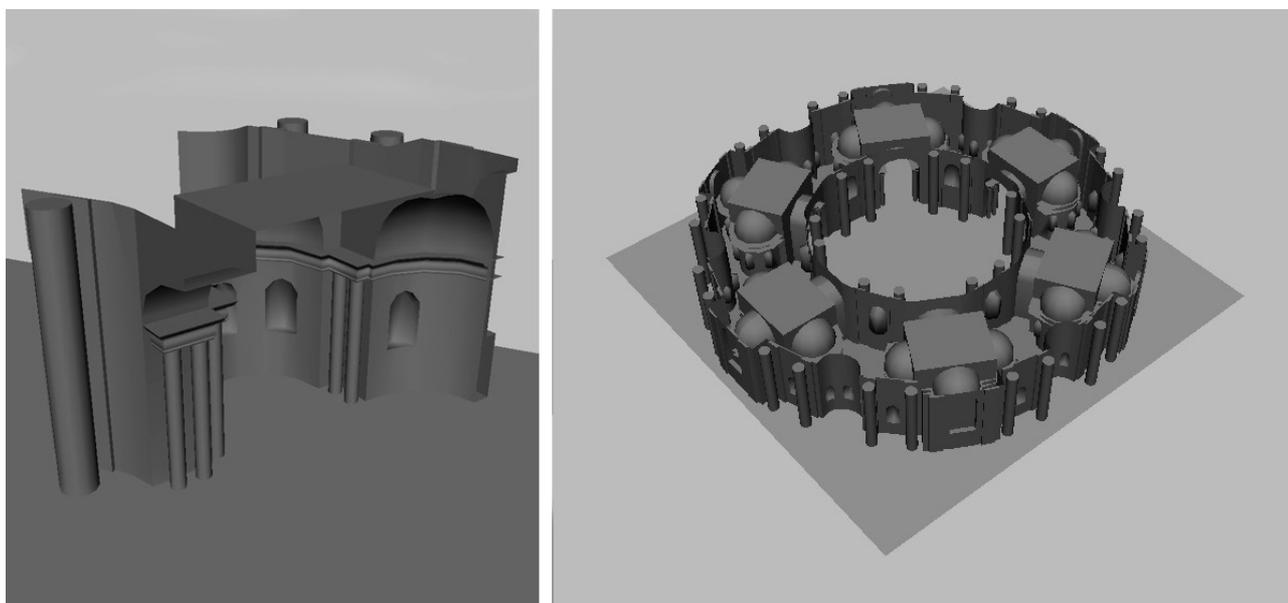


4. 1. Modélisations

Pour ce projet, j'ai choisi de travailler l'ensemble de la 3D sur le logiciel Maya 2008, car c'est un logiciel polyvalent (rendus de qualité avec *Mental Ray*, rendus non réalistes grâce aux *paint effects*, facilités pour le temps réel avec des outils comme le *cleanup*, etc.) et également car c'est avec lui que je suis plus à l'aise.

Début de la modélisation

J'ai commencé par modéliser le rez-de-chaussée de la Rotonde, car c'était l'étage le plus documenté, avec le maximum de concordance entre les différentes sources. De plus les fondations qui ont pu être fouillées récemment ont montré le même plan : on a un dodécagone régulier (polygone à douze côtés égaux). A l'intérieur, sur six des douze faces ont été réalisées des chapelles satellites, en forme de croix. A partir de là, j'ai travaillé essentiellement sur une des douze parties identiques de l'édifice, que je dupliquais ensuite : d'abord en symétrie par rapport au centre de la chapelle satellite pour former un sixième de la rotonde, que je dupliquais ensuite 5 fois.



J'ai travaillé au départ assez simplement, pour obtenir un maillage assez léger en polygones, de manière à pouvoir l'utiliser en temps réel. Par la suite, j'ai ajouté des détails au fur et à mesure : colonnes, détails de reliefs dans les murs, frises, ouvertures.

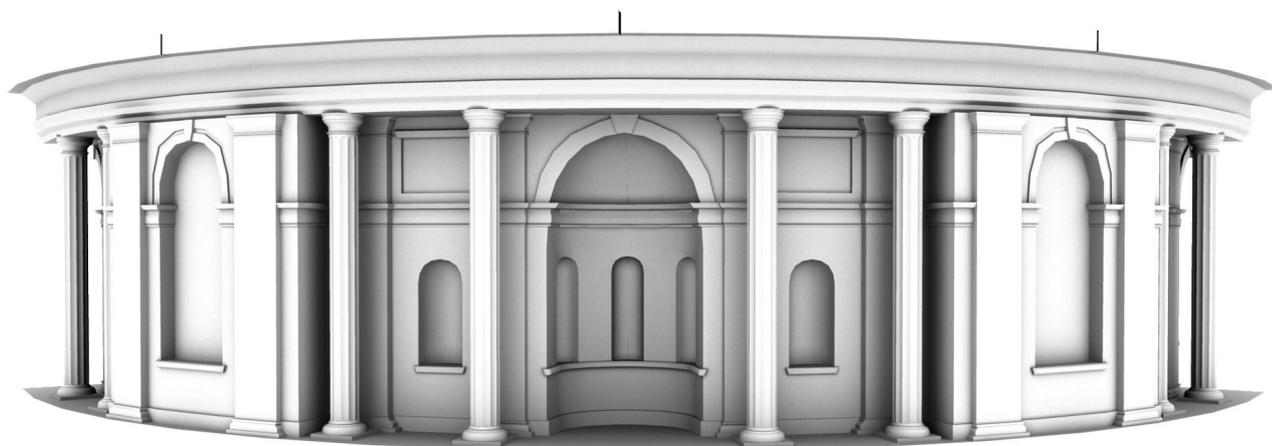
Je n'avais pas encore rencontré Sabine Frommel à ce moment là et j'étais déjà confrontée à de nombreux problèmes. Les ouvertures que l'on voyait sur certaines gravures coupaient de

manière très étrange l'arrière des chapelles satellites. De plus, dès lors que j'ai commencé à travailler sur l'étage, j'ai été confrontée au manque total de cohérence entre celui-ci et le rez-de-chaussée. Heureusement les documents et conseils de Mme Frommel m'ont permis de comprendre ces différents problèmes. Je me suis ensuite employée à affiner mon modèle.

Ordres

Une des richesses architecturales de la Rotonde vient de l'emploi dans sa construction de 4 ordres. A l'extérieur, le rez-de-chaussée est d'ordre dorique et l'étage ionique. A l'intérieur, on trouve l'ordre corinthien en bas et l'ordre composite en haut.

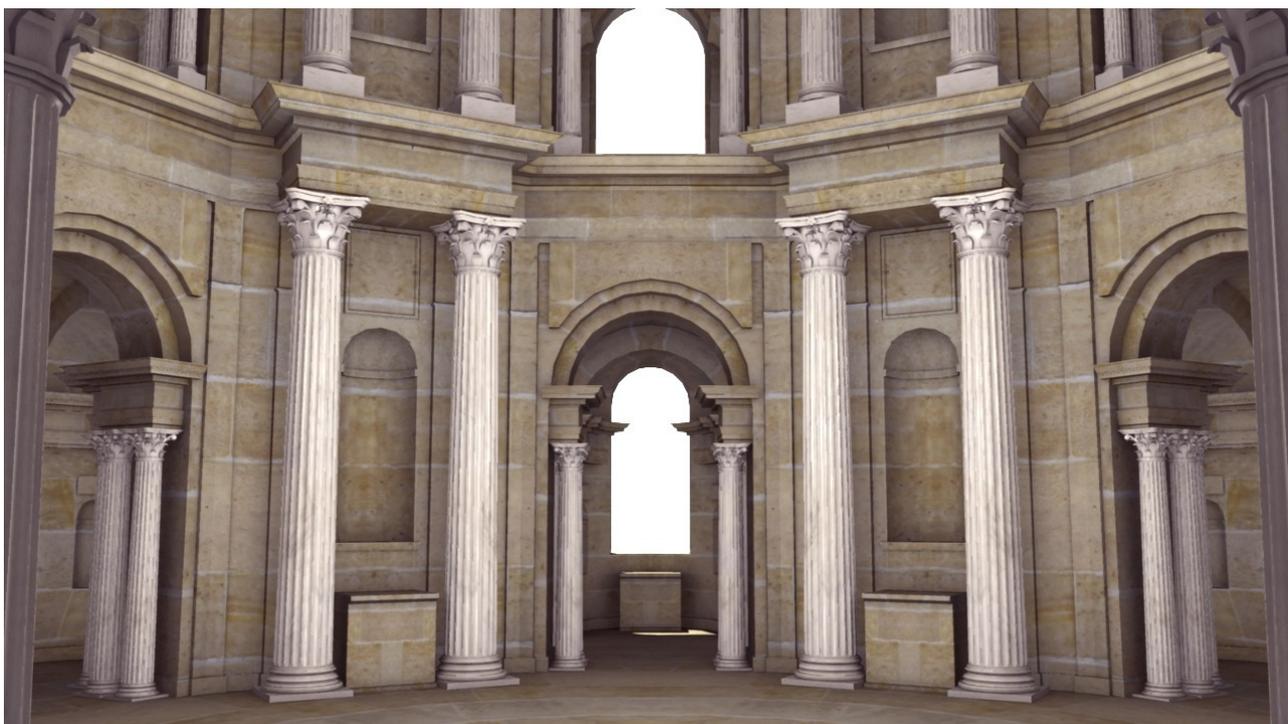
Pour les représenter, j'ai tout d'abord suivi des exemples trouvés sur internet, en me contentant des colonnes. J'avais remarqué qu'il existait plusieurs versions de chaque ordre, mais ne savait que choisir. J'ai donc commencé par faire des colonnes doriques à fût cannelé, puis des colonnes corinthiennes à fût lisse.



Il s'est avéré que non seulement c'était l'inverse (les colonnes doriques avaient un fût lisse et les colonnes corinthiennes un fût cannelé), mais les modèles que j'avais suivis n'étaient pas justes. Mme Frommel m'a appris que Le Primatice utilisait les ordres dessinés par un architecte italien qui lui était contemporain : Sebastiano Serlio.

Ses ouvrages d'architecture sont encore disponibles aujourd'hui et détaillent les différents ordres avec précision. J'ai donc pu m'appuyer sur ceux-ci pour refaire mes colonnes et également les entablements qui sont toujours strictement du même ordre que les colonnes. J'ai également eu accès à un modèle très haute résolution de la colonne dorique et du chapiteau

corinthien, qui m'a été très utile pour préciser mon travail, mais que je n'ai pu utiliser directement du fait de la lourdeur de ceux-ci : une fois polygoné, le chapiteau seul faisait 120 000 triangles.



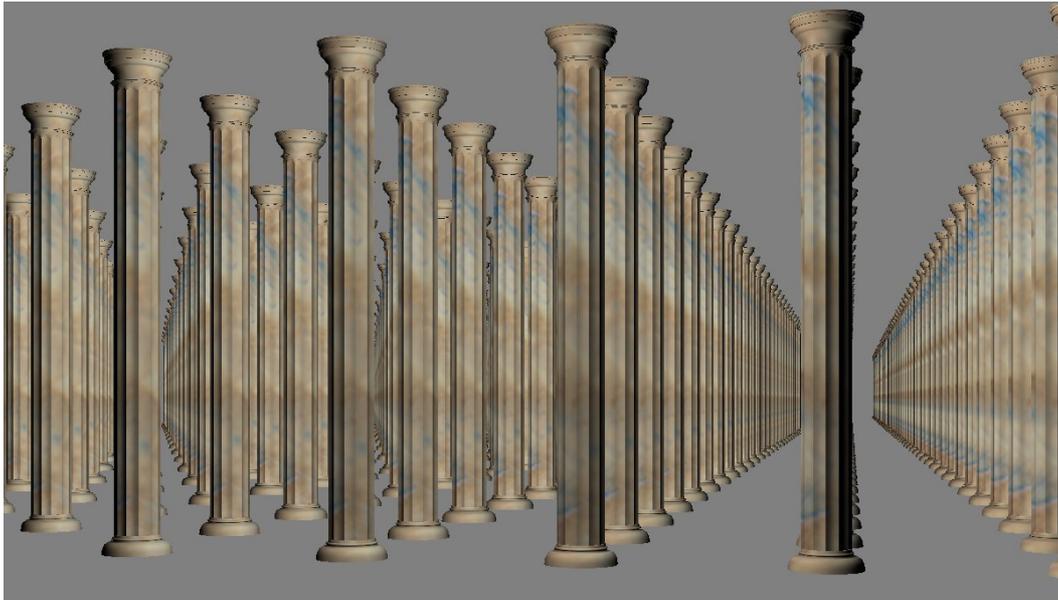
Optimisation

En travaillant sur la Rotonde, je me suis rendue compte que je devais m'occuper de l'optimisation de ma scène dès la modélisation. En effet, les formes rondes entrecoupées et plus encore, les nombreuses colonnes à fût cannelé, les chapiteaux corinthiens et composites sont extrêmement lourds en polygones.

Sachant que cet édifice compte 24 colonnes doriques, 24 colonnes ioniques, 60 colonnes composites et 84 colonnes corinthiennes, le nombre de polygones de chacune compte énormément.

En parallèle de la modélisation, j'ai donc effectué de nombreux tests dans Virtools, logiciel que j'ai choisi pour la partie temps réel de mon projet, de manière à obtenir le meilleur rapport détails/fluidité.

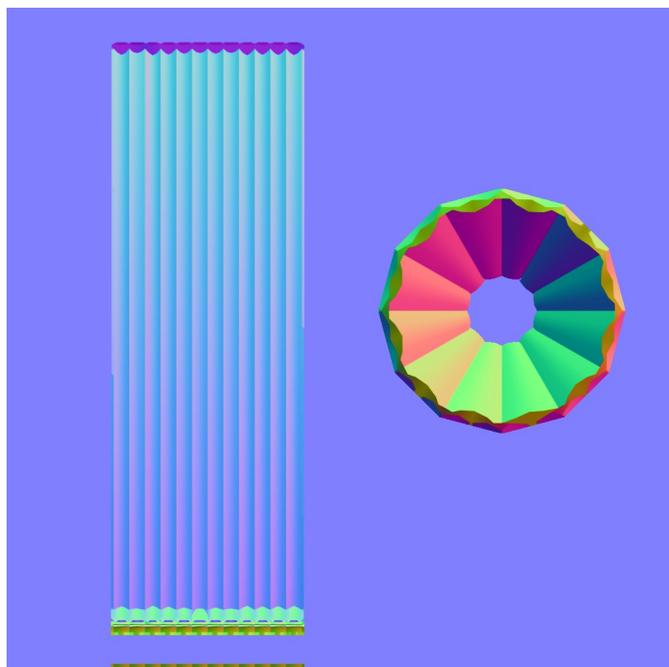
J'ai tout d'abord testé ce qui était le plus lourd pour Virtools, entre une colonne avec un matériau simple, mais une modélisation assez lourde (colonne cannelée). Puis j'ai testé la même colonne avec un modèle très léger, mais une normal map qui donnait un effet cannelé.



Colonnes doriques avec les cannelures modélisées dans Virtools



Colonnes doriques avec cannelures réalisées en normal map dans Virtools



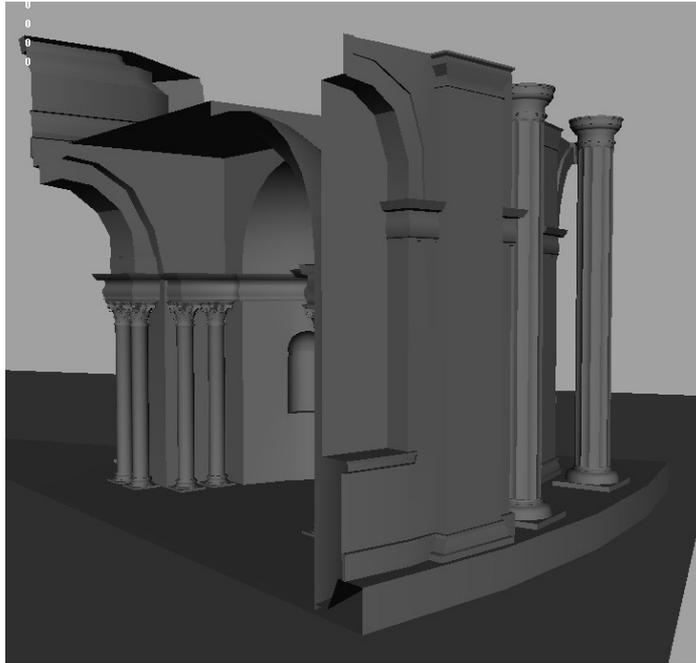
Normal map qui m'a servi à créer le relief sur les colonnes dans Virtools

L'effet entre les deux colonnes est assez proche, les cannelures réalisées avec les normal map semblent cependant prendre un peu mieux la lumière, mais pas contre on peut voir quelques bugs en haut des colonnes. Pour ce qui est performance, j'ai obtenu des résultats sensiblement identiques : sur mon ordinateur, avec 10 000 colonnes affichées dans les deux cas, le programme n'est pas descendu au-dessous de 15 images par seconde, ce qui est très convenable compte tenu de la quantité très importante de polygones présents à l'écran. Dans ces conditions, j'ai choisi l'option la plus simple pour moi : réaliser des modèles avec une haute définition en polygones, mais pas de normal map.

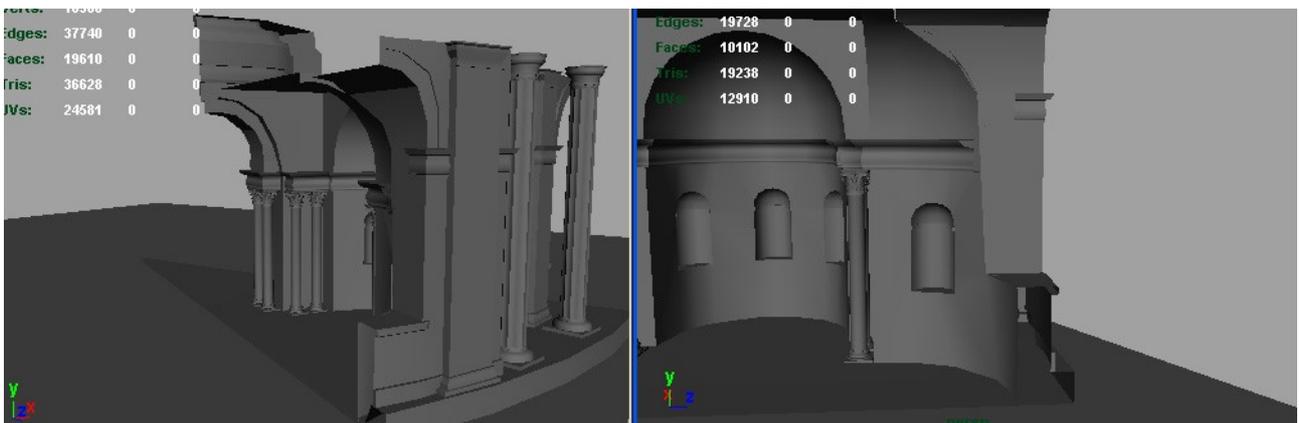
4. 2. Problèmes soulevés par la modélisation et hypothèses

Ouvertures

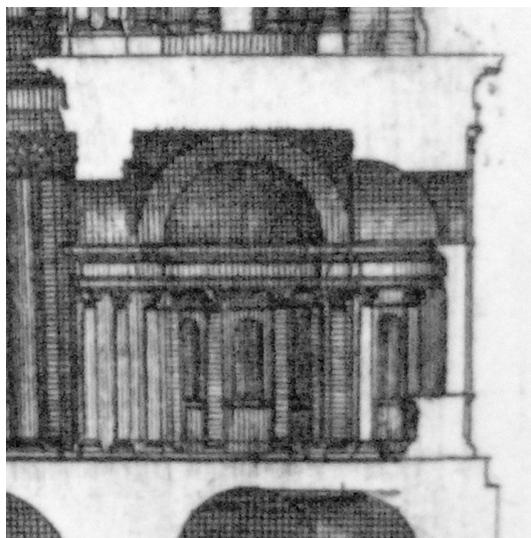
Le premier problème auquel j'ai été confrontée durant la modélisation de la Rotonde a été les ouvertures du rez-de-chaussée. En effet, je ne voyais pas comment relier de manière logique les fenêtres, vues de l'extérieur, avec l'arrière des chapelles satellites.



Vue des fenêtres et de l'arrière des chapelles satellites



Capture d'écran représentant le résultat obtenu en creusant simplement la fenêtre dans la direction de la chapelle satellite

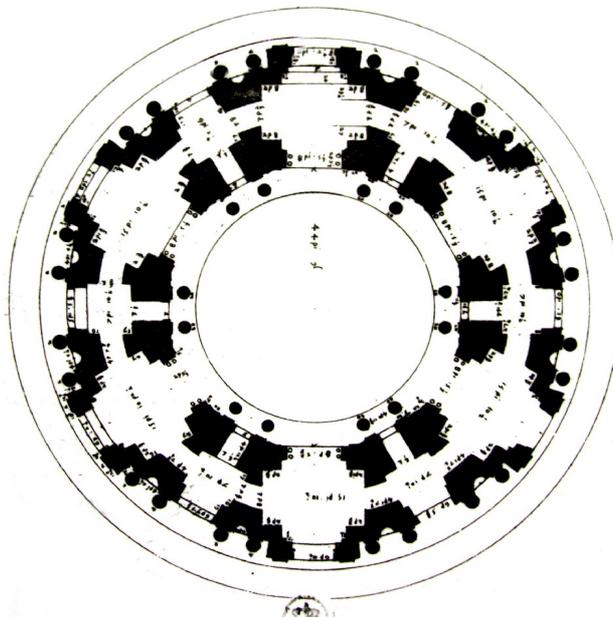


Extrait d'une des gravures de Marot, assez peu explicite concernant ces ouvertures

En examinant les plans et en modifiant la hauteur des fenêtres pour les faire coller à la gravure ci-dessus (plutôt qu'à d'autres références qui n'étaient pas justes) j'ai réussi à obtenir une ouverture sans que le fond du cul-de-four soit trop abîmé.



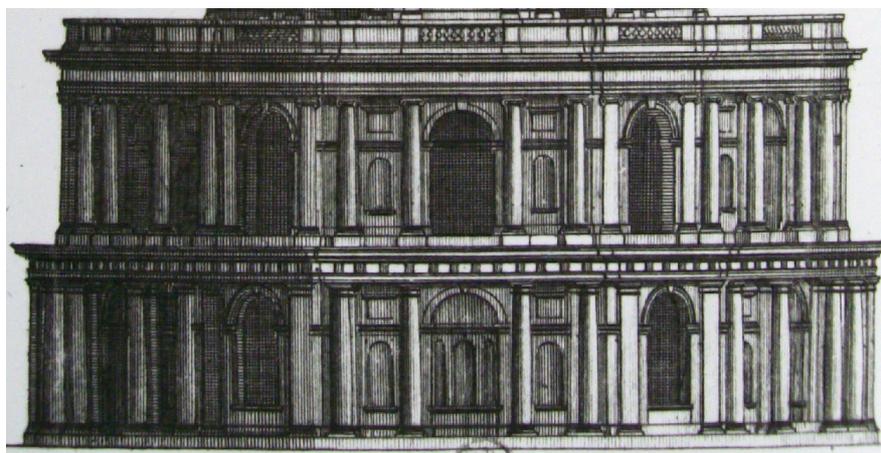
Les fenêtres de l'étage m'ont posé un autre problème. En effet, en suivant le seul plan de l'étage que j'avais alors, je n'obtenais pas du tout l'aspect extérieur voulu.



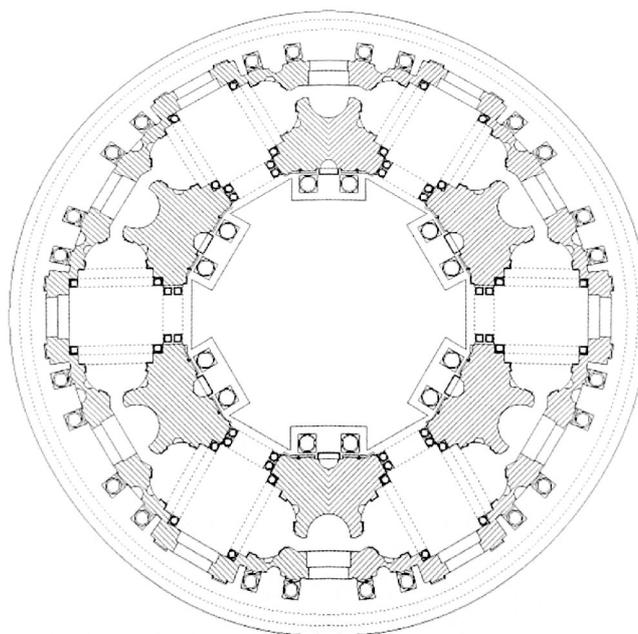
Plan de l'étage de la Rotonde

D'après ce plan de Marot, on voit qu'il y a des ouvertures dans chacune des douze faces de l'étage et qu'elles continuent vers le vide central de la Rotonde. Ainsi sur une élévation extérieure, on devrait voir ces ouvertures.

Cependant, sur une autre gravure de Marot, on voit que sur l'ouverture centrale, la frise se continue à l'intérieur, et qu'il n'y a aucune ouverture. On pourrait donc penser qu'il s'agit d'une abside, comme au rez-de-chaussée. Cependant, Dom Michel Felibien indique dans son texte sur l'abbaye de Saint-Denis que les chapelles de l'étage sont reliées : "Dans le second ordre on voit des chapelles semblables à celles du premier, excepté qu'elle se communiquent les unes aux autres par des arcades qui forment une espèce de galerie". De plus, l'ombrage réalisé par Marot fait penser que ce renforcement est bien plus profond :



Le plan de l'étage réalisé par Mme Frommel m'a permis de résoudre ce problème :



En effet, on a bien de vraies ouvertures dans une face sur deux, et des chapelles plus profondes sur les autres faces, et toutes les chapelles de l'étages sont reliées.

Frises Intérieures/Extérieures

La modélisation des fenêtres de l'étage et du rez-de-chaussée m'a posé un autre problème indirect : celui des frises. En effet, les frises extérieures et intérieures ne sont pas identiques et leur recouvrement pose problème au niveau des ouvertures. Ni Marot, qui ne montre jamais en même temps frises intérieures et extérieures, ni les historiens de l'art ne répondent à cette question.

Pour éviter d'avoir un recouvrement douteux entre deux frises différentes, j'ai choisi d'arrêter les frises avant le recouvrement. Ceci n'est cependant pas une solution très satisfaisante, car même si elle ne choque pas à l'œil, cela ne correspond pas aux références.



Il me semble important que les historiens se penchent sur ce problème, car Le Primatice s'intéressait au dialogue et à la cohérence entre intérieur et extérieur, ce qui rend peu probable le fait que ces frises n'aient pas été prévues pour se recouper.

Escalier

J'ai travaillé sur l'escalier de la Rotonde à un stade assez avancé du projet, car il ne devait pas être visible dans l'animation, mais uniquement dans la partie temps réel. Si les textes parlent bien d'un escalier, « À droite du passage, un escalier en colimaçon, creusé dans un pilier, conduit à la terrasse donnant accès aux chapelles supérieures. », Sabine Frommel, les plans en revanche n'en font état qu'au rez-de-chaussée.

Pour pouvoir placer l'escalier, j'ai donc suivi le plan de Mme Frommel, où l'escalier est très petit, et j'ai dû improviser pour l'étage et le toit où l'escalier n'était pas représenté.



Escalier à l'étage et sur le toit de la Rotonde

4. 3. Textures

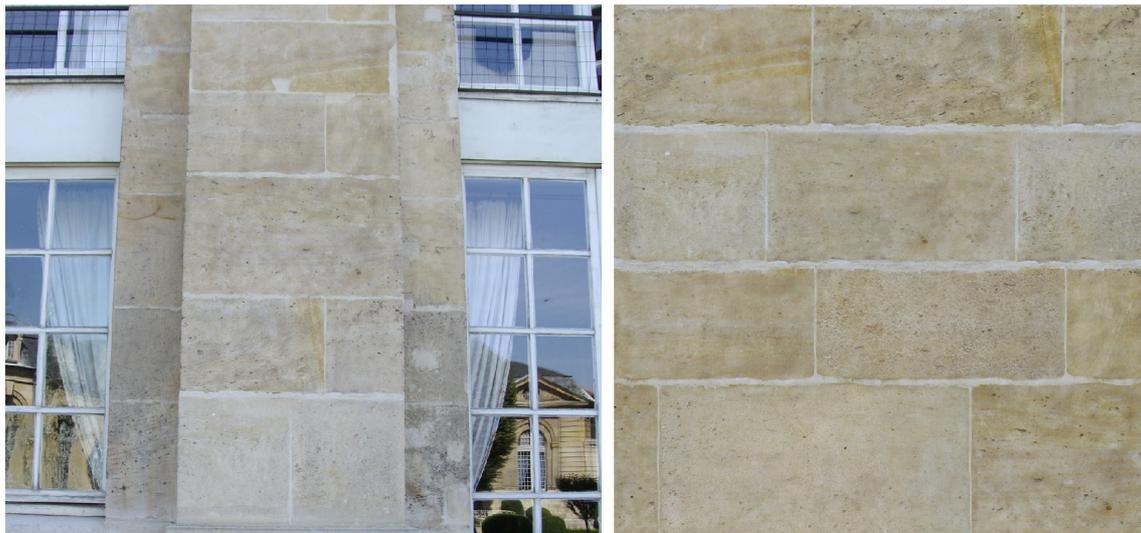
D'après M. Wyss, la Rotonde a été bâtie en pierre de Saint-Leu, une pierre de couleur jaune qui a également servi à construire l'actuelle Maison d'Education de La Légion d'Honneur à Saint Denis. Ce bâtiment se trouve également à côté de la Basilique, à l'opposé de l'endroit où se trouvait le mausolée.

Après avoir obtenu l'autorisation de prendre des photos de la Maison d'Education par le cabinet du Grand Chancelier de La Légion d'Honneur, ce qui n'a pas été difficile mais a pris un peu de temps, j'ai pu aller prendre des photos de cette fameuse pierre. Les bâtiments intérieurs sont très beaux. Cela m'a beaucoup étonné de voir autant de luxe, encore aujourd'hui, à l'abri des regards, en plein milieu de Saint Denis.

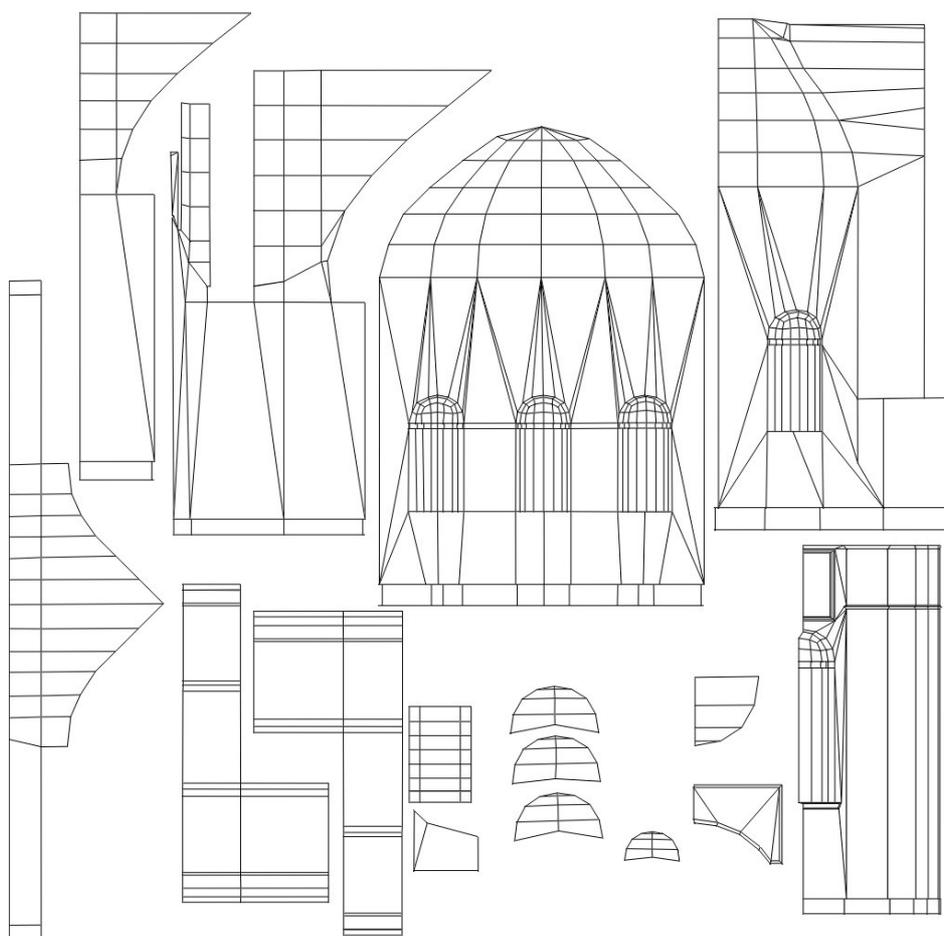


Au premier plan, Maison d'Education de la Légion d'Honneur, et au second, Basilique de Saint Denis.

A partir des photos que j'avais prises des murs, j'ai pu réaliser une texture bouclée.



Je l'ai ensuite appliquée à tous les murs et objets en pierre de la Rotonde. J'ai dû réaliser un gros travail de dépliage d'UV pour cela, qui m'a également été utile pour réaliser le baking des lumières de la Rotonde.



Pour le marbre, cela a été un peu plus complexe, car les informations à ce sujet sont peu nombreuses. On sait que des marbre blanc, gris, noir et rouge avaient été transportés à Saint Denis au moment de la construction de la Rotonde, cependant rien ne prouve que ces marbres lui étaient effectivement destiné. Pour l'animation, j'ai suivi le conseil de Mme Frommel : j'ai choisi de mettre un marbre blanc à toutes les colonnes de la Rotonde.

Pour créer cette texture de marbre, j'ai été photographier le marbre du tombeau d'Henri II et Catherine de Médicis, qui date de la même époque. Malheureusement les conditions de luminosité ne m'ont pas permis d'obtenir des images de qualité suffisante. J'ai donc mélangé ces photos avec une texture de marbre générée par Maya, grâce au matériau procédural de marbre.



Photo de marbre du tombeau



Marbre généré par Maya

En mélangeant les deux dans Photoshop et en modifiant la luminosité et les couleurs, voila ce que j'ai obtenu.



5. Supports de diffusion

5. 1. Animation

Le premier support sur lequel j'ai travaillé a été l'animation. C'était en effet l'exercice obligatoire, il fallait donc qu'il soit fini avant les autres. J'ai essayé d'utiliser au maximum les spécificités de ce médium : la 3D précalculée permet d'obtenir une plus grande finesse, d'avoir des effets très coûteux et ainsi de donner un résultat plus réaliste.

Musique

J'ai commencé à choisir la musique dès le mois de novembre. Je souhaitais en effet baser mon animation sur la musique, c'était donc un choix à réaliser préalablement au storyboard.

Mon choix s'est rapidement porté sur le groupe de métal Apocalyptica, qui a la particularité de n'être composé que de 4 violoncelles et d'une batterie. L'absence de chant rend cette musique très pratique pour accompagner un film. Le morceau « Hope » a d'ailleurs servi de bande originale au film Vidocq.

C'est le morceau « Romance » que j'ai finalement décidé d'utiliser car il y avait une ambiance douce, un peu mélancolique, tout en étant rythmée, et les mouvements mélodiques m'ont semblé très « ronds » ce qui collait parfaitement avec la Rotonde. J'ai ensuite choisi un extrait d'un peu plus d'une minute que j'ai retravaillé pour que le début et la fin paraissent naturels.

Contenu

Le but dans cette animation était de montrer ma reconstitution de la Rotonde. Ainsi, j'ai conçu ce très court métrage comme une visite. On se déplace dans le mausolée au rythme de la musique et on découvre progressivement l'édifice. Au départ, on se trouve à l'étage, ou on parcourt le couloir qui relie toutes les chapelles. On ne voit pas grand chose, mais on suit la courbe de la Rotonde. J'ai repris ce même mouvement pour le plan suivant, qui ainsi le prolonge, tournant doucement. Puis, à l'occasion du brusque changement dans la musique, la caméra accélère, s'élève, pour finalement sortir de la rotonde, s'éloigner et la voir ainsi dans

son ensemble. Ensuite, en suivant le rythme de « Romance », je montre, toujours en tournant, les différents ordres de colonnes. Pour finir, la caméra se trouve au milieu du mausolée et s'élève en suivant les colonnes jusqu'à regarder le lanternon, qui coiffe la Rotonde. La lumière éblouit le spectateur, à la fin de l'animation, tout est blanc.



Rendu

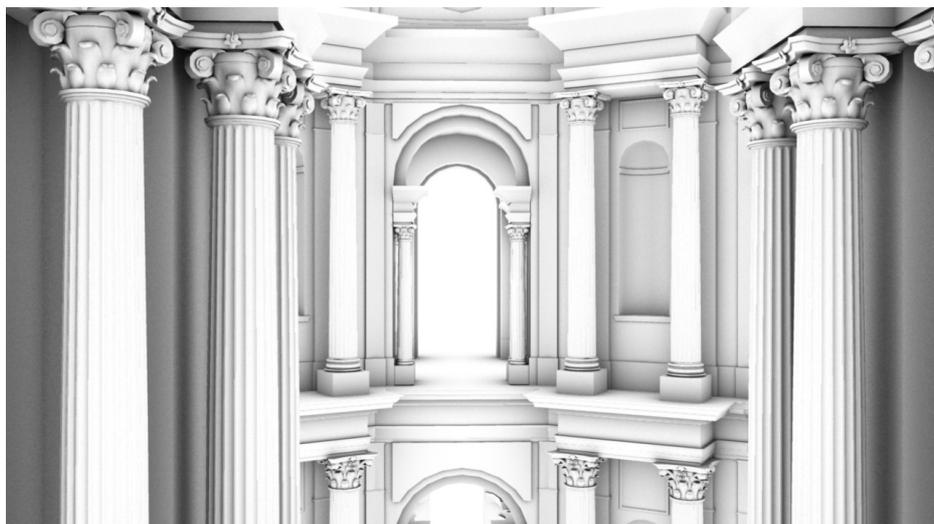
Pour le rendu de la Rotonde, j'ai choisi un éclairage de jour, car la Renaissance est une période où on célébrait la lumière. Pour cela, j'ai fait un éclairage basé sur 4 sources lumineuses :

- Une lumière principale (spot) qui donne la direction du soleil et les ombres. La lumière est jaune orangée, tandis que les ombres sont très légèrement violettes.
- Une lumière volumétrique de forme sphérique qui éclaire toute la partie centrale de la Rotonde. Cette lumière est animée de façon à diminuer d'intensité en fonction de la distance : son intensité devient quasiment nulle quand on voit la Rotonde de l'extérieur, de loin.
- Un ensemble de 6 lumières directionnelles, dirigées comme chacun des axes du repère : x , $-x$, y , $-y$, z , $-z$. Ces lumières blanches ont une intensité très faible (0,05) et sont essentiellement pour éviter d'avoir des ombres trop dures.
- Du *Final Gather*, qui donne un éclairage d'ambiance. Associé à un environnement de ciel bleu, cela donne une ambiance légèrement bleutée à l'extérieur du bâtiment, et plutôt jaune à l'intérieur, du fait des pierres. Cet aspect du rendu est assez léger mais ajoute une touche essentielle à un éclairage de jour réaliste.



Pour les matériaux, j'ai choisi de simples *phong*, très peu brillants pour les pierres, un peu plus pour les colonnes, qui ont également une légère réflexion. J'ai mis un bump assez doux sur les pierres pour donner un peu de grain et de relief quand on est proche.

En plus d'une passe de rendu comprenant tous les effets d'éclairage précédemment cités, j'ai calculé une passe d'occlusion qui permet de mettre en valeur les reliefs et d'asseoir les objets, même dans les endroits avec peu d'ombres. J'ai choisi de rendre avec 64 rayons d'occlusion, ce qui est un bon compromis entre temps de calcul et finesse du rendu. Les autres réglages par défaut de l'occlusion ne convenaient cependant pas à la Rotonde : l'intérieur était entièrement noir. J'ai résolu ce problème en mettant la *max distance* à 2.0 dans le *node* de l'occlusion.



J'ai rendu ces deux passes avec mental Ray. En effet, le *Final Gather* et l'occlusion ne peuvent pas se rendre dans le moteur de rendu *Maya Software*. Avec des réglages de qualité *Production*, et une résolution de 1280*720, j'ai obtenu un temps moyen de calcul de 7 minutes pour chaque image de diffuse et de 4 minutes pour chaque image d'occlusion. Il y avait 1500 images environ à calculer pour chacune des deux passes (25 images/seconde, multipliées par 60 secondes donne 1500 images pour une minute d'animation).

Compte tenu du temps élevé de calcul pour l'ensemble de l'animation, j'ai utilisé un rendu en *batch*, qui permet de gagner en performance. On n'a pas besoin de lancer Maya pour calculer. De plus, c'est assez pratique pour reprendre un rendu arrêté en cours de route. (cf. Annexe)

Post Production

La partie post production de cette animation a été assez rapide. Dans After Effects, j'ai mis un calque de niveau pour pouvoir contraster un peu plus mon rendu (plus ou moins fortement suivant les plans) et un calque de balance des couleurs, pour éviter que les pierres aient un côté trop vert. Ce sont des calques de réglage de la luminosité et de la colorimétrie identiques à ceux présents dans Photoshop.

En plus de cela, j'ai réalisé des masques animés sur le dernier plan, pour donner l'effet d'éblouissement. Il s'agit au départ d'un calque de niveau qui rend l'image de plus en plus lumineuse, dont j'ai ensuite défini une zone d'effet animée correspondant au déplacement de la caméra.



5. 2. Visites virtuelles

J'ai choisi de travailler la partie interactive de mon projet dans Virtools, car c'est un logiciel très adapté pour des applications en 3D temps réel simple, comme les visites virtuelles. Une grosse partie du travail pour ce support a concerné le graphisme, car il n'est pas simple d'obtenir un beau rendu avec les contraintes du temps réel.

Préparation de la modélisation et des textures

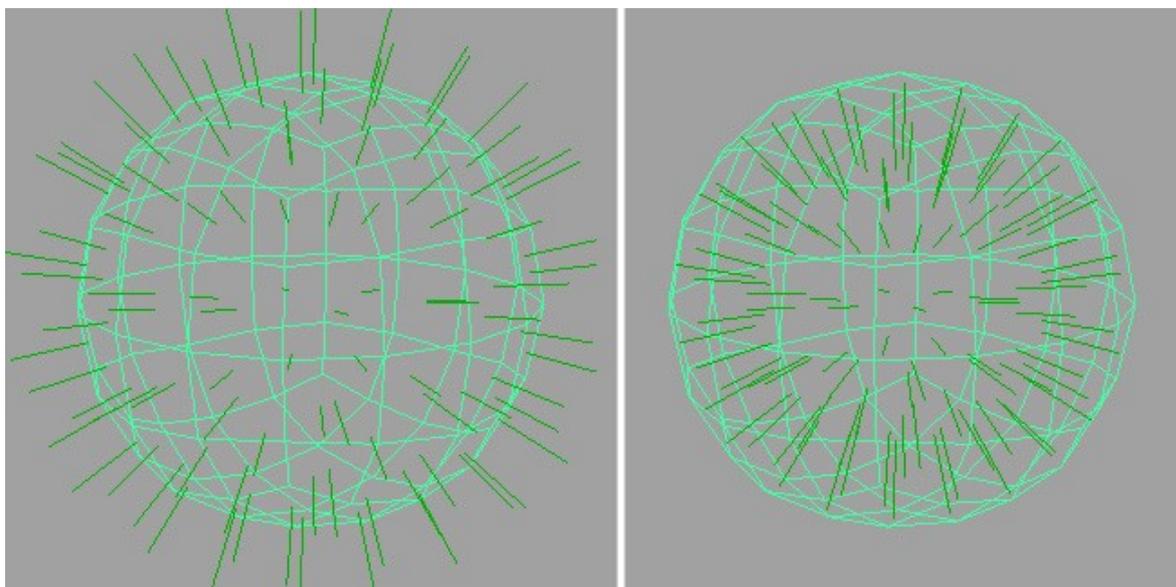
Virtools supporte bien d'avoir un nombre important d'objets dans la scène, mais assez peu les objets très lourds en polygones. Ce logiciel peut également devenir assez vite lent quand on utilise trop de textures, ou de trop haute résolution.

Pour éviter d'avoir une Rotonde avec un maillage très lourd, j'ai choisi l'option de faire seulement une partie de l'édifice et de le dupliquer en instance dans Virtools. Cela signifie que l'on a un point de pivot pour chaque objet, que l'on peut modifier indépendamment, mais par contre que les objets partagent tous le même maillage (*mesh*), les mêmes matériaux et les mêmes textures.

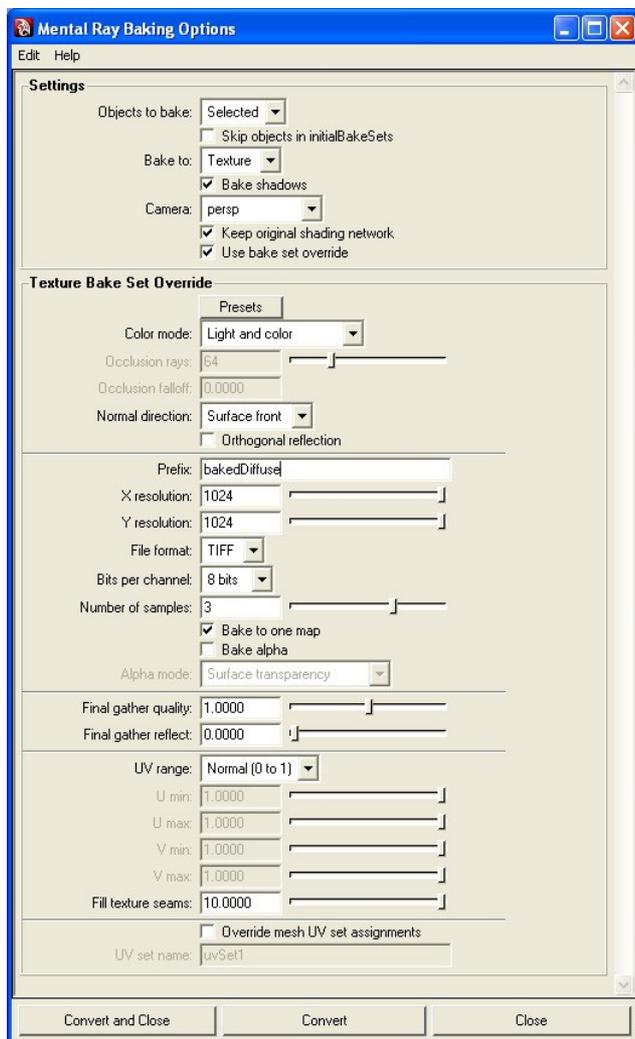
J'ai donc formé un élément de base correspondant à 1/6ème de la Rotonde, que j'ai ensuite dupliqué 4 fois. Le dernier sixième correspond à la partie qui a le couloir d'accès et l'escalier, il n'est donc pas identique aux autres.

L'éclairage étant très lourd en temps réel, notamment dès qu'on met des ombres, sans même parler d'occlusion, j'ai décidé de faire un *bake* des lumières sur les textures dans Maya. Il s'agit d'imprimer les lumières, ombres et différents effets directement dans la texture. Cela implique d'avoir un dépliage d'UV très propre : aucun UV ne doit se chevaucher, et chaque face doit être bien dépliée (l'utilisation du cleanup permet de vérifier cela, cf. annexe). Le problème des normales de face est également crucial, car une normale dans le mauvais sens donnera généralement une face noire. De plus une normale inversée donnera un objet invisible dans Virtools, dans le sens où on est supposé le regarder.

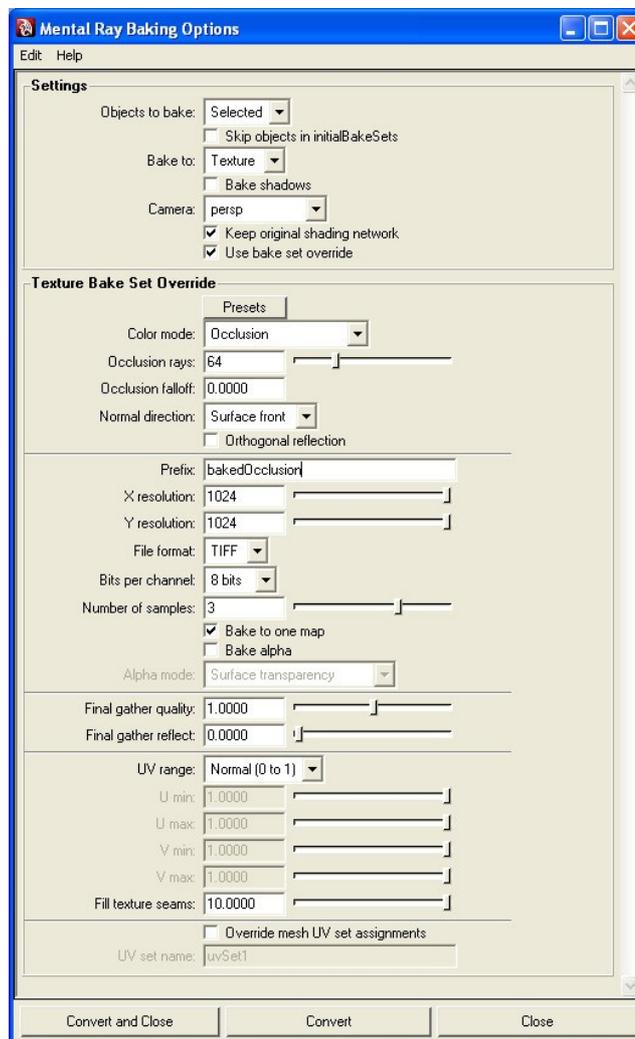
Pour vérifier que les normales de face sont dans le bon sens, dans Maya 2008, aller dans le menu *Display*, puis *Polygons* et enfin *Face Normals*. Les normales doivent aller de la face vers l'endroit où on voit l'objet : le plus souvent il s'agit de l'extérieur, par exemple pour une sphère qui servirait de ballon, les normales doivent toutes être à l'extérieur de l'objet. Pour un cylindre à l'intérieur duquel serait construit un escalier en colimaçon comme celui de la Rotonde, les normales doivent être dirigées vers l'intérieur.



Pour le *bake* en lui même, une fois qu'on a bien préparé les objets, il s'agit d'abord de régler correctement son moteur de rendu, ses lumières. Ensuite, il faut se mettre en mode *Rendering* puis aller dans le menu *Lighting/Shading* et enfin *Batch Bake (mental ray)*. Voici un exemple de réglages corrects pour un *bake* de diffuse et un *bake* d'occlusion.



Options pour le bake de la diffuse



Options pour le bake de l'occlusion

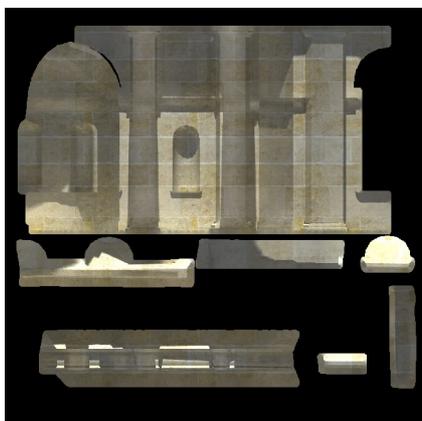
Dans le cas de la Rotonde, j'ai choisi de faire prendre les mêmes rendus et les mêmes passes que pour l'animation : un passe de diffuse avec un éclairage complexe, des ombres, du final gather, et une passe d'occlusion à 64 rayons. Il faut effectuer l'opération objet par objet, en prenant soin de mettre les bons matériaux à chaque fois, et les bons paramètres de rendu.

L'option *Keep original shading network* permet de ne pas remplacer directement le matériau de l'objet par le matériau baké, ce qui est bien pratique dans le cas où le résultat du bake n'est pas juste et qu'il faut recommencer.

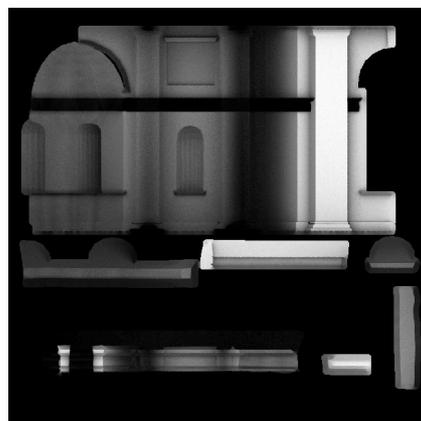
Le paramètre *Normal direction*, réglé à *Surface front* est important, car cela indique sur quelle face de l'objet va être imprimée la texture. En augmentant la résolution de l'image (*X resolution*, *Y resolution*) et le nombre d'échantillons (*number of samples*) on obtient une image de meilleure qualité.

Enfin, le paramètre *Fill texture seams* permet d'étirer la texture sur les bords des Uvs, ce qui évite d'avoir des traits correspondant à la couleur de fond au niveau des rupture d'UVs. Quand on *bake* plusieurs objets sur la même texture, il faut cependant être attentif à ce que les textures des uns ne recouvrent pas celles des autres du fait de cette option.

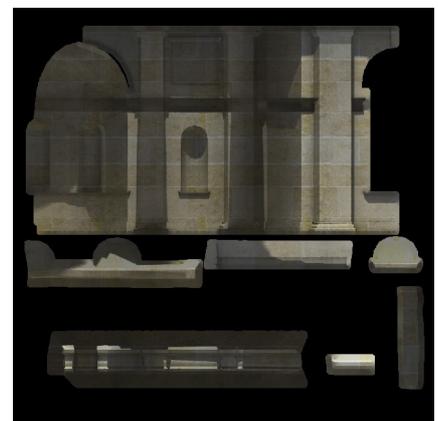
Une fois qu'on a les passes d'occlusion et de diffuse calculées, il faut les combiner dans Photoshop. On met le calque d'occlusion au dessus du calque de diffuse, puis on change son mode de fusion en *produit*, et son opacité, en fonction des besoins.



Bake de la diffuse



Bake de l'occlusion



Combinaison des deux

Pour finir, j'ai appliqué ces textures où les lumières avaient été imprimées aux matériaux des différents objets, j'ai hiérarchisé correctement les différentes parties de la Rotonde et j'ai exporté le tout dans Virtools.

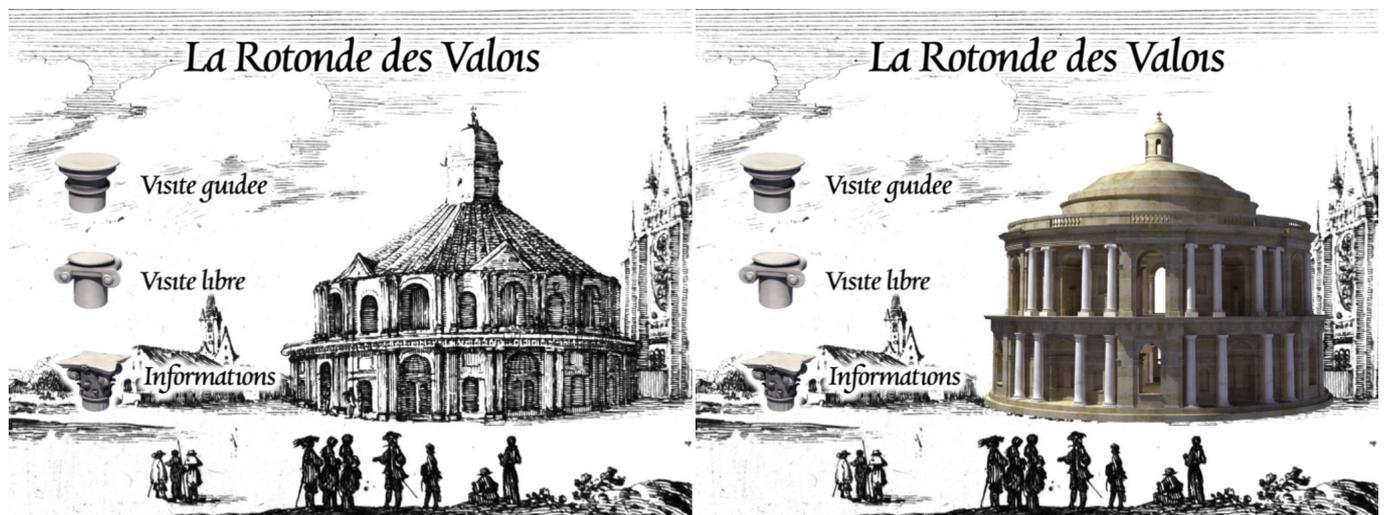


Capture d'écran de la Rotonde avec les textures bakées (cf illustration ci-dessus) dans Virtools

Menu Principal

L'idée de la partie interactive de mon projet était de proposer différentes approches de la Rotonde, afin de voir ce qui était adapté à plusieurs types de public. La première chose qui est importante pour que tous puissent visiter la Rotonde, d'une manière ou d'une autre, est d'avoir une interface suffisamment jolie et accessible.

J'ai travaillé en ce sens. Il fallait d'une part un graphisme agréable, et d'autre part que les réactions de l'application aux différentes interactions soient logiques, simples et efficaces. Dès l'arrivée sur le menu et par la suite dans les différentes parties, une musique assez douce donne l'ambiance de la visite. Il s'agit des « Vespres » de Monteverdi, compositeur de la même époque que la Rotonde. (1567-1643)



A gauche, interface de base, à droite, interface quand on survole un bouton

J'ai choisi comme fond de l'interface une gravure contemporaine à la Rotonde, les icônes des différentes parties correspondant aux chapiteaux des différents ordres présents sur cet édifice. Quand on survole un bouton, la Rotonde que j'ai reconstituée apparaît progressivement, et elle disparaît de la même manière quand on n'est plus au dessus d'aucun bouton. Quand on clique sur un bouton, les icônes disparaissent un à un, puis le fond s'efface et on arrive dans la partie choisie.

Visite Guidée

La visite guidée est la première possibilité de visite virtuelle. Elle permet de découvrir la Rotonde de manière très simple. Il s'agit d'une visite commentée. On commence à un point de vue donnée, un petit texte explicatif accompagnant l'image. Ensuite on peut aller au point de vue suivant en cliquant sur la flèche de droite. La caméra se déplace doucement jusqu'à s'arrêter à un autre point fixe avec un texte explicatif. On peut également revenir en arrière.

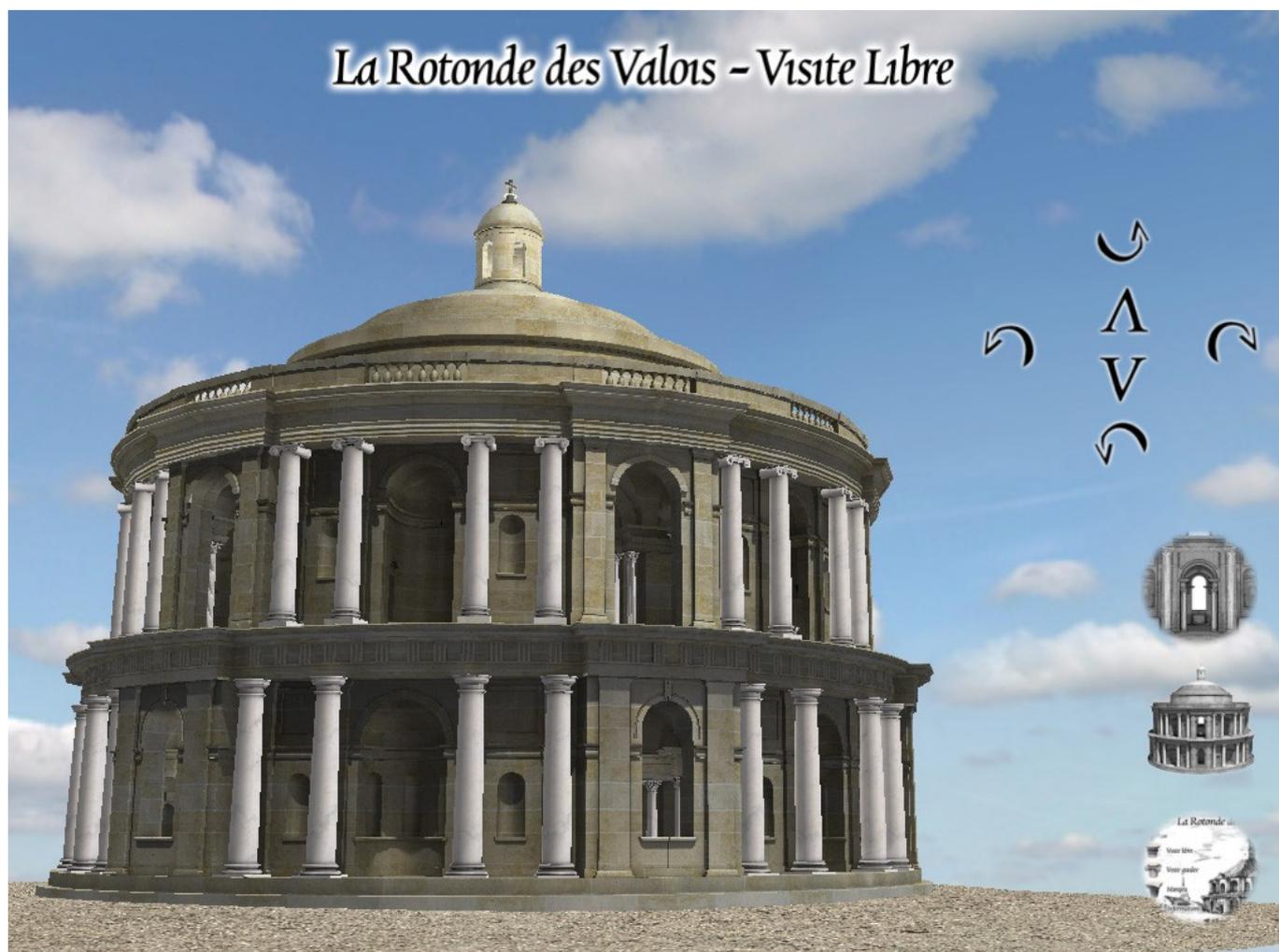


Le déplacement de la caméra se fait à partir de deux courbes : une première qui indique le trajet de caméra et une seconde qui détermine le trajet de la cible de la caméra. Un tableau contient, pour chaque étape :

- la position de la caméra sur la courbe (pourcentage de progression)
- la position de la cible
- le temps mis pour parcourir le trajet entre cette position et la suivante
- le texte décrivant la scène.

Une visite guidée linéaire me semble tout à fait adaptée pour des novices en informatique. C'est le mode le plus simple et aussi le plus proche d'une véritable visite de musée.

Visite Libre



Pour la visite libre, j'ai choisi de distinguer visite extérieure et visite intérieure. On choisit cela grâce aux icônes situées en bas à droite de la fenêtre.

La première icône permet d'accéder à la visite libre intérieure, la seconde à la visite libre extérieure, et la troisième permet de revenir au menu principal.

La visite libre intérieure correspond à une visite de la Rotonde très proche de ce qu'aurait pu voir un visiteur réel dans le bâtiment. La caméra se déplace en effet à la hauteur des yeux, c'est-à-dire environ 1m70 du sol. Pour passer à l'étage, il faut emprunter l'escalier, qui continue également jusqu'au toit. Dans la mesure où l'escalier du rez-de-chaussée est bien caché, j'ai rajouté une petite icône d'escalier pour faciliter ce déplacement, ainsi qu'aux autres étages. Il s'agit d'une *3D sprite*, une fenêtre 2D positionnée dans la scène et qui suit l'orientation de la caméra.



Le menu avec des flèches, en haut à droite, permet de se déplacer dans la Rotonde. Il y a également la possibilité de se déplacer au clavier avec les touches de déplacement habituelles : z pour avancer, s pour reculer, q pour tourner à gauche, d pour tourner à droite, flèche du haut pour tourner la caméra vers le haut, flèche du bas pour tourner la caméra vers le bas. Pour pouvoir utiliser le mode au clavier, il faut préalablement appuyer une fois sur la touche c.

La visite libre extérieure est assez simple : on se déplace en tournant autour de la Rotonde. On peut également s'éloigner et monter ou descendre la caméra. Ces mouvements se font grâce à la petite interface ci dessous, positionnée en bas à droite de l'écran :



J'ai travaillé sur la sensibilité de la caméra en fonction de la distance. En effet si la caméra se déplace ou tourne à la même vitesse quand on est collé à la Rotonde que quand on est à 50 m, on a l'impression que la caméra bouge très vite quand on est proche, et très doucement quand on est éloigné. Pour éviter ce problème, j'ai fait un script qui récupère la distance entre le centre de la Rotonde et la caméra, et je transforme ce paramètre d'après cette formule : vitesse de déplacement de la caméra = $\text{distance}^2 / 1250$. Ainsi, plus on est loin de la Rotonde, plus la caméra se déplacera vite, et plus on est proche plus elle se déplacera doucement. C'est beaucoup plus agréable pour naviguer dans la scène.

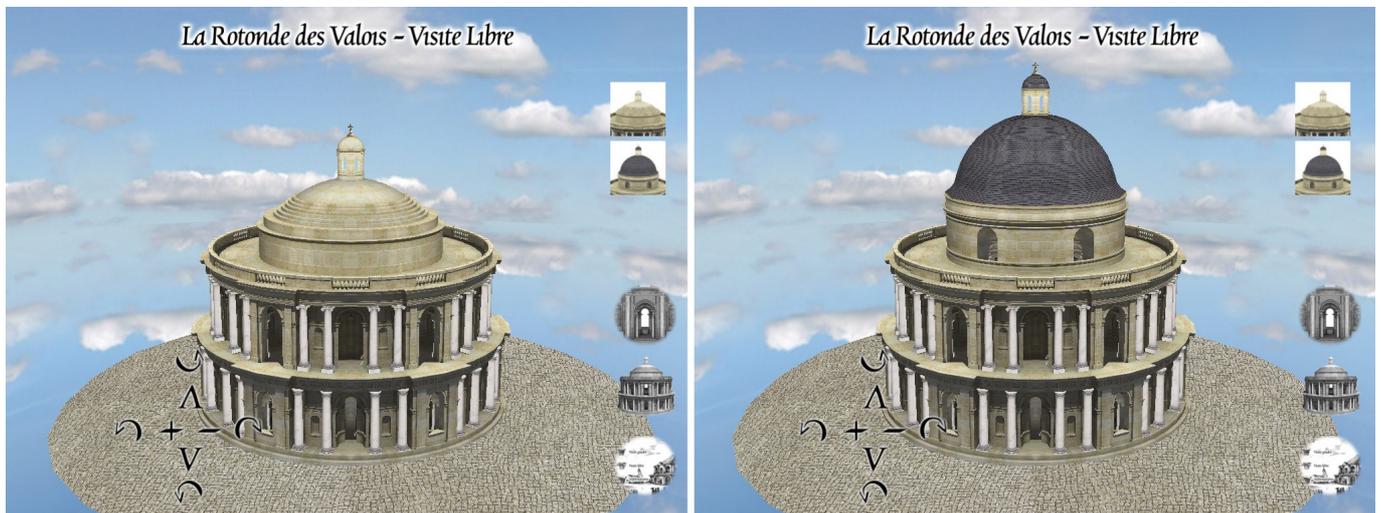
Concernant la caméra de la visite libre extérieure, j'ai également travaillé sur un autre problème : les limites. Dès qu'on se déplace vers le bas, ou qu'on tourne la caméra vers le bas, la distance par rapport au sol est testée. De la même façon, dès qu'on se rapproche de la Rotonde, le script teste si on n'est pas trop proche : on doit rester à l'extérieur. Le dernier test effectué est celui de l'angle de rotation : la caméra peut tourner jusqu'à avoir la tête en bas, mais pas au delà, on ne peut pas faire un tour complet.



Limite supérieure de rotation dans la Visite Libre Extérieure

Interactivité

Pour montrer un exemple de ce que l'interactivité permettait dans le cadre d'une reconstitution, j'ai souhaité présenter l'exemple du toit, où il existe deux hypothèses non vérifiées. D'une part, celle de Marot et d'autre part celle de Mme Frommel et de son équipe.



Dans la visite libre extérieure, on a donc deux boutons qui permettent de sélectionner le toit qu'on veut. Ainsi chacun peut voir de manière assez réaliste les deux hypothèses sous tous les angles.

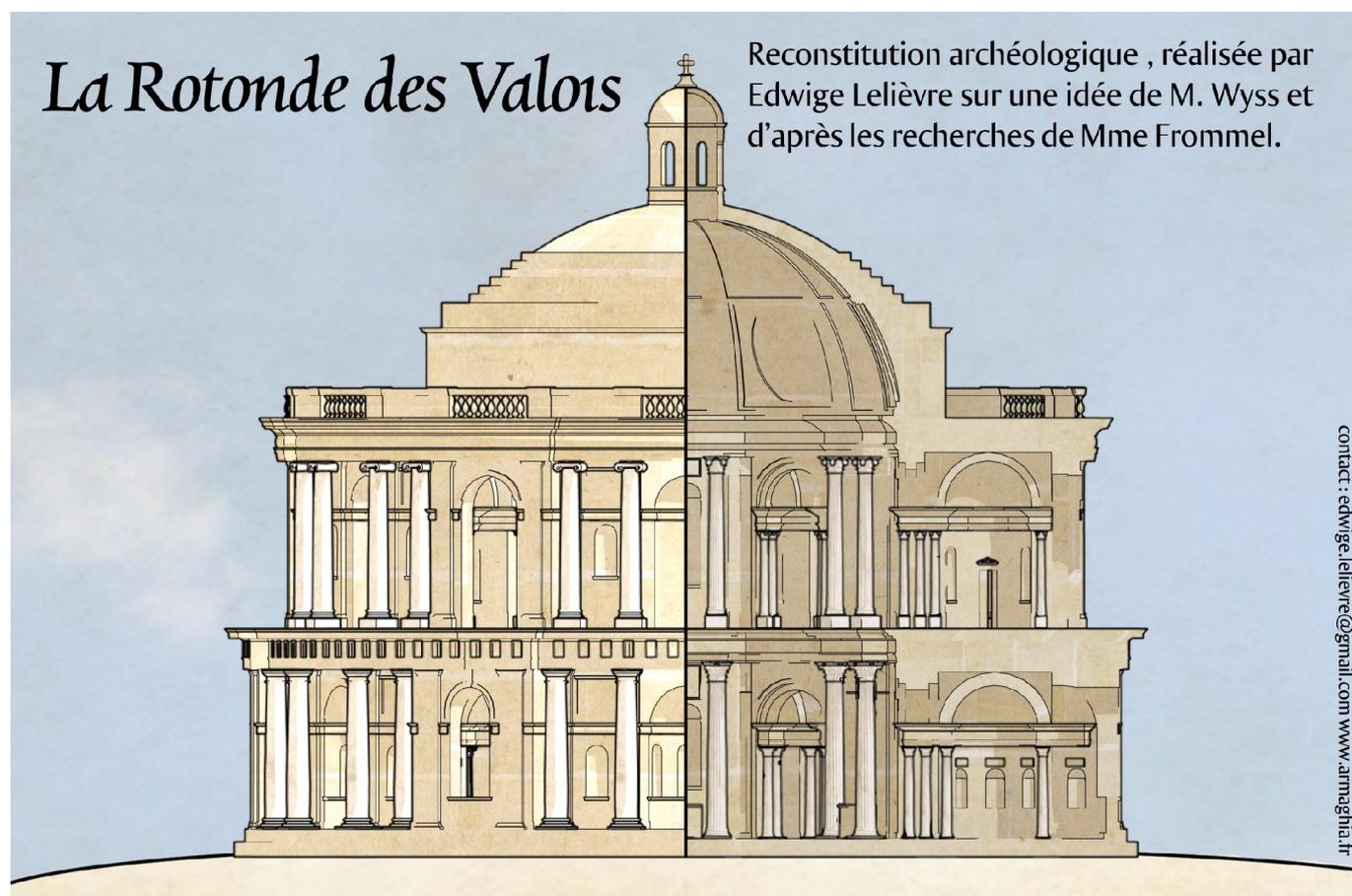
D'autres hypothèses à propos de la Rotonde pourraient être ainsi montrées par la suite. Comme par exemple les couleurs des marbres des colonnes.



5. 3. Affiche

Une autre possibilité de diffusion d'une reconstitution archéologique en 3D est bien sûr l'image fixe, imprimée ou non. Ce support a l'avantage d'être simple à mettre en place, facile d'accès et il permet de « tricher » encore bien plus que les autres types de diffusion : on peut aisément, une fois l'image 3D rendue, la retoucher en 2D ou mélanger plusieurs images.

Les options de rendus sont nombreuses : on peut choisir un rendu réaliste (dans le même genre que l'animation) ou quelque chose de très différent, plus « cartoon », qui permet plus de lisibilité et donne un aspect plus illustratif à l'image. C'est ce que j'ai choisi pour réaliser mon affiche.



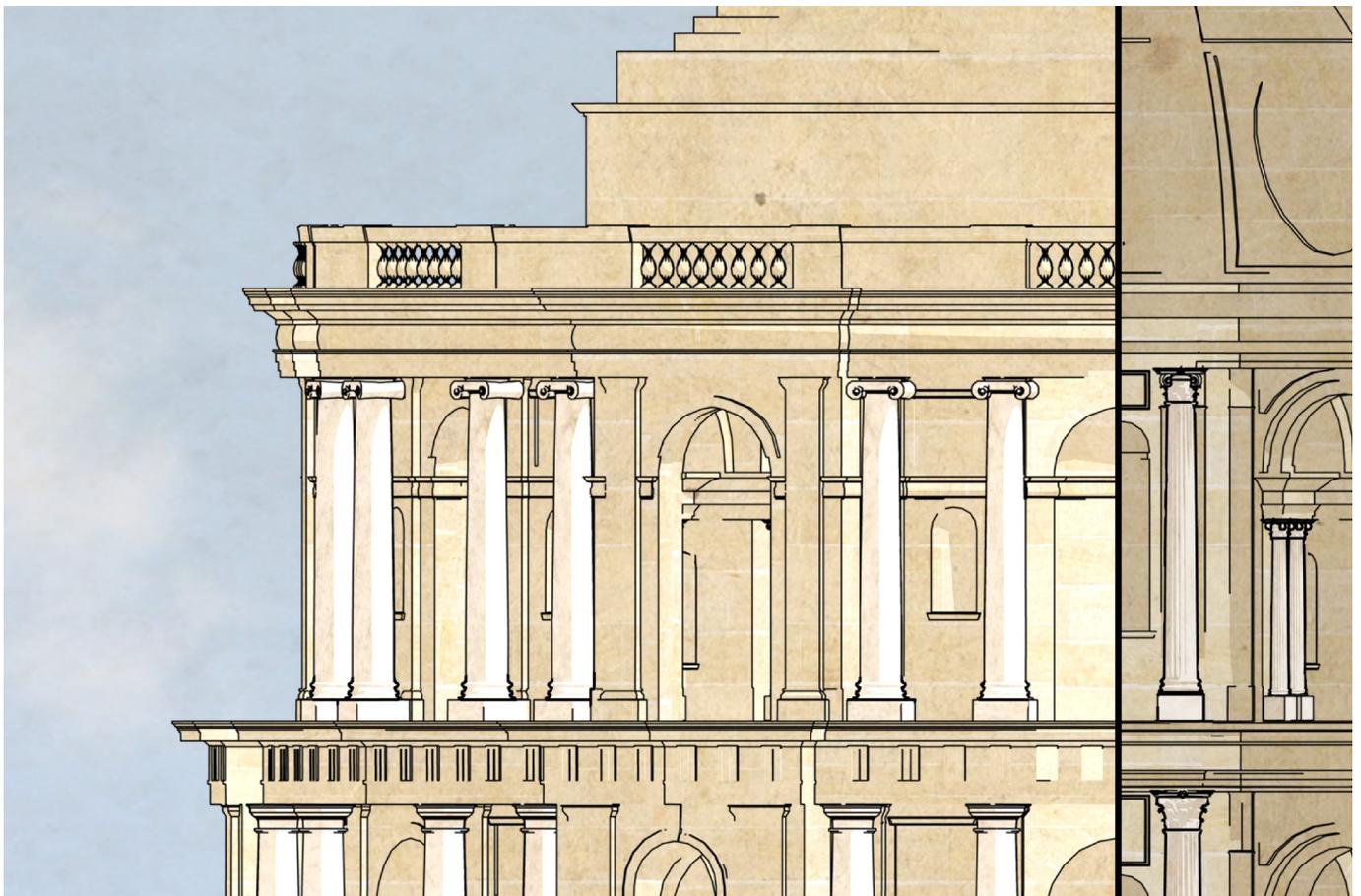
Le rendu a été réalisé en très haute résolution pour avoir une belle qualité d'impression en A2 (7000*4700px). La partie gauche représente la Rotonde vue de l'extérieur et la partie droite, la Rotonde vue de l'intérieur. Cette image a été calculée à partir d'une caméra orthographique (pas en perspective). Ainsi, il n'y a pas de déformation, pas de diminution avec la distance, ce qui ressemble à un plan architectural en 2D.

Cette image est composée :

- d'une passe de couleur de style cartoon, réalisée grâce au matériau Maya ShadedBrightnessShader.

A la place d'avoir deux aplats de couleurs pour chaque matériau toon, j'ai mis deux textures, donc seule la luminosité variait : à la place du blanc, j'ai mis une texture de marbre clair et à la place du gris la même texture de marbre, mais plus foncée. De même pour les murs.

- de deux passes de rendu de contour mental ray (cf annexe) que j'ai mélangées dans Photoshop
- d'un fond et de textes réalisés dans Photoshop. L'ensemble de l'image a également été retouché en colorimétrie, mais surtout au niveau de la matière : j'ai utilisé des textures de parchemin en incrustation. Cela permet d'avoir plus de matière, moins d'uniformité dans le grain et également une colorisation plus homogène.



6. Conclusion

La reconstitution de la Rotonde a été un projet étonnant et très riche. De la rencontre avec M. Wyss, Mme Frommel au dialogue avec le Primatice et son oeuvre, tout a été extrêmement intéressant.

La reconstitution 3D et sa diffusion m'ont confrontée à de nombreuses difficultés pratiques. Cependant, la technique, au service de l'archéologie et de l'histoire de l'art, doit être humble et passer au second plan. Il faut éviter la fantaisie, comprendre les documents, les suivre le plus précisément possible. Le dialogue avec les archéologues et les historiens de l'art est très important pour cela, car seuls des spécialistes peuvent avoir cette précision. Les problèmes que j'ai eus ont permis de vérifier des hypothèses de Mme Frommel, mais également de poser d'autres questions, encore irrésolues. Ainsi, l'infographie 3D se met au service des chercheurs en archéologie et en histoire de l'art.

La part de création de l'infographe là-dedans est mince, mais cependant importante : il s'agit de la manière de présenter, mettre en valeur la reconstitution. De l'éclairage au choix des plans de caméra, du montage à l'interface en temps réel, j'ai souhaité mettre avant toute la 3D au service d'un artiste et de son oeuvre.

Si j'avais choisi la Rotonde initialement pour des aspects pratiques et l'utilité que cette reconstitution pouvait avoir, je me suis rendue compte en la recréant, de la beauté de cet édifice. J'espère que mon travail permettra à d'autres d'apprécier ce qui m'est apparu comme un chef d'oeuvre. Ainsi l'injustice faite à son auteur, qui n'a pu voir que le début de sa construction, et à son oeuvre, jamais achevée, sera peut être quelque peu réparée.

7. Bibliographie

7. 1. Rotonde des Valois

- *Il mecenatismo di Caterina de' Medici: poesie, feste, musica, pittura, scultura, architettura*, sous la direction de S. Frommel et G. Wolf, Marsilio, 2008
- *Francesco Primaticcio architetto*, sous la direction de S. Frommel (avec la collaboration de F. Bardati), Electa, 2005
- *Atlas historique de Saint Denis, des origines au XVIIIe siècle*, sous la direction de M. Wyss, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1996
- *Mémoires de la Société de l'Histoire de Paris et de l'île de France, vol III, Sépulture des Valois à Saint Denis*, A. de Boislisle, 1876
- *Histoire de l'Abbaye Royale de Saint Denys en France*, Dom Michel Félibien, Editions du Palais Royal, 1706

7. 2. Reconstitution archéologique et infographie 3D

- *Ainsi prit corps la dame de Florès*, Emilie Rauscher, *Science & Vie* n°1086, 2008
- *Learning Autodesk Maya 2008, The Special Effects Handbook*, Marc-André Guindon, Autodesk, 2007
- *La 3D résout le mystère de la Grande Pyramide*, Mehdi Tayoubi, Dassault Systèmes, 2007
- *Réalité Virtuelle et réalisme infographique dans la reconstitution assistée par ordinateur*, Thèse de Pascal Dufresne, Université Bordeaux III, 2004
- *Les applications de l'infographie 3D à l'archéologie*, mémoire de maîtrise d'Albain-Brice Pimpaud, Université Paris X Nanterre, 1998-1999
- <http://www.jhavna.net/main.php> : site web avec différents tutoriaux dont un traitant des rendus de contours dans mental ray avec d'anciennes version de Maya (5.1)

7. 3. Jeux

- *Civilization 4*, Firaxis Games, Take Two Interactive, 2005
- *Caesar 3*, Impressions Games, Sierra, 1998
- *Versailles 1685 : Complot à la Cour du Roi Soleil*, Cryo Interactive, Cana + Multimedia, 1997

7. 4. Filmographie

- *Astérix aux jeux olympique*, Thomas Langmann et Frédéric Forestier, 2008
- *Alexandre*, Oliver Stone, 2005
- *Gladiator*, Ridley Scott, 2000

8. Annexes

8. 1. Lexique : Infographie 3D

After Effects : Il s'agit d'un logiciel de post-production qui permet de faire des animations en 2D (et même en simili 3D depuis peu), des réglages de luminosité et de la colorimétrie sur des suites d'images et différents effets spéciaux (particules, motion blur, ...).

Baking des lumières/textures : Le baking des lumières consiste à précalculer la lumière dans un logiciel de 3D (par exemple Maya) pour l'imprimer sur une texture, et qu'on puisse avoir un bel éclairage, qui sera cependant fixe, en temps réel. (cf partie Supports, Interactivité, Préparation de la modélisation et des textures du mémoire)

Bump : Le bump est un effet qui permet de simuler un relief à partir d'une image en noir et blanc. Le blanc correspond aux bosses et le noir aux creux. Cet effet est moins précis qu'une normal map, il faut donc l'utiliser avec légèreté. Une lumière avec des ombres permet d'obtenir un meilleur rendu.

Dépliage d'UVs : Les UVs sont les coordonnées de texture des objets. Chaque point de l'objet a des coordonnées UVs, en plus de ses coordonnées spatiales, x, y et z. Ces coordonnées permettent aux logiciels 3D et aux moteurs de rendu d'appliquer correctement des textures à un objet 3D. Déplier les UVs signifie déplacer ces UVs de manière à ce que les textures s'appliquent correctement dessus : idéalement, chaque face en UV doit avoir un aspect proche de son aspect en 3D. (cf Reconstitution de la Rotonde en 3D, Textures)

Final Gather : Le Final Gather est une option de rendu avancée qui permet de donner une ambiance colorée à une scène. Cela simule de la lumière réelle, où les photons rebondissent sur les couleurs des objets, et les transmettent, de manière assez rapide.

Maya : Maya est un logiciel de 3D polyvalent de la société Autodesk (anciennement Alias). La version utilisée pour ce projet est Maya 2008. Il permet de créer des images à partir d'une scène 3D, des films d'animation en 3D, des effets spéciaux et d'exporter des éléments en 3D pour des jeux vidéo, et des applications temps réel en général.

Moteur de rendu : Un moteur de rendu est une application, interne ou externe à un logiciel de 3D, qui permet de calculer des images et donc des films. Exemples de moteur de rendu : *Maya Software, Vray, Renderman, Mental ray...* Il existe également des moteurs de rendu temps réel, comme les moteurs qui servent à afficher les jeux en 3D temps réel, par exemple : *Unreal Engine, Virtools...*

Mental Ray : Mental Ray est un des moteurs de rendu compris dans Maya. Il permet de calculer des effets complexes comme l'*occlusion*, le *final gather*, l'illumination globale à base de photons, l'*IBL (image based lighting)*... De plus il permet d'avoir une très belle qualité d'image par sa gestion des couleurs et de l'anti crénelage.

Normal maps : Les normal maps modifient les informations de normales de l'objet sur lequel elles sont appliquées. Elles permettent donc de donner des informations au moteur de rendu (précalculé ou temps réel), sur la façon dont l'objet doit réagir à la lumière. Cela permet de donner une impression de relief assez convaincante.

L'image à côté montre la comparaison d'une colonne avec un relief modélisé (Mesh High Poly), et une colonne créée à partir d'un mesh très simple (Mesh Low Poly), dont le relief est créé par des normal maps (Mesh Low Poly avec normal maps)



Occlusion : L'occlusion, ou *ambient occlusion* est un effet qui donne une image blanche qui est assombrie en fonction de la distance entre les objets. Cela permet de mettre en valeur le relief et de donner l'impression que les objets sont posés. En effet, un objet posé sur le sol va ombrer le sol et la base de l'objet, de manière assez réaliste. Cette passe de rendu est parfois utilisée seule, mais elle est généralement utilisée en complément d'une passe de diffuse. (cf partie Supports, Animation, Rendu)

Paint Effects : Les Paints Effects sont des effets spécifiques à Maya et au moteur de rendu Maya Software. Ils permettent de peindre directement sur un objet dans la scène 3D, et également des rendus non réalistes comme les rendus toon.

Passes de rendu : Quand on calcule une animation, ou une image de qualité, il est habituel de séparer les effets en plusieurs images ou suites d'images, qu'on combine ensuite (dans Photoshop pour de l'image fixe ou dans After Effects pour de l'animation). On peut par exemple faire une passe avec les lumières, une passe avec les ombres, une passe avec l'occlusion... De la même façon, on fait parfois une passe par plan quand la scène est complexe ou que les rendus doivent être différents. On aura alors une passe pour le premier plan, le second plan, ... et l'arrière plan.

Polygones : Les polygones sont les facettes formant le maillage d'un objet 3D polygonal. Par exemple, un cube est constitué de six polygones à 4 côtés. On compte généralement le nombre de polygones d'un objet en triangles, car c'est le plus petit polygone possible. Ainsi on peut dire qu'un cube fait 12 triangles, et pas habitude de langage, 12 polygones, quand on ne précise pas le nombre de côtés.

Texture bouclée : Une texture bouclée a la particularité de pouvoir se répéter à l'infini sans qu'on voit de coupure entre les différents morceaux de la texture. Certains logiciels permettent de boucler automatiquement une texture (the Gimp par exemple) mais la solution la plus courante pour boucler une texture consiste à utiliser un filtre de décalage dans Photoshop et d'effacer les coupures à l'aide d'un tampon de duplication par exemple.

Virtools : Virtools est un logiciel semblable à un moteur de jeu vidéo, qui permet de faire des applications interactives en 3D temps réel. De nombreuses fonctions sont déjà écrites, ce qui permet d'aller vite quand on veut faire des programmes classiques. Virtools a la particularité d'être utilisé à la fois dans le jeu vidéo et dans la réalité virtuelle, domaine où il existe très peu de concurrence.

8. 2. Lexique : Architecture

Abside : L'abside est la partie qui termine le chœur d'une église, soit par un hémicycle, soit par des pans coupés, soit par un mur plat. Elle est située à l'arrière du chœur et est généralement orientée vers l'est.

Coupe : Plan qu'on suppose couper une construction pour en voir les mesures et détails intérieurs.

Cul de four : Il s'agit d'une voûte en forme de quart de sphère surmontant généralement une abside quand elle a une forme d'hémicycle.

Dodécagone : C'est un polygone à 12 sommets et côtés. La Rotonde est un dodécagone régulier.

Élévation : Projection orthogonale sur un plan vertical parallèle à une face des parties extérieures d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage.

Entablement : On appelle entablement la partie horizontale appuyée sur les colonnes. Il est composé d'un architrave, d'une frise et d'une corniche.

Lanternon : Une lanterne est une tourelle ajourée, souvent garnie de colonnettes, surmontant un dôme éclairant un édifice par le haut. On parle dans le cas d'une petite lanterne de lanternon.

Mausolée : Un mausolée est un tombeau monumental. Il doit son nom au tombeau de Mausole qui est appelé le Mausolée d'Halicarnasse, qui était une des sept merveilles du monde et est à présent disparu.

Ordre architectural : Les ordres en architecture déterminent les proportions, les formes et l'ornementation des colonnes, pilastres, supports et entablements. Dans la Rotonde, 4 ordres sont représentés : l'ordre dorique, l'ordre ionique, l'ordre corinthien et l'ordre composite.

Pilastre : Un pilastre est un support carré terminé par une base et par un chapiteau. Un pilastre est incrusté dans un mur tandis que le pilier est un élément isolé. Tous deux sont des éléments porteurs et parfois décoratifs.

Plan : Vue de dessus

8. 3. Rendu Batch

Le rendu en batch de base, (en mode Rendering, Render, Batch Render) permet de gagner un peu de performance car l'image qui est calculée n'est pas affichée en même temps qu'elle est calculée. Le rendu utilisant des batch.bat est encore plus intéressant car il ne nécessite même pas d'avoir lancé Maya, il suffit que le logiciel ait été installé sur la machine.

De plus, un rendu en batch.bat permet de lancer plusieurs rendu à la suite, de facilement reprendre un calcul arrêté sans modifier quoi que ce soit dans Maya.

Pour créer un batch.bat il faut créer un fichier texte et le renommer de manière à avoir une extension en .bat (par exemple au lieu de rendu.txt, il faut mettre rendu.bat, le premier mot n'ayant pas d'importance). Ainsi, on a un fichier exécutable. Pour l'éditer, il faut l'ouvrir dans le bloc note ou Textpad par exemple.

La commande de base est :

```
render mascene.mb
```

Il ne faut mettre ni point virgules à la fin de la ligne, ni d'accents dans le nom de fichier. Dans ce cas, maya va rendre la scène en prenant les paramètres de rendu contenus dans le fichier mascene.mb

Quand on clique sur le fichier rendu.bat, une fenêtre noire s'ouvre. Elle se ferme d'elle même quand le rendu est fini. On peut interrompre le rendu en fermant cette fenêtre. Les images ainsi calculées seront écrites dans le répertoire choisi dans le projet.

Les différentes options que l'on souhaite paramétrer dans le batch doivent obligatoirement se placer entre *render* et le nom de la scène. L'ordre des options n'a par contre pas d'importance. Les options données dans le batch écraseront celles données par le fichier.

Par exemple, on peut donner l'image de début de calcul et l'image de fin :

```
render -s 1 -e 25 mascene.mb
```

L'option *-s* correspond à l'image de début (start) et l'option *-e* à l'image de fin (end)

Si on veut rendre une scène avec Mental Ray, il faut obligatoirement le préciser :

```
render -r mr mascene.mb
```

Le paramètre *-r* correspond au moteur de rendu, *mr* est l'abréviation de mental ray.

Voilà un exemple très complet d'une ligne de rendu batch avec de nombreuses options :

```
render -s 10 -e 50 -r mr -rl layerOcclu -im occlu -of tif -cam  
camera1 -x 1024 -y 768 mascene.mb
```

Exécuter cette commande rendra "mascene.mb" de l'image 10 à l'image 50 avec mental ray, dans le layer nommé "layerOcclu", sous le nom occlu au format tif, avec la caméra1 et en résolution 1024*768.

On peut naturellement mettre plusieurs lignes de commande batch à la suite. Voici un exemple tiré de mon projet.

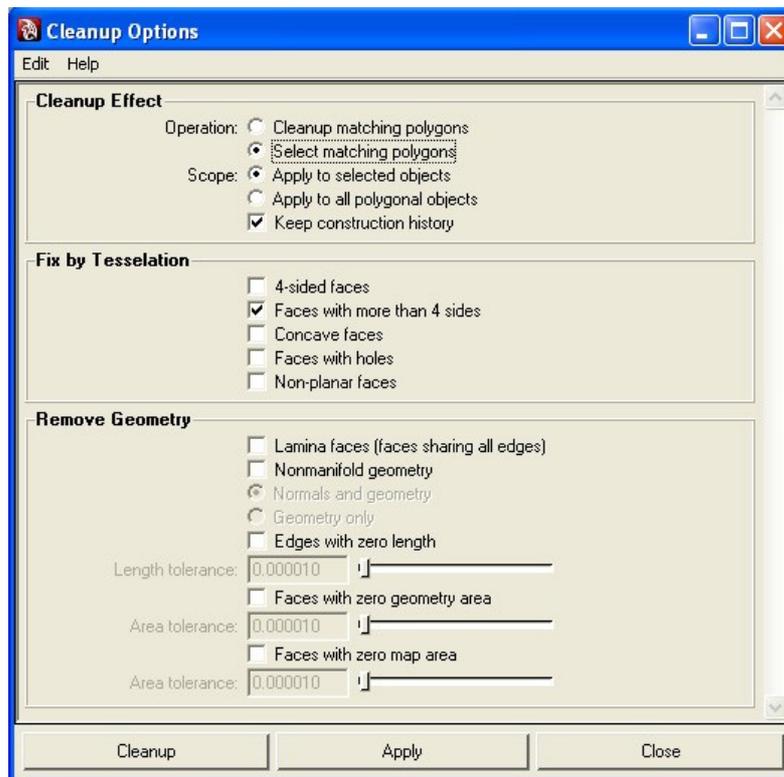
```
render -r mr -cam cameraAnimatique4 -s 1 -e 82 -im occluPlan4 -of  
tif K4renduOcclu.mb  
render -r mr -cam cameraAnimatique3 -s 1 -e 123 -im occluPlan3  
-of tif K3renduOcclu.mb  
render -r mr -cam cameraAnimatique4 -s 1 -e 82 -im occluPlan4 -of  
tif K3renduOcclu.mb
```

Pour obtenir la liste de toutes les options possibles pour le batch, il faut taper `render -help -r mr` (pour Mental Ray) ou `render -help -r sw` (pour Maya Software) dans l'invite de commandes de Windows.

8. 4. Cleanup

Le cleanup est un outil de Maya qui permet de vérifier la propreté d'une modélisation, et éventuellement de la nettoyer. C'est essentiel quand on modélise pour du temps réel, où les erreurs ne pardonnent pas, mais cela peut aussi être très utile pour la 3D précalculée, car un maillage propre et bien déplié évite de nombreux bugs.

En mode *Polygons* (ou *Modeling* dans les versions antérieures de Maya), on trouve cet outil dans le menu *Mesh*.



Le paramètre *Operation* en haut est essentiel car il permet de choisir si on veut que le cleanup nettoie les problèmes de notre maillage (*cleanup matching polygons*) ou bien si on souhaite qu'il montre simplement ce qui ne va pas (*select matching polygons*). Je conseille de travailler en *Select* car c'est le plus propre. Les options de *Scope* n'ont pas besoin d'être modifiées à priori. Ensuite, il y a différentes options, correspondant à différents problèmes plus ou moins graves. Il est recommandé de les tester toutes une par une quand on a un bug, afin de pouvoir identifier précisément le problème.

Voilà les options qui me semblent les plus importantes

- *Faces with more than 4 sides* : cette option permet de sélectionner les faces à 5 côtés ou plus. Ce type de maillage est à exclure absolument que ça soit pour de l'animation ou du temps réel, cette vérification doit donc être faite régulièrement.
- *Nonmanifold geometry* : un maillage *nonmanifold* correspond une arête (edge) menant à 3 faces au lieu de deux. (par exemple, cela arrive quand on fait une extrusion d'une arête qui est déjà reliée à deux faces) Cela aussi peut provoquer de gros bugs.
- *Faces with zero geometry area* : Il s'agit d'une face qui n'a pas d'épaisseur, est généralement cachée sur une arête. Cela peut subvenir suite à des extrusions non déplacées. Cela peut faire bugger le smooths, l'export vers un autre logiciel et rendre très pénible le dépliage d'Uvs et le *skinning*.
- *Faces with zero map area* : Une face qui est sélectionnée avec cette option n'aura pas ses Uvs dépliés (elle formera soit un ligne soit un point dans l'*UV texture Editor*). C'est moins grave que les autres problèmes vues au dessus, mais cette option peut être bien pratique quand on déplie pour voir ce qui n'a pas encore été déplié.

Une fois qu'on a sélectionné l'objet que l'on veut tester, l'option que l'on souhaite, il suffit de cliquer sur cleanup (qui ferme la fenêtre) ou apply, qui permet de continuer de tester d'autres options. Une fois qu'on a cliqué sur un des deux boutons, soit des faces et des arêtes sont sélectionnées, ce qui signifie qu'on a un problème correspondant aux options sélectionnée, soit aucune face ni arête n'est sélectionnée, ce qui signifie que l'objet est propre.

8. 5. Rendu de contour dans Mental Ray

Le rendu de contour dans Mental Ray a plusieurs avantages : il est très rapide à calculer, même pour de grandes résolutions et surtout, il est très paramétrable, ce qui permet de réellement choisir quels contours on veut obtenir.

En contrepartie, ce type de rendu est très complexe à mettre en place. Si les étapes ne sont pas bien suivies, on peut bien sûr n'avoir aucun contour, mais également faire se fermer le logiciel de manière involontaire et sans qu'aucune sauvegarde soit possible (plantage). Pensez donc à sauvegarder vos tests de rendu de contour dans un nouveau fichier. Ce tutorial fonctionne avec Maya 2008.

1/ Créer un shader mental ray. Allez sur son shading group, dans la partie mental ray :

- cocher « Suppress all maya shaders »
- ajouter contour shader (simple par exemple) en bas. On peut choisir sa couleur et son épaisseur.

2/ Créer une camera. Dans mental ray => primary output pass => secondary output pass mettre le contour composite (ou contour only) de la catégorie « contour output ». Le node « contour composite » permet d'avoir l'objet et son contour, « contour only », le contour uniquement.

Attention, si vous avez choisi un contour noir, pensez à mettre un environnement de couleur différent (blanc par exemple).

3/ Paramétrer mental ray :

a/dans l'onglet contours :

- cocher « enable contour rendering »
- mettre over sample à 3
- choisir le gaussian filter
- mettre le filter support à 2

b/en bas dans custom shader, mettre contour_contrast_function_levels et contour_store_function (pas simple !)

Ensuite on peut paramétrer le node `contour_contrast_function_levels`. Voilà un exemple de paramètres qui fonctionnent correctement pour la Rotonde :

- `zdelta 1.0`
- `ndelta 10.0`
- cocher `diff mat` et `diff label`, décocher les autres options

Il est conseillé de faire plusieurs tests afin d'obtenir les contours que l'on souhaite. De nombreuses possibilités existent : juste le contour des objets, le contour des objets de matériaux différents, le contour de chaque polygone, le contour en fonction des angles et des normales...

NB : Ce tutorial a été réalisé d'après le site <http://www.jhavna.net/main.php>, je l'ai cependant beaucoup modifié car celui présent sur ce site n'est pas très à jour : il a été réalisé avec Maya 5.1.