

Mémoire de fin d'études : "Reconstitution de l'atmosphère dans la Tombe de Sennefer avant la condamnation de l'hypèthre"

Auteur : Sadzot, Philippe

Promoteur(s) : Hallot, Pierre; Laboury, Dimitri

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/9136>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



UNIVERSITÉ DE LIÈGE – FACULTÉ D'ARCHITECTURE

Reconstitution de l'atmosphère dans la Tombe de Sennefer avant la condamnation de l'Hypèthre

(Réalisation d'un modèle virtuel de la TT96 sur base d'un maillage issu d'un nuage de points, intégrant des orthophotos et prenant en compte l'orientation et la lumière naturelle)

Travail de fin d'études présenté par Philippe SADZOT en vue de l'obtention du grade de
Master en Architecture

Sous la direction de : Pierre HALLOT et Dimitri LABOURY

Année académique 2019-2020

Axes de recherche : Numérique Patrimoine Archéologie



Remerciements

Je remercie tout d'abord Pierre Hallot et Dimitri Laboury qui m'ont permis de réaliser l'un des mes plus grands rêves : aller en Égypte et explorer une partie de ses mystères.

Je remercie Romuald Bianchi pour l'aide qu'il m'a apportée dans mes débuts avec les logiciels de traitement des nuages de points et la manière de construire des maillages.

Ensuite je remercie Nicolas Massaux pour tous les conseils qu'il m'a donné dans l'utilisation de Blender et sa contribution à la production du modèle final.

Je remercie Alexis Den Doncker et Hugues Tavier pour toutes les informations archéologiques qu'ils m'ont fournies, en particulier sur les peintures de la Chapelle de Sennefer.

Pour l'aspect géologique je remercie Jean-Marc Marion, Éric Goemaere, Francis Tourneur, Christian Dupuis et Christina Karlshausen.

Je remercie Gandalf, qui se reconnaîtra.

Enfin je remercie mes parents.

En mémoire de mon grand-père.

Table des matières

1	Introduction	6
2	Formulation de la question	7
2.1	Informations à disposition sur la TT96 au début du travail	8
2.2	Informations relatives à un possible alignement astronomique . . .	15
3	Premiers résultats	19
3.1	Première maquette Sketchup	20
3.2	Stellarium : Analyse des variations célestes à travers les millénaires	25
4	Matériel et méthode	29
4.1	Acquisition des données	30
4.1.1	Lasergrammétrie	31
4.1.2	Photogrammétrie	32
4.1.3	Cellule photosensible	35
5	Traitement, analyse et exploitation des données récoltées sur place	37
5.1	Traitement du nuage de points	38
5.1.1	PointTools	39
5.1.2	Pointcab	40
5.1.3	ReCap	42
5.1.4	CloudCompare	44
5.1.5	ContextCapture	47
5.2	Exploitation du nuage de points pour la fabrication de la maquette 3D	51
5.3	Traitement des orthophotos	52
5.3.1	CloudCompare	53
5.3.2	Utilisation de Gimp et Paint	57
5.4	Exploitation des orthophotos pour la fabrication de la maquette 3D	58
6	Réalisation du modèle 3D	62
6.1	Utilisation de Sketchup et son extension V-Ray	63
6.2	Utilisation de Blender	70
7	Confrontation avec la réalité	75
7.1	Observations de la TT96 et de son contexte	76
7.2	Quelques tombes de la Nécropole thébaine et leurs environs	82
8	Maquette Finale	94
8.1	Maquette de la TT96 en l'état actuel avec libération de l'hypèthre	96
8.1.1	Utilisation de l'outil "Decimate Modifier"	97
8.1.2	Utilisation de l'outil "UV Unwrapping"	103

8.2	Maquette avec les parois lisses, plus proche de ce qui a pu exister dans l'Antiquité, au Nouvel Empire	108
9	Déduction du parcours du visiteur et de la lumière à partir des résultats obtenus avec les modèles virtuels, proposition de mise en scène	115
9.1	Première configuration : Entrée dans la chapelle	117
9.2	Deuxième configuration : Entrée dans la salle longitudinale . . .	117
9.3	Troisième configuration : Entrée dans la salle des piliers complètement illuminée	118
9.4	Quatrième configuration : Entrée dans la salle des piliers illuminée par l'hypèthre	119
10	Conclusion	121
11	Bibliographie	123
12	Annexes	125
12.1	Orthophotos utilisées pour la réalisation du modèle	125
12.2	Résumé des pathologies de la TT96A	148

1 Introduction

La tombe de Sennefer (TT96) à proximité de Louxor est une sépulture typique de l'Égypte du Nouvel Empire, elle a environ 3500 ans. Elle se présente sous deux entités distinctes : les appartements souterrains, constituant la chambre funéraire de Sennefer (TT96B), seuls accessibles au public aujourd'hui. Et la chapelle de surface (TT96A). Cette dernière fait l'objet d'une conservation-restauration des peintures et textes dans le cadre d'une mission conjointe du Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine (CReA-Patrimoine) de l'ULB et de l'Université de Liège .

La TT96B doit sa renommée aux peintures qui ornent son caveau¹. Quand à la chapelle (TT96A) ses proportions monumentales sont elles-aussi remarquables. Son plan prend la forme d'un « T » qui mène à une salle carrée soutenue par quatre piliers, la profondeur de l'ensemble est de 28 mètres et la hauteur sous plafond est de 4 mètres².

À l'origine la chapelle renfermait elle aussi de somptueuses peintures, mais elles ont été fortement dégradées au cours des deux derniers siècles³.

Une des particularités de la TT96 est qu'elle semble avoir été surmontée d'une grande ouverture, un imposte assez large pour pouvoir être qualifié d'hypèthre⁴. Cet hypèthre est la source du présent travail, il s'agit ici d'émettre l'hypothèse de l'existence de cette ouverture et de pouvoir percer à jour la manière dont la lumière naturelle illuminait l'édifice, et retrouver ainsi l'atmosphère⁵ qui régnait dans la tombe de Sennefer lorsque toute la mise en scène était présente⁶. Pour pouvoir répondre à cette question tout un arsenal de techniques et d'outils a été déployé afin de contribuer à la réalisation d'une maquette virtuelle qui soit la plus réaliste possible. Les données qui ont servi à l'élaboration de cette maquette sont très nombreuses et très variées : cela va des croquis, dessins et mesures réalisées à la main depuis la fin du XIX ème siècle, jusqu'aux nuages de points et orthophotos⁷ pour terminer avec l'utilisation d'un grand nombre de logiciels permettant le traitement des données, leur exploitation et leur mise à contribution dans la réalisation d'un modèle virtuel réaliste.

1. VIREY Philippe : "La Tombe des Vignes à Thebes", Recueil de Travaux, Vol. XX, Liv.1, 1898 ; pp.211-223 et Liv.2, pp83-96.

2. La hauteur de la tombe est assez élevée par rapport à la moyenne, elle a été augmentée par Sennefer lui-même, d'après les observations réalisées sur place par l'équipe belge de Laurent Bavay

3. Voir la revue Égypte Afrique & Orient 45, 2007

4. Un édifice hypèthre est découvert, sans toiture. Il y avait dans l'Antiquité des temples hypèthres. On donne parfois ce nom aux impostes de grandes dimensions surmontant la porte d'entrée des temples, impostes qui, fermés de grillages, laissaient pénétrer l'air et la lumière à l'intérieur de l'édifice.

5. Le présent travail s'intéresse à l'atmosphère qui transparait à travers le regard, un seul de nos cinq sens est donc mobilisé, naturellement ce qu'on appelle Atmosphère au sens large regroupe un éventail de sensations beaucoup plus large, ce n'est pas l'objet d'étude de ce travail.

6. Ce travail cherche à répondre à cette question, grâce à cela il sera possible d'aller plus loin et de répondre à d'autres questions : de quelle manière, et dans quel but les architectes égyptiens de l'Antiquité avaient-ils mis en place un tel dispositif?

7. Mesures réalisées par le Professeur Pierre Hallot de l'Université de Liège.

2 Formulation de la question

« J'entre dans le bâtiment, je vois un espace, je perçois l'atmosphère et, en une fraction de seconde, j'ai la sensation de ce qui est là. »

Peter Zumthor⁸

8. Atmosphères, Birkhäuser Verlag, 2008, p. 11.

2.1 Informations à disposition sur la TT96 au début du travail

[H]



FIGURE 2.1 – Entrée de la chapelle de Sennefer.

La chapelle de Sennefer a plusieurs caractéristiques qui semblent indiquer que la lumière du Soleil y jouait un rôle essentiel. Pour commencer sa porte, surmontée d'une large ouverture voir figure 2.1 et aujourd'hui condamnée⁹, est un exemple assez rare parmi les quelques centaines de tombes répertoriées dans la vallée des nobles de la colline de Scheik ab del gourna¹⁰. Cela suggère que cette ouverture devait nécessairement apporter une lumière intéressante pour l'intérieur de la chapelle de Sennefer. On peut la voir comme un matériau, lequel serait actuellement manquant dans l'édifice actuel. La formulation de la question est très simple : sommes-nous en mesure de simuler l'entrée de la lumière dans la chapelle en remplaçant l'hypèthre à son emplacement d'origine¹¹ ? Si oui, alors à quoi ressemblait la tombe lorsqu'elle était baignée de cette lumière naturelle ? En résumé : quel était son atmosphère ? La réponse à cette question est profondément architecturale, mais en plus d'être un "matériau" il y a un aspect symbolique et mythologique qui "transcende" l'architecture. Lorsque l'on sait à quels point les architectes égyptiens de l'Antiquité ne laissaient rien au hasard et encore moins lorsqu'il s'agit d'exploité la lumière du Soleil alors on peut imaginer que de pouvoir retrouver la lumière naturelle dans la chapelle telle qu'elle a pu s'y trouver entraînerait une cascade d'autres questions. Le présent travail ne cherche pas à répondre à ces autres questions, néanmoins elles seront abordées brièvement afin premièrement, de justifier l'utilité de cette étude et aussi dans le but d'inspirer d'éventuelles études qui viendraient nous éclairer sur les différents rôles jouer par la lumière naturelle dans la chapelle.

9. Elle aurait été condamnée par l'équipe de Howard Carter et fermée avec une porte de coffre-fort pour éviter les pillages.

10. KAMPP Friederike : Die thebanische Nekropole, Mainz am Rhein 1996, pp.360-364.

11. Lieu supposé le plus probable en fonction des informations dont nous disposons.

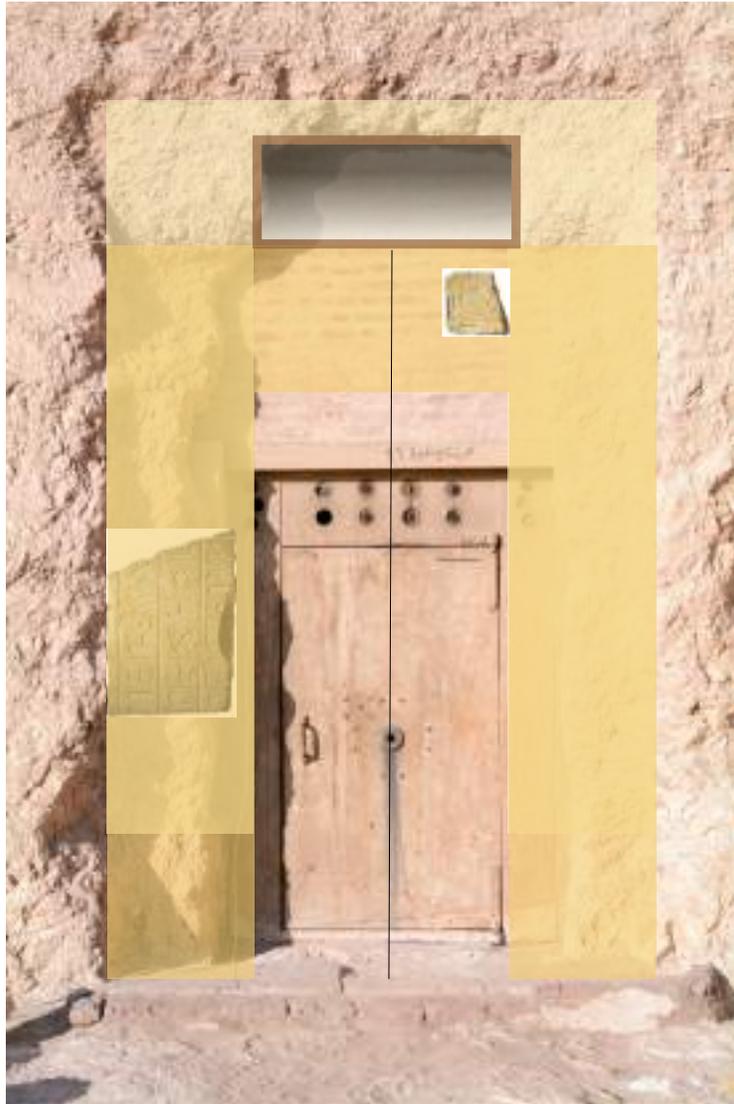


FIGURE 2.2 – Encadrement de la porte de la chapelle surmontée d’un hypèthre, en regardant attentivement cette illustration fournie par Dimitri Laboury, on peut distinguer quelques photos de fragments de pierre de taille avec des textes, ils sont présents au Musée de Berlin, ils semblent provenir de l’encadrement de la porte de la Chapelle de Sennefer.

La base du présent travail, comme mentionné dans l'introduction, repose sur l'hypothèse¹² que la chapelle de Sennefer était encadrée par des pierres monumentales et surmontée d'une large ouverture constituant un hypèthre¹³ qui permettait d'apporter la lumière naturelle qui devait sans doute contribuer grandement à créer l'atmosphère qui régnait dans la TT96A. On se pose naturellement la question de la nature de cet atmosphère, étant donné l'orientation privilégiée de la tombe, située plein EST, et toute la symbolique que cela peut représenter pour les égyptiens de l'Antiquité, le Soleil levant, Ré-Horakhy,¹⁴ était le symbole par excellence du triomphe de la lumière sur les ténèbres. Dans la mythologie égyptienne, comme chacun sait, Râ était le dieu du Soleil, ainsi lorsqu'il apparaissait à l'Est cela signifiait pour les vivants qu'il avait de nouveau triomphé des ténèbres. Pour les défunts cette apparition devait permettre la résurrection¹⁵. Il est donc très probable que les architectes de la chapelle de Sennefer aient joué avec cette orientation, car l'orientation plein Est permet d'avoir une lumière horizontale laquelle est parfaite pour atteindre le fond de la tombe, cette composante essentielle a probablement inspiré la création de l'hypèthre pour la TT96, alors que la grande majorité des tombes ne semblent pas avoir bénéficié d'une telle attention concernant la lumière du Soleil.

12. Hypothèse fortement appuyée par les tombes à proximité immédiate, en témoigne la TT93 pour l'encadrement de porte par exemple, cela sera un peu plus développé dans la section "confrontation à la réalité"

13. Hypothèse soutenue par Dimitri Laboury

14. Ré-Horakhty, symbole de résurrection

15. Voir Le scarabée dans l'Égypte ancienne. Origine et signification du symbole, de Yves Cambefort, 1987



FIGURE 2.3 – Une autre hypothèse, complémentaire à celle de l'hypèthre, est la présence d'une porte en bois au fonds de la salle longitudinale, laquelle était surmontée elle aussi d'une ouverture.

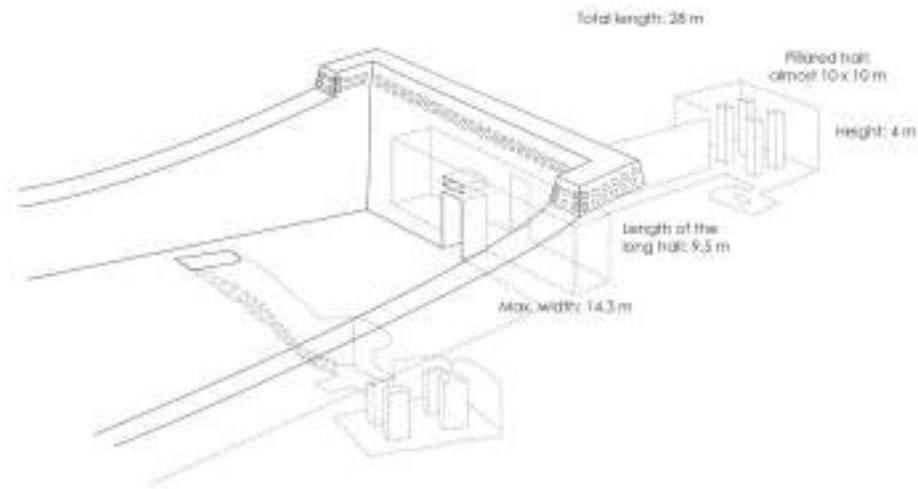
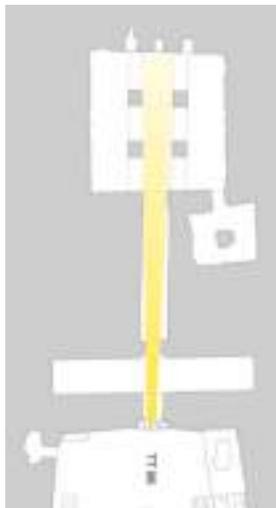


FIGURE 2.5 – Dessin provenant d’une présentation de Dimitri Laboury qui montre schématiquement l’ensemble de la TT96, on peut observer la présence de l’hypèthre supposé.



La figure^a ci-contre montre schématiquement une vue en plan de l’entrée de la lumière dans la tombe. Pour résumer la lumière doit passer l’hypèthre de la porte d’entrée, traverser la salle longitudinale, puis passer au dessus de la seconde porte en bois pour entrer dans la salle des piliers et l’illuminer avec des rayons de lumière directe dans le cas où le Soleil vient de se lever à l’est. Il est intéressant de constater sur ce plan les petits aménagements creusés dans le fond de la tombe qui devaient très probablement accueillir des statues de Sennefer et de son épouse.

^a. Propagation de la lumière à travers l’Hypèthre, dessin provenant d’une présentation de Dimitri Laboury "Recent Research in the Tomb of Sennefer (TT 96A)".

FIGURE 2.6 – Simulation de la lumière

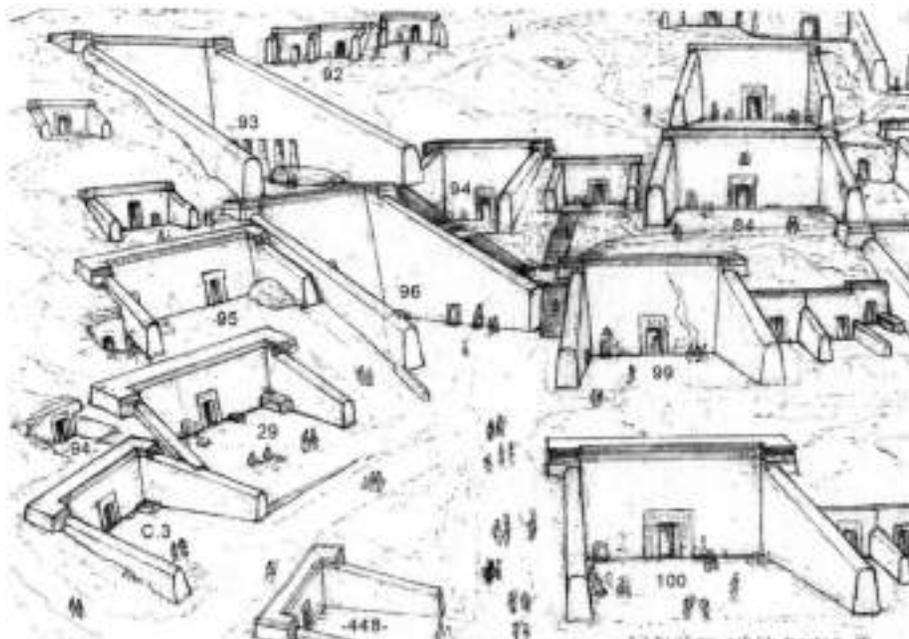


FIGURE 2.7 – Ce dessin de R. Morales montre à quoi pouvait ressembler le contexte de la TT96 à l'époque du Nouvel Empire.

2.2 Informations relatives à un possible alignement astronomique

Il est important de prendre en compte le contexte historique et géographique de la TT96 s'il on cherche à comprendre son architecture, en effet on peut observer à quelques centaines de mètres de l'emplacement de la TT96 que la porte de la chapelle d'Amon-Rê dans le "Saint des saints" du Temple de la reine Hatchepsout possède des caractéristiques similaires, hypèthre laissant entrer la lumière sous une orientation bien précise¹⁶ et traversant d'autres espaces jusqu'à atteindre symboliquement la statue du Dieu présente dans le fond. "L'axe principal du temple est réglé sur un azimut d'environ $116\frac{1}{2}^{\circ}$ et est aligné sur le lever du soleil du solstice d'hiver, qui, à notre époque moderne, se produit autour du 21 ou 22 décembre de chaque année. La lumière du soleil pénètre à travers le mur arrière de la chapelle, avant de se déplacer vers la droite pour mettre en valeur l'une des statues d'Osiris qui se dressent de part et d'autre de la porte de la seconde chambre. Une autre subtilité de cet alignement principal est créée par une ouverture, qui montre un rayon de lumière du soleil qui se déplace lentement depuis l'axe central du temple pour d'abord illuminer le dieu Amon-Rê,

¹⁶. Informations provenant du POLISH CENTRE OF MEDITERRANEAN ARCHAEOLOGY, UNIVERSITY OF WARSAW, The Main Sanctuary of Amun-Re in the Temple of Hatshepsut at Deir el-Bahari, Franciszek Pawlicki.

puis briller sur la figure agenouillée de Thoutmôsis III avant d'illuminer enfin le dieu du Nil Hâpy. De plus, en raison de l'angle élevé du soleil, environ 41 jours de chaque côté du solstice, la lumière du soleil peut pénétrer par une ouverture secondaire jusqu'à la chambre intérieure. Cette chapelle intérieure a été rénovée et agrandie à l'époque ptolémaïque et comporte des références culturelles à Imhotep, le constructeur de la pyramide de Djéser, et à Amenhotep, fils de Hapou, le superviseur des travaux d'Amenhotep III¹⁷.

Enfin on peut noter le règne de Hatchepsout (v. 1479 à 1457 avant notre ère) qui se trouve très proche de celui d'Amenhotep II (v.-1425 à -1401, selon N. Grimal), donc très proches l'un de l'autre chronologiquement, ainsi le temple de Hatchepsout qui a précédé la construction de la TT96 de quelques dizaines d'année a pu inspirer l'Hypèthre de celle-ci.



FIGURE 2.8 – On peut observer l'ouverture se trouvant au dessus de la porte de la chapelle de Amon-Rê dans le temple de Hatchepsout à Deir El Bahari. Photo personnelle réalisée sur place.

17. cf. wikipedia - Temple funéraire d'Hatchepsout.

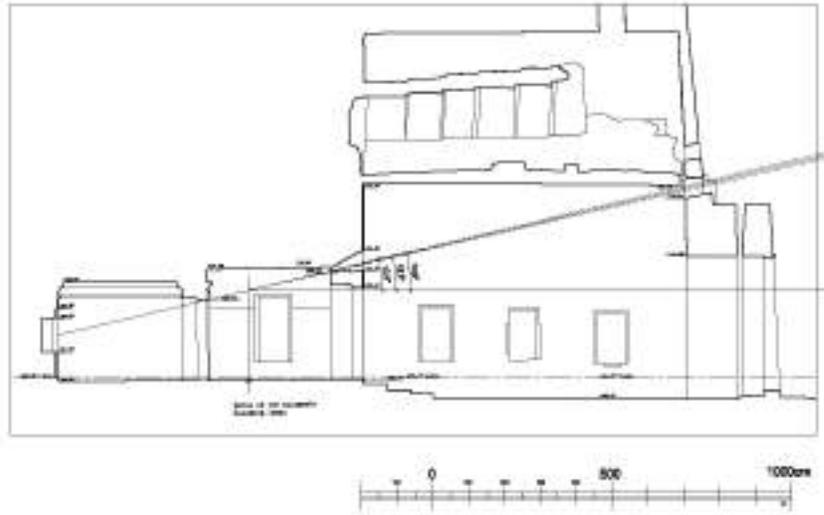


FIGURE 2.9 – Description de la manière dont la lumière entrait dans la chapelle d’Amon-Ré

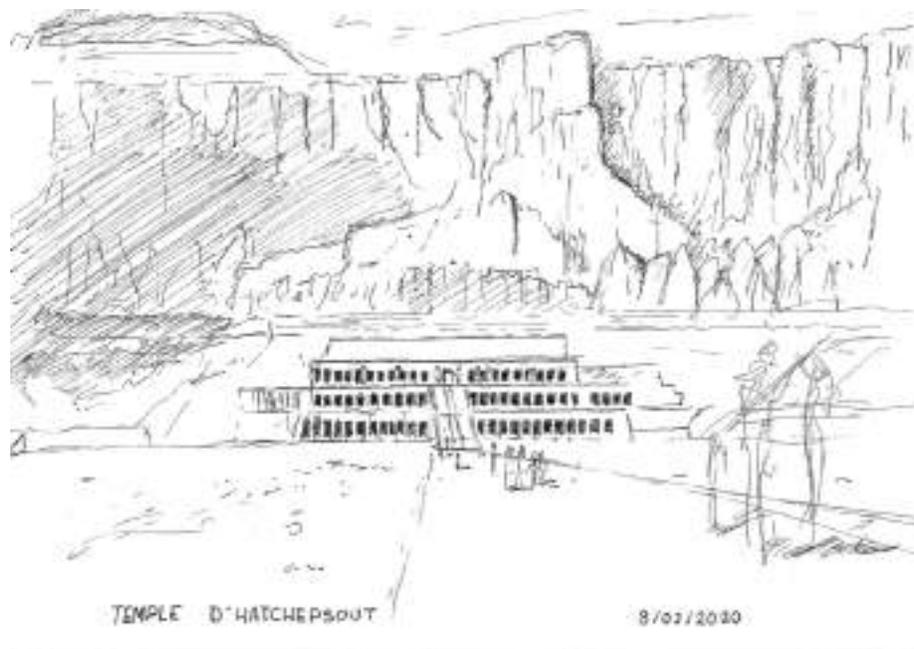


FIGURE 2.10 – Croquis du complexe funéraire de la reine Hatchepsout permettant de se rendre compte du contexte géologique et architectural dans lequel se situe le sanctuaire d'Amon-Rê, lequel n'est qu'à quelques centaines de mètres de la TT96.

3 Premiers résultats

«Attendez ma venue, aux premières lueurs du cinquième jour, à l'aube, regardez à l'est. »
Gandalf¹⁸

18. Le Seigneur des Anneaux, Les Deux Tours, de J. R. R. Tolkien, 1954.

3.1 Première maquette Sketchup

Pour retrouver la lumière dans la Chapelle de Sennefer le premier réflexe a été d'utiliser un logiciel en architecture qui permettent de géolocaliser la tombe afin d'obtenir la bonne orientation géographique, ce qui est naturellement fondamental si l'on souhaite simuler et visualiser un parcours du Soleil proche de la réalité. Le premier logiciel utilisé est Sketchup. Outre la facilité d'emploi du logiciel, le logiciel a cette qualité de pouvoir permettre l'importation directe de photos satellites de Google map, de les placer à la bonne échelle, et de prendre en compte dans ces calculs du parcours du Soleil, de la hauteur de celui-ci dans le ciel en fonction de l'heure, du mois et de l'année. Il faut noter que le Soleil simulé dans Sketchup n'est pas visible directement, seuls les ombres projetées sont visibles, car c'est cela qui nous intéresse généralement dans le domaine de l'architecture. Sur base du seul entretien avec Dimitri Laboury le 11 février 2019 il était déjà possible de définir des dimensions approximatives de la tombe¹⁹, de situer l'hypèthre et de lancer les premières simulations. Les premiers résultats montrent que la lumière pénétrait aux alentours de 6 :00 et était susceptible quelques mois dans l'année d'atteindre le fond de la chapelle, lieu le plus sacré où étaient probablement représentés Sennefer et son épouse²⁰.



FIGURE 3.1 – Première maquette 3D de la TT96 géolocalisée grâce aux fonctionnalités de Sketchup.

19. Dimensions mentionnées dans l'introduction.

20. En témoignent les aménagements pour des statues dans le fond de la salle des piliers, bien visibles dans les vues en plan de la Tombe et les nuages de points des chapitres suivants.



FIGURE 3.2 – Vue du relief très grossièrement dessiné dans ce modèle simplifié.



Grâce à la fonctionnalité "Ombres" dans Sketchup il a été rendu possible très rapidement de régler la date et l'heure à laquelle le Soleil frappait la TT96, cet outil est fort aisé à utiliser et donne des résultats très proches de la réalité.

FIGURE 3.3 – Paramètre d'ombres dans Sketchup

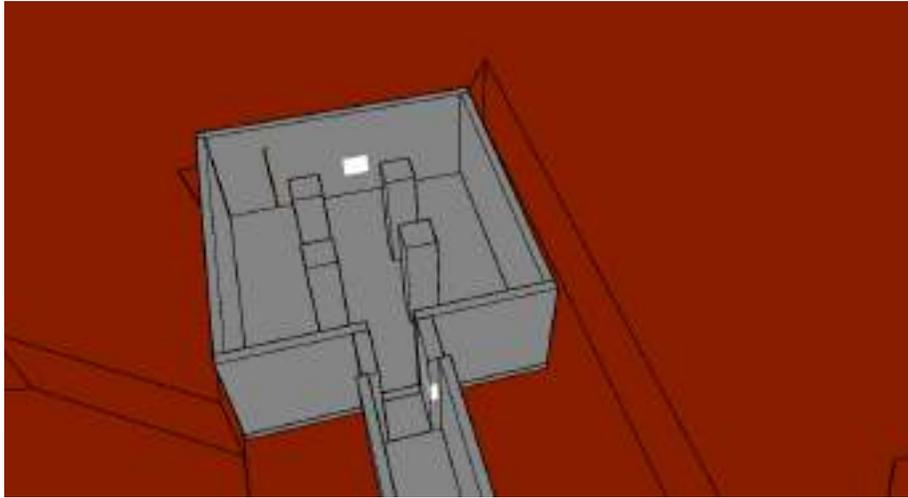


FIGURE 3.4 – On peut observer que le fond de la tombe est atteint par la lumière non déviée du Soleil vers 6 :00 le 22 avril 2019.

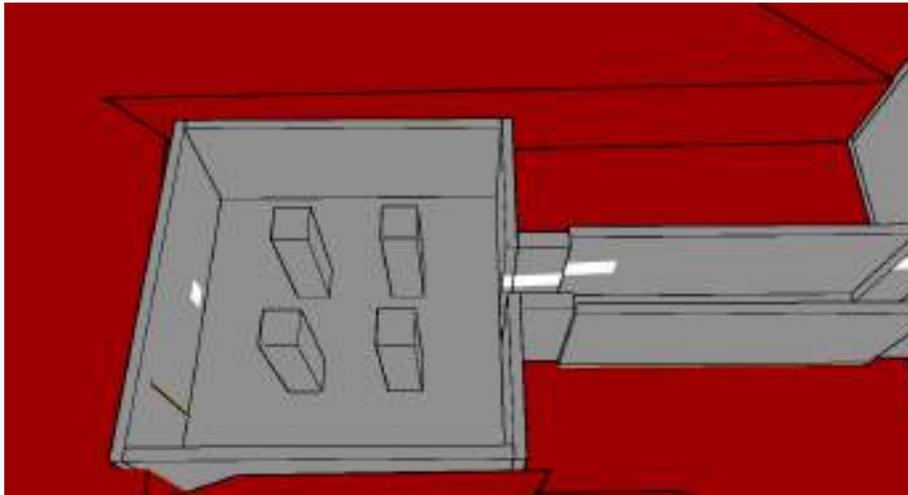


FIGURE 3.5 – Toujours le 22 avril 2019 vers 6 :00

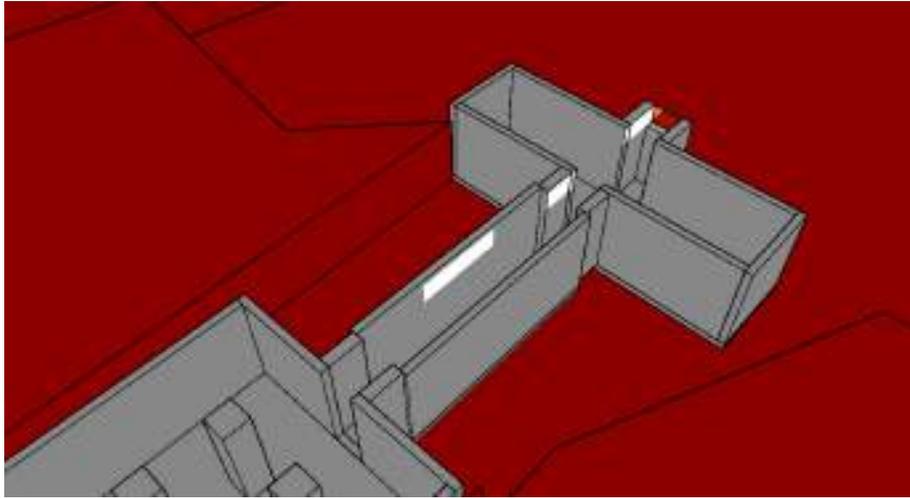


FIGURE 3.6 – Arrivée de la lumière vers 6h le 26 mars 2019

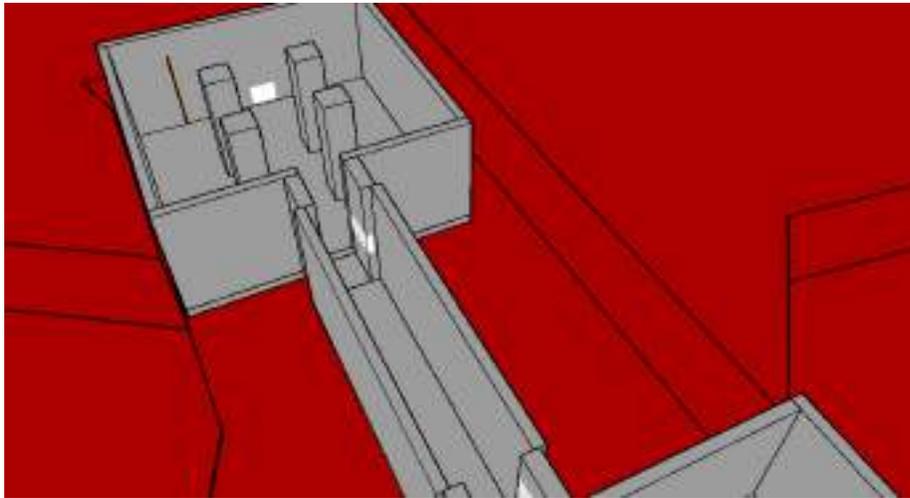


FIGURE 3.7 – Arrivée de la lumière vers 6h le 30 août 2019

Il faut noter une petite astuce permettant d'observer en vue en plan les ombres projetées. En effet le fait de couper la toiture de la chapelle pour pouvoir observer ce qui s'y passe à l'intérieur a pour effet de simplement ouvrir complètement la tombe en la plaçant directement à la lumière sans toiture! Par conséquent pour réaliser ces observations sans compromettre la projection des ombres à partir de la seule ouverture de l'hypèthre une grande boîte est construite tout autour de la tombe, permettant de s'y dé placer sans "heurter" les bords de la boîte avec la "caméra".

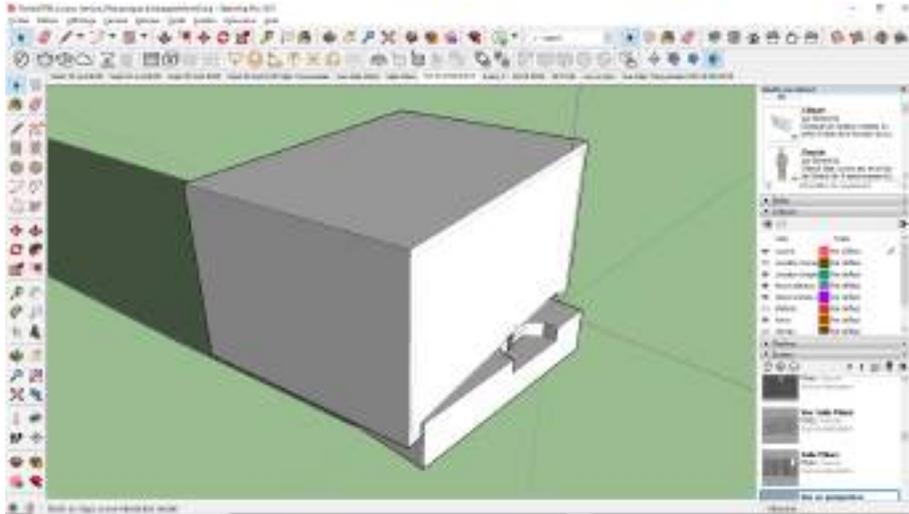


FIGURE 3.8 – Boîte dans laquelle est enfermé le modèle pour pouvoir observer les vues en plan des ombres projetées.

3.2 Stellarium : Analyse des variations célestes à travers les millénaires

Cette analyse est réalisée grâce au logiciel Stellarium, elle permet de vérifier si la position des astres a évolué de manière significative en 3500 ans, changement dû, rappelons-le, à la précession des équinoxes.

Cette étude complémentaire permet d'observer l'évolution de la position des astres dans le ciel de Louxor. Le logiciel Stellarium est gratuit et a été sélectionné suite aux recommandations de physiciens du département d'astrophysique de l'Université de Liège. Il a permis de révéler les principaux changements célestes en 3500 ans, ceux-là semblent très légers mais existent bel et bien, voici les observations réalisées.



FIGURE 3.9 – La voûte céleste observée depuis Louxor en direction de l'Est le 12/05 en -1500 avant J.C. à 4 :05.



FIGURE 3.10 – La voûte céleste observée dans les mêmes conditions mais cette fois en 2019.

Ces illustrations permettent de voir qu'en 3500 ans Vénus :

- a perdu environ 5 degrés de déclinaison (elle est légèrement descendue, se rapprochant de l'horizon).
- est en avance de presque 1 heure (horizontalement Vénus s'est légèrement déplacée sur la gauche).

Les choses ont peu évolué en 3500 ans, mais elles ont évolué. Le ciel n'est donc pas rigoureusement identique à celui connu par les égyptiens de l'Antiquité vivant à Thèbes à l'époque d'Aménophis II.

Fondamentale est l'étude du lever du Soleil, lequel est directement à l'origine de ce travail sur la Tombe TT96A



FIGURE 3.11 – Le Lever du Soleil à Thèbes en 1500 B.-C. a lieu à 5 :20



FIGURE 3.12 – Le Lever du Soleil à Louxor en 2019 a lieu à 5 :05.

Cette analyse du lever de Soleil permet de conclure que le Soleil se lève 15 minutes plus tôt qu'il y a 3500 ans. Ce n'est pas négligeable, d'autant plus que lors des meilleures journées d'ensoleillement de la tombe, par exemple le 30 Août, les premiers rayons pénètrent la tombe à 5 :30, le Soleil est alors parfaitement horizontal par rapport à l'hypèthre, le pic de luminosité est atteint à ce moment là et ce de manière brutale car avant cela quasiment aucune lumière ne pénètre.

La quantité de rayons directs reste relativement importante jusque 8 :30, les derniers rayons entrent faiblement vers 9 :00.

Ainsi la tombe est « correctement éclairée » par le Soleil pendant environs 3 heures lors des meilleures journées d'ensoleillement, les 15 minutes de décalage représentent donc 8,33 % du temps d'ensoleillement. Néanmoins il est à noter que la durée totale d'ensoleillement n'a, elle, pas changé.

4 Matériel et méthode

« Fais du jour une fête. Oublie tout Mal, songe au Bonheur jusqu'à ce vienne
le jour où tu aborderas le pays qui aime le Silence. »
Chant du harpiste dans la tombe de NeferHotep²¹.

21. Citation tirée du site internet Egyptos, <https://www.egyptos.net/egyptos/citations/>

4.1 Acquisition des données



FIGURE 4.1 – Station totale d’acquisition des données

Les principales données qui ont servi à l’élaboration d’un modèle plus élaboré de la TT96A proviennent des travaux réalisés sur place par Pierre Hallot qui ont produit nuages de points et orthophotos. Cette section propose d’exposer succinctement les technologies mises en œuvre par le Professeur Hallot pour donner au lecteur un minimum d’informations quand aux appareils nécessaires pour aboutir aux résultats exposés dans les sections suivantes. En aucun cas il ne s’agit ici d’expliquer comment fonctionnent ces appareils ni comment les utiliser.

<http://hdl.handle.net/2268/222518>

4.1.1 Lasergrammétrie

La partie lasergrammétrie a été réalisée à l'aide d'un scanners lasers terrestres (TLS en anglais pour Terrestrial Laser Scanners), il génère un nuage de points, lequel peut-être ensuite transformé en maillage à l'aide d'un logiciel. Un certain nombre de ces logiciels seront brièvement abordés dans le présent rapport avec les résultats qu'ils ont pu générer sur base du nuage de points produit par l'appareil. Le modèle Leica qui figure en image est muni d'un miroir en son centre qui entre en rotation très rapidement générant des centaines de milliers de points en quelques minutes.



FIGURE 4.2 – Leica BLK360 Imaging Laser Scanner

Source : <https://www.geotrade.nl/leica-blk360>

4.1.2 Photogrammétrie

La photogrammétrie est la technique qui va fournir les orthophotos, indispensables pour la réalisation du modèle virtuel ces résultats seront largement abordés dans la section "traitement des orthophotos". La technique consiste à l'aide d'un appareil photo de prendre un grand nombre de clichés en essayant de ne pas faire varier la distance focale de l'appareil pour permettre plus facilement leur assemblage par la suite. La station totale complète la photogrammétrie, en contraignant le modèle grâce aux relevés de la station qui géolocalise précisément certains points dans l'espace. En général on marque des points repères en ciblant des endroits facilement reconnaissables ou stratégiques (changement d'angle, intersection d'éléments architecturaux, détails de peintures murales etc...)



FIGURE 4.3 – Pointeur laser au niveau du changement d'angle à l'intersection du mur et du plafond.



FIGURE 4.4 – Pointeur laser au niveau du coude pour construire un repère.



FIGURE 4.5 – STATION TOTALE LEICA FLEXLINE TS02 - Précision 7"

Source : <https://www.mesure-laser.com/station-totale/786-station-totale-leica-flexline-ts02-7-sans-distance-laser-.html>

4.1.3 Cellule photosensible

La cellule photosensible a permis de vérifier quantitativement ce que notre œil percevait dans la TT96A, c'est à dire les zones de grande intensité lumineuse jusqu'aux zones d'obscurité presque totale. Ce travail est essentiel pour le modèle 3D car il faut que celui-ci restitue fidèlement les observations réalisées sur place au niveau de l'intensité lumineuse qui règne dans chaque pièce.



FIGURE 4.6 – Cellule photosensible tenue par le Professeur Pierre Hallot dans la salle transversale lors des mesures réalisées en fin de matinée le 8 février 2020. Ces mesures ont été essentielles dans la réalisation du modèle 3D car elles donnent la quantité de lumière présente dans chaque espace et permet de démontrer l'extrême chute de lumière qui peut exister d'un endroit à un autre

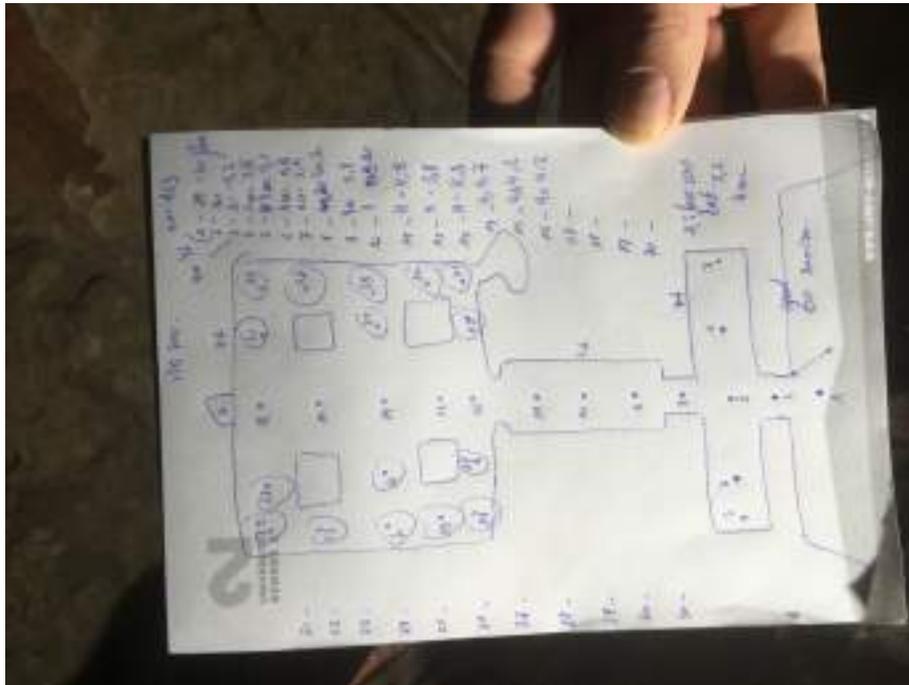


FIGURE 4.7 – Cette feuille présente les résultats de la mesure de l'intensité lumineuse, l'essentiel à retenir ne sont en aucun cas le chiffre, l'essentiel est beaucoup plus simple : En dehors des zones éclairées par la lumière directe l'intensité lumineuse chute drastiquement, par exemple dans la salle des piliers tous les valeurs encadrées sont des points d'intensité lumineuse quasi nulle.

5 Traitement, analyse et exploitation des données récoltées sur place

« Mais à l'aube , dès que tu es levé à l'horizon,
Et que tu brilles, disque solaire dans la journée,
Tu chasses les ténèbres et tu émetts tes rayons.. »

Extrait du grand Hymne à Aton, inscrit sur le mur Ouest de la tombe d'Ay à Amarna au psaume 104²².

²². page 294 du livre de Nicolas Grimal Histoire de l'Égypte ancienne, édition Le livre de Poche, première édition, Fayard 1988.

5.1 Traitement du nuage de points

Un grand nombre de logiciel permettent de traiter les nuages de points (un trop grand nombre même!) cela a pour conséquence qu'il existe un très grand nombre de terminologies de fichier qui ne sont pas lues par tous les logiciels. Il faut donc savoir "jongler" entre les différents logiciels pour parfois obtenir ce que l'on veut. Par exemple pour pouvoir générer un maillage exploitable dans Sketchup et Blender il a fallu :

- 1) Importer le fichier e57(fichier directement issu du scannage laser) dans PointTools (Bentley), le réduire en découpant la zone qui nous intéressait puis l'exporter en format "pts".
- 2) Ouvrir le fichier pts dans Cloud Compare²³. Ensuite il faut enregistrer l'importation en format e57²⁴
- 3) Ouvrir Bentley Context Capture, se placer en mode production de mesh (maillage), cocher la case correspondant au format "Obj Collada Dae" pour qu'il soit importable dans Sketchup ou Blender.

23. en ayant points tous les 10 cm et en se concentrant seulement sur la zone de la Chapelle cela représente plus de 5 milliards de points importés!

24. car Bentley PointTools peut importer le fichier e 57 mais est incapable de l'enregistrer en format e57!

5.1.1 PointTools

Point Tools est un logiciel de traitement des nuages de points qui permet, comme la grande majorité d'entre eux, de découper, éliminer des zones sélectionnées par l'utilisateur. Ce logiciel est également très utile pour enregistrer ou importer les nuages sous différents formats, comme mentionné dans l'introduction précédente sur le traitement du nuage de points, il est important d'avoir ce genre de logiciel pour pouvoir effectuer la transition vers d'autres logiciels en changeant de format. C'est la principale utilisation qui en a été faite ici.

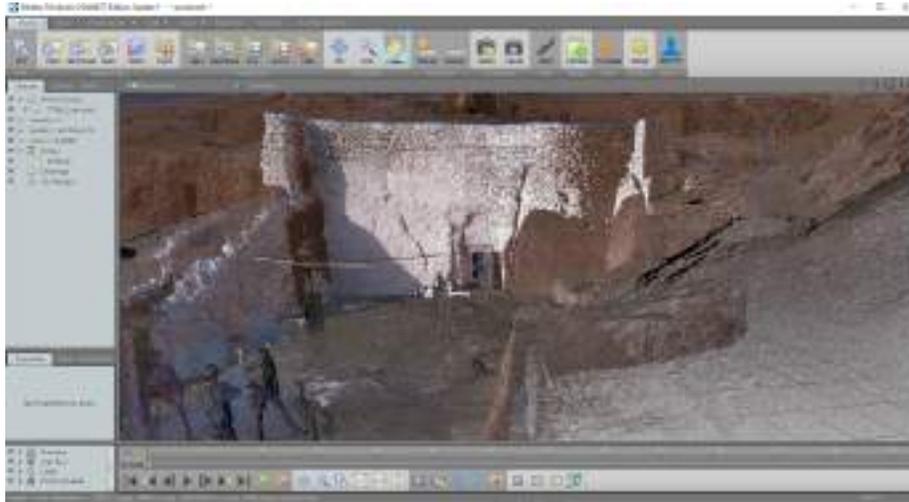


FIGURE 5.1 – Image obtenue dans Point Tools avec la conservation de la texture de chaque point qui donne la couleur à la façade de la TT96.

5.1.2 Pointcab

Les résultats obtenus avec PointCab sont utiles pour connaître les dimensions précises de la TT96A, néanmoins pour la réalisation du modèle 3D les résultats exposés ci-après n'ont pas été utilisés directement, ils ont juste permis de s'assurer des dimensions de la TT96 en proposant des vues en plan et en coupe qui permettent notamment aux architectes de prendre rapidement la mesure de chaque chose.

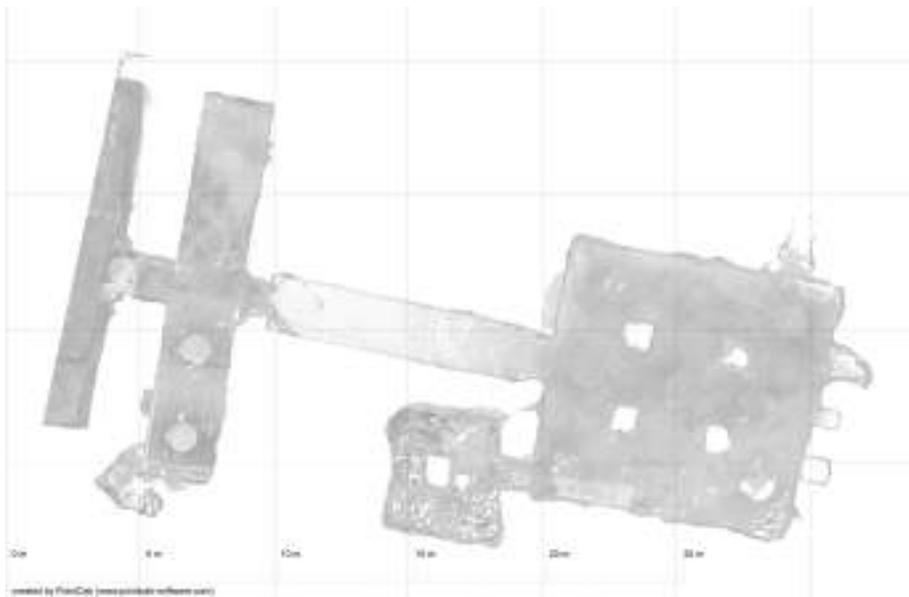


FIGURE 5.2 – Vue en plan de la TT96 dans PointCab

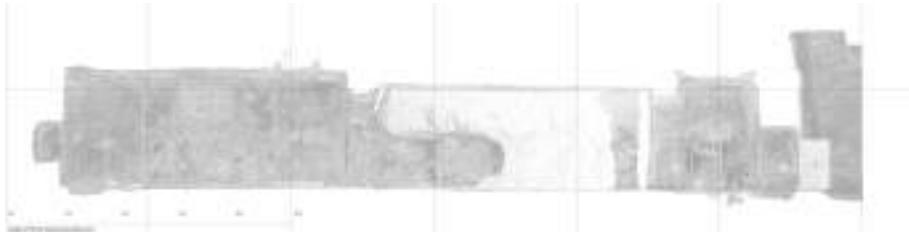


FIGURE 5.3 – Coupe réalisée au milieu de la TT96 sur l'axe Est-Ouest, le regard est porté vers le Nord.

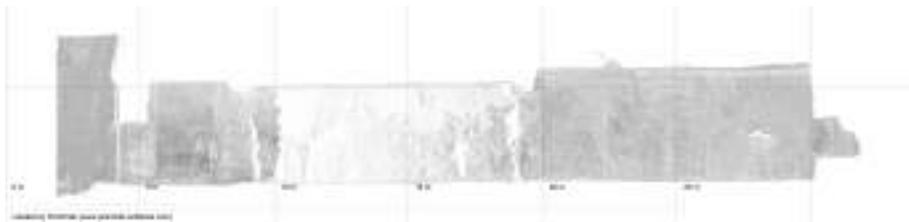


FIGURE 5.4 – Coupe réalisée au milieu de la TT96 sur l'axe Est-Ouest, le regard est porté vers le Sud.

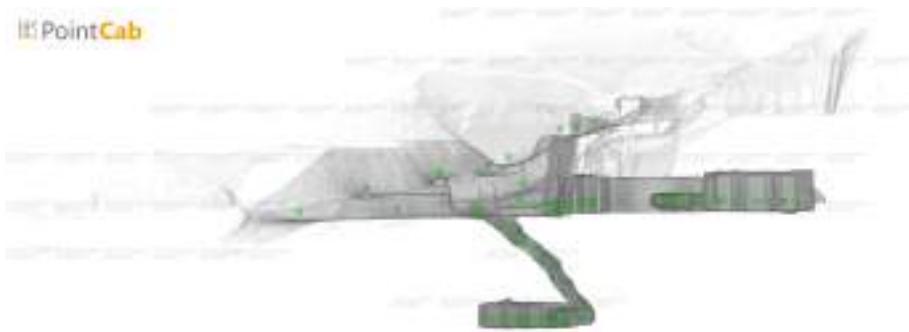


FIGURE 5.5 – Coupe permettant se localiser la TT96A et la TT96B l'une par rapport à l'autre, le regard est porté vers le Sud, soit vers le mur de gauche de la chapelle. Les différents points verts montrent les différents emplacements où a été placé le scanner pour réaliser le nuage de points.

5.1.3 ReCap

ReCap permet des traitements du nuage de point similaires à ce qui a été dit avec PoinCab et PointTools, encore une fois il peut servir d'intermédiaire très utile pour passer d'un logiciel à l'autre en changeant de format.

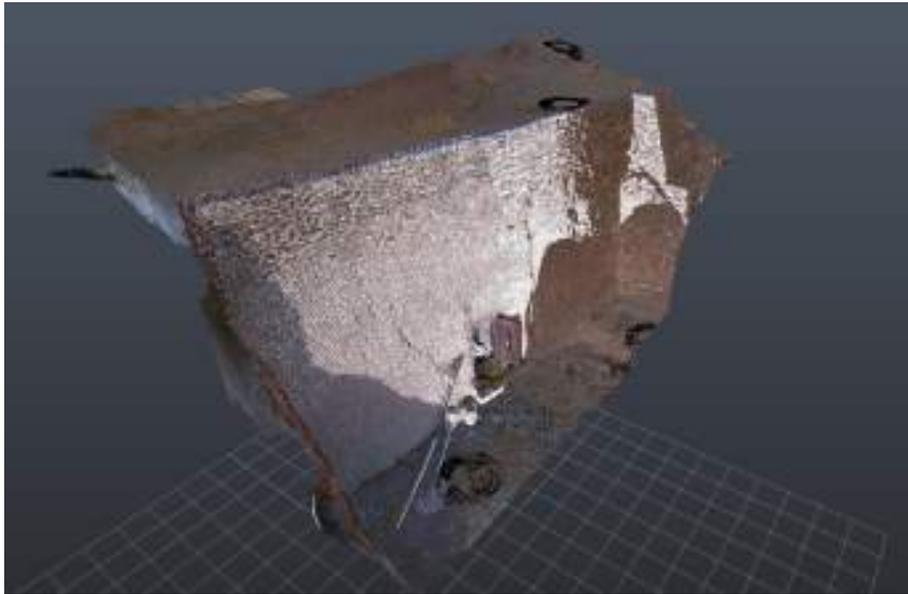


FIGURE 5.6 – Perspective du nuage de points de la façade de la TT96A avec ses textures.



FIGURE 5.7 – Salle des piliers oservée dans ReCap, les différents cercles noirs sont les zones d'ombre non scannées par l'appareil étant donné qu'il s'agit de ses différents emplacements.



FIGURE 5.8 – Vue en biais de la salle des piliers.

5.1.4 CloudCompare

Cloud Compare possède des outils de découpage des nuages de points similaires à ceux des logiciels précédents et permet un accès à un très grand nombre de formats pour le traitement des nuages de points. Il a été crucial dans le traitement des orthophotos également, nous le verrons par la suite. Cloud Compare permet également une comparaison aisée des différentes tuiles qui peuvent composer un nuage ou un maillage de points. Enfin Cloud Compare est gratuit, étant donné toutes les fonctionnalités et qualités de ce logiciel sa gratuité est une chance.

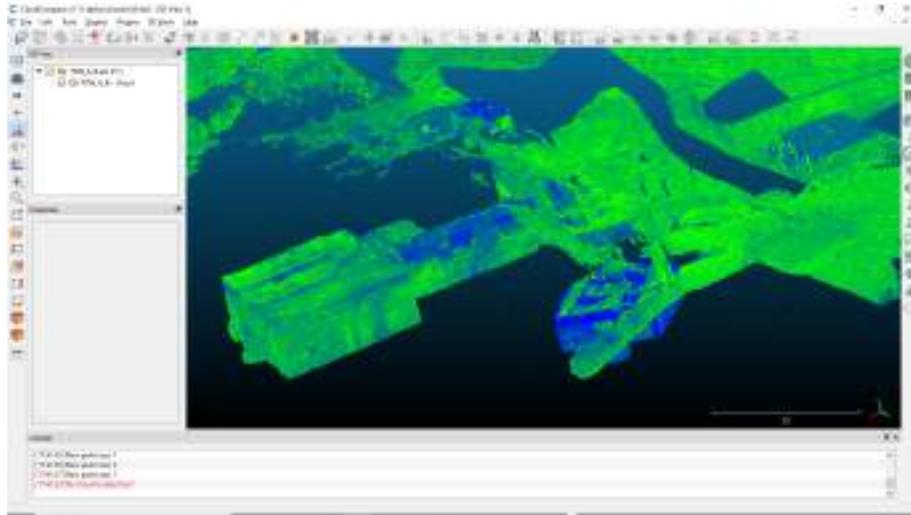


FIGURE 5.9 – Vue générale de la TT96A et B dans CloudCompare

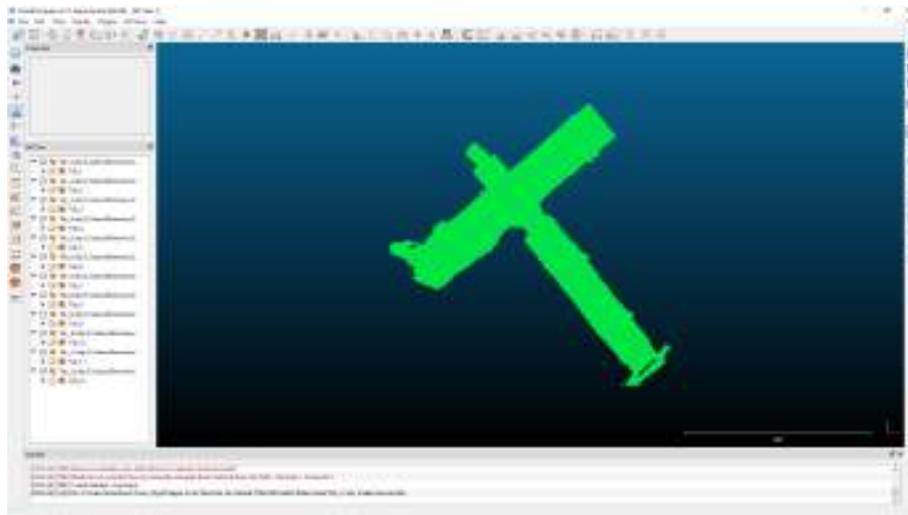


FIGURE 5.10 – On peut voir sur la gauche de cette image les différentes tuiles importées pour constituer le T caractéristique du plan de la TT96 et des hypogées du Nouvel Empire de manière générale. Notons qu’il manque la salle des piliers sur cette image.

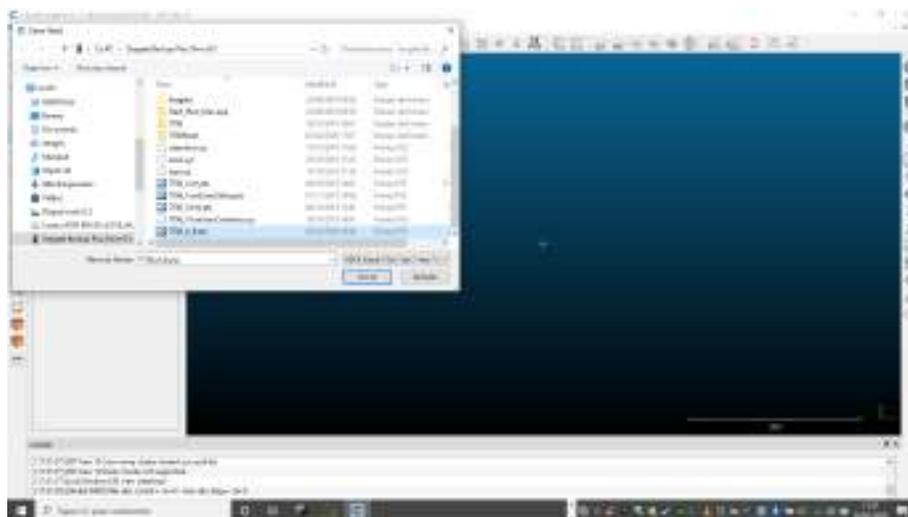


FIGURE 5.11 – Importation d’un fichier PTS avec Cloud Compare, fondamental pour pouvoir l’enregistrer en format e57 et ainsi le rendre exploitable dans ContextCapture par la suite.

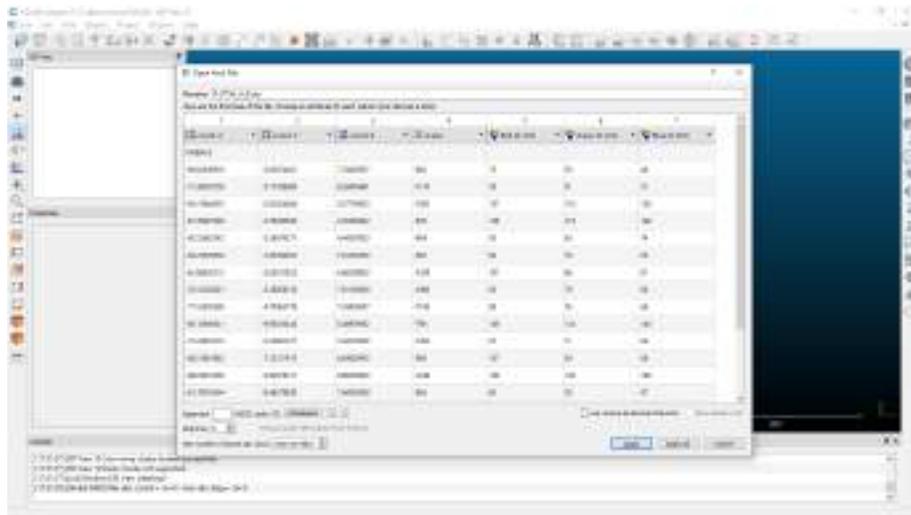


FIGURE 5.12 – Détail des différentes caractéristiques des tuiles importées, on peut observer les caractéristiques des différentes textures des points.

5.1.5 ContextCapture

Logiciel produit par la société Bentley est très efficace dans le traitement des nuages de points et en particulier dans la génération d'un maillage(mesh) texturé ou non et dans la génération d'orthophotos, lesquelles ont été fondamentales à la réalisation du modèle final de la TT96A.

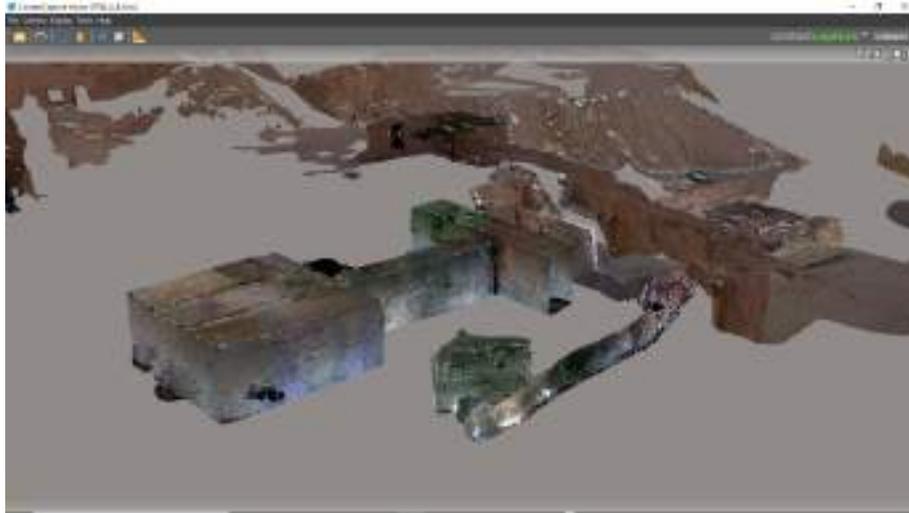


FIGURE 5.13 – Vue générale du nuage de points de la TT96 A et B obtenue dans ContextCapture.

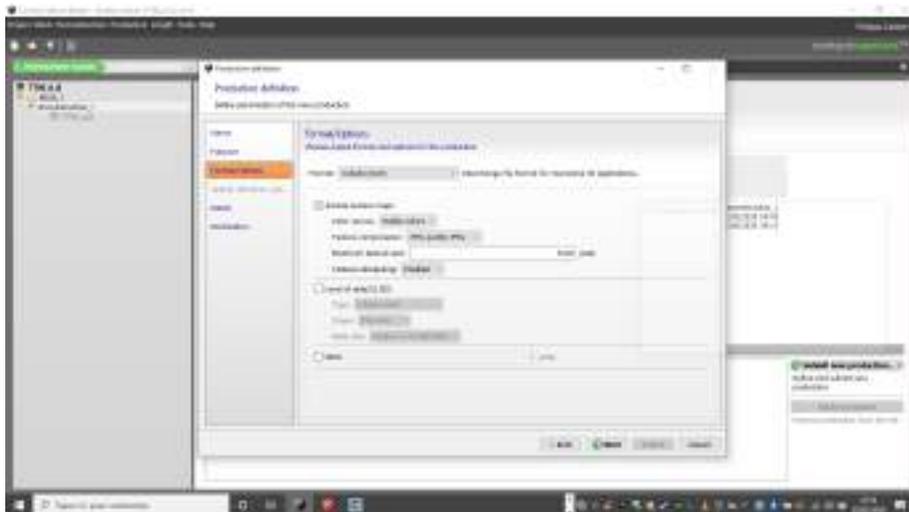


FIGURE 5.14 – Génération d'un maillage dans CloudCompare avec l'option "no Tiling" cochée, pour obtenir un seul maillage en format objet (Collada ou Obj).

Remarque : Il est important lors de la génération d'un maillage dans Context-

Capture de ne pas oublier d'enclencher la machine "Context Capture Master Engine" qui est un fichier exécutable indépendant, sans cela Context Capture ne génère aucun maillage ni aucune orthophotos!

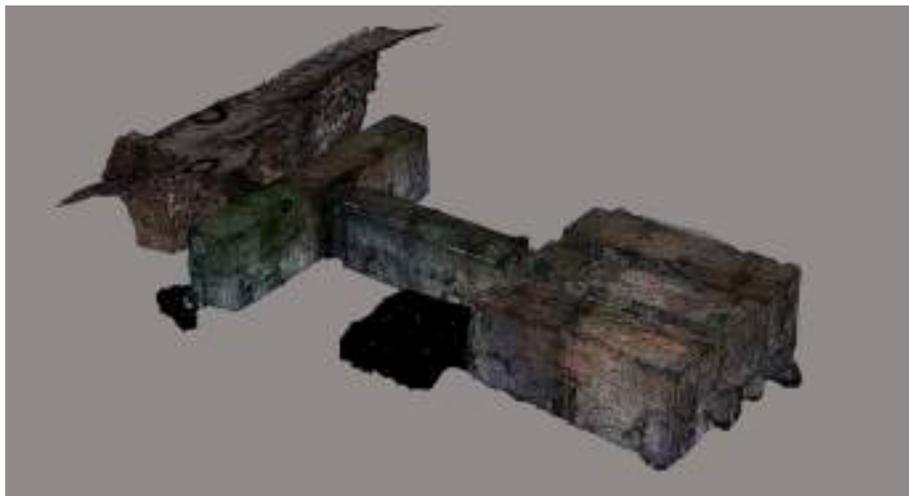


FIGURE 5.15 – Vue de la TT96A texturée.

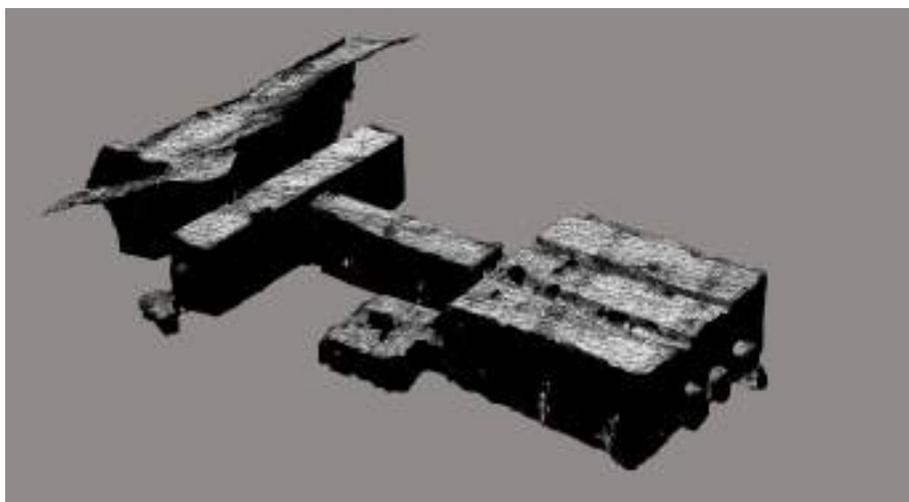


FIGURE 5.16 – Vue de la TT96A sans texture.

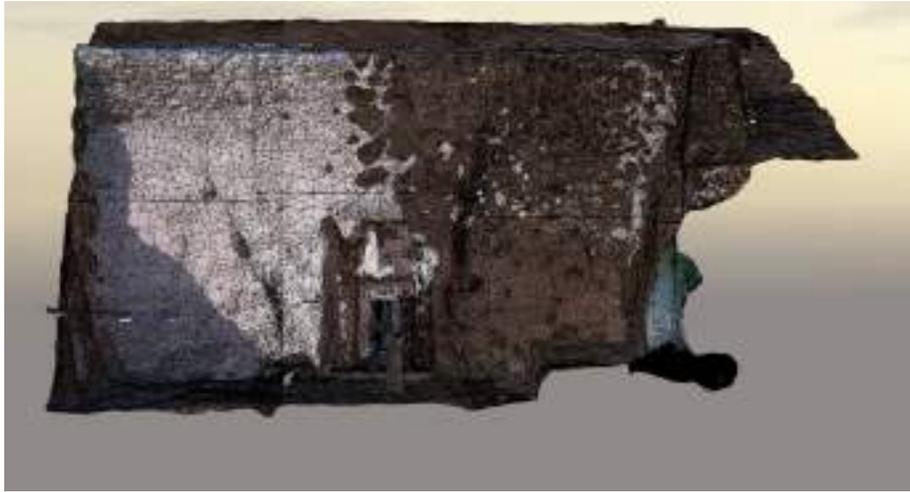


FIGURE 5.17 – Maillage de la façade texturée de la TT96A

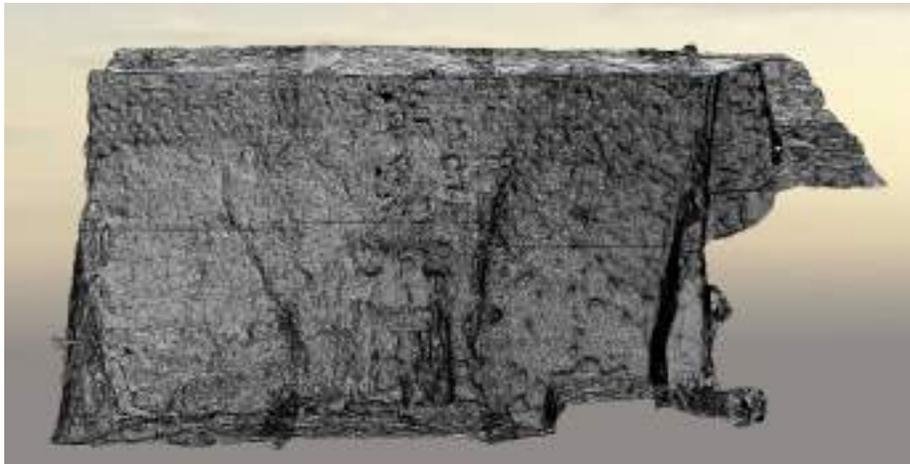


FIGURE 5.18 – Maillage de la façade sans texture

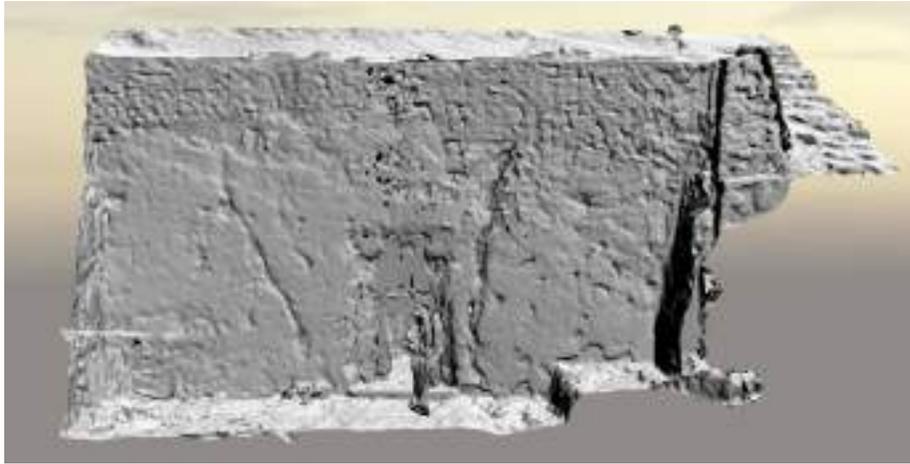


FIGURE 5.19 – Maillage de la façade sans texture et sans les polygones.

5.2 Exploitation du nuage de points pour la fabrication de la maquette 3D

Les nuages de points ont permis de réaliser des maillages sous forme de fichiers Objets (Obj et Collada) directement exploitables dans des logiciels comme Blender et Sletchup, pour pouvoir servir de base à la construction d'un modèle plus précis de la TT96. Ils ont parfois été utilisés, comme dans Sketchup, pour tester la lumière directement sur le maillage brut, ceci sera développé dans la partie "utilisation de Sketchup".

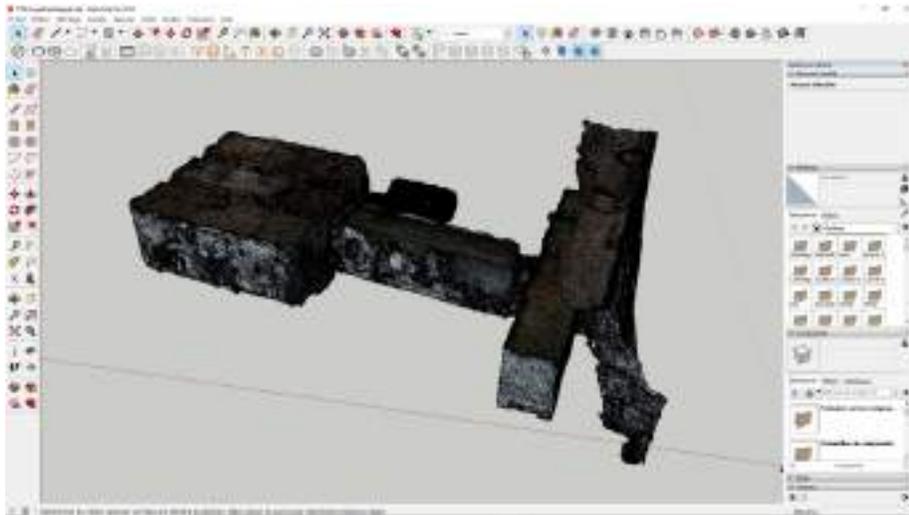


FIGURE 5.20 – Fichier Objet d'un maillage brut directement importé dans Sketchup avec ses textures.

Il est important de mentionner que le fichier objet d'un maillage aussi complexe que celui de la TT96A avec une précision de points tous les 10cm est très lourd, cela a des conséquences néfastes pour la bonne utilisation de Sketchup. Quand à Blender il gère mieux ce type de gros fichiers, l'idéal étant de disposer d'un ordinateur ultra-performant pour pouvoir gérer n'importe quel type de fichier avec n'importe quel logiciel!

Ceci n'étant pas le cas a favorisé grandement l'utilisation de Blender pour la réalisation de la maquette finale.

5.3 Traitement des orthophotos



FIGURE 5.21 – Vue sur la Nécropole thébaine depuis le Nil, à Louxor.

5.3.1 CloudCompare

Cloud Compare, dont les qualités ont déjà été en partie mentionnées dans les chapitres précédents a permis de découper toutes les surfaces, parois, plafond colonnes de toutes les salles de la TT96.

Un fichier orthophotographique généré dans Context Capture par Pierre Hallot et retraité (contraint grâce aux points de références) par une étudiante, Maria Denys, a été "découpé" dans Cloud Compare. L'objectif étant de manipuler le modèle orthophotographique de manière à obtenir la vue sur la façade désirée la plus perpendiculaire possible. Pour ce faire il est possible de générer un plan à partir d'une face découpée qui épouse au mieux la surface considérée. Il est à noter que le maillage orthophotographique est très lourd, il est donc nécessaire de réaliser progressivement l'importation de chaque tuile et de les découper au fur et à mesure, un travail fastidieux.

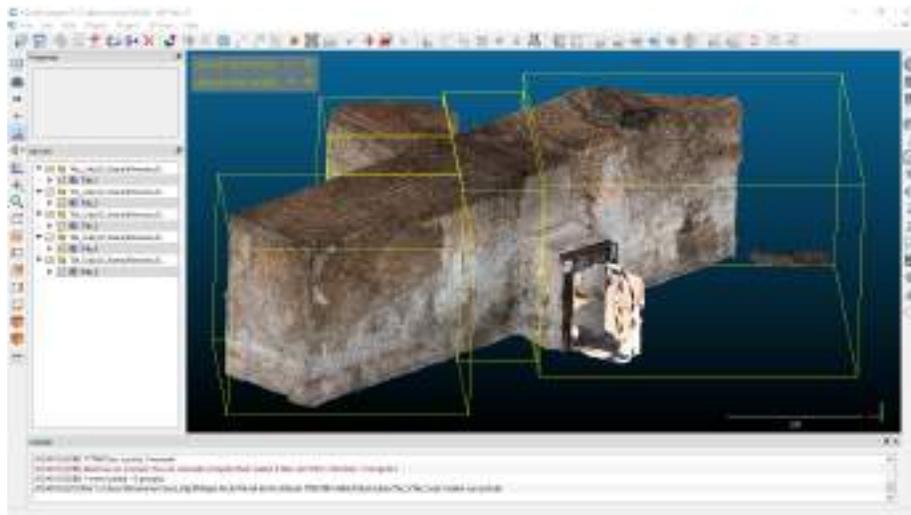


FIGURE 5.22 – Sélection de tuiles dans Cloud Compare pour les fusionner ensuite.

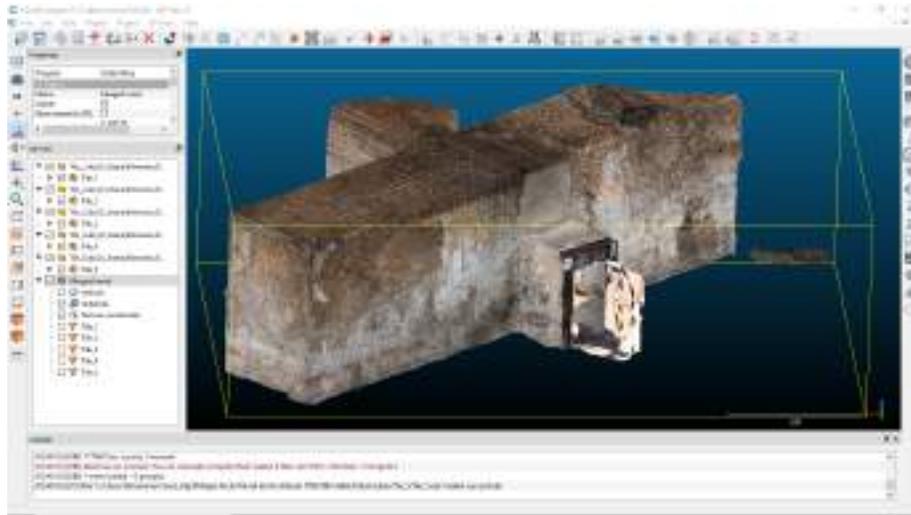


FIGURE 5.23 – Fusion des tuiles réalisée



FIGURE 5.24 – Fichier contenant les tuiles du fichier Obj

Les fichiers objets ont leur texture chacune comprise dans des tuiles (tiles) dont l'assemblage permet de générer l'image complète de la texture dans le modèle objet.



FIGURE 5.25 – Sélection en vert de la zone à découper

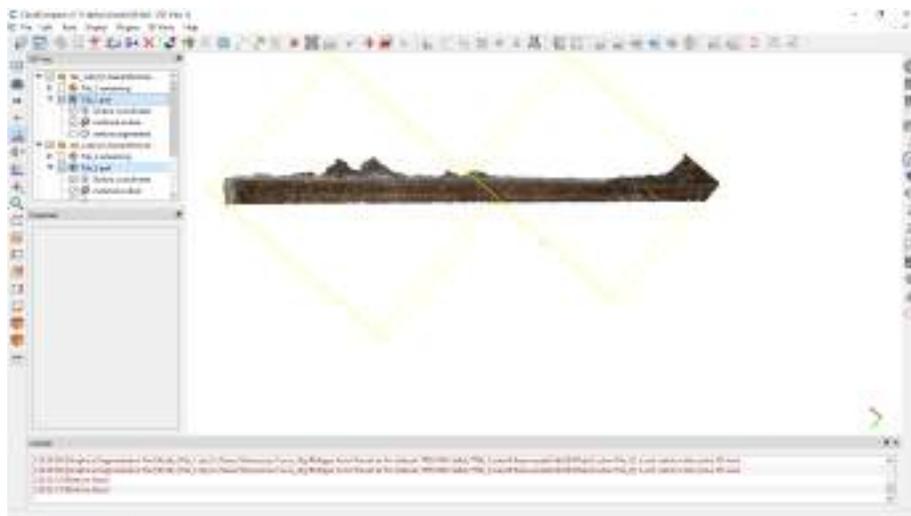


FIGURE 5.26 – Vue en plan, découpe réalisée

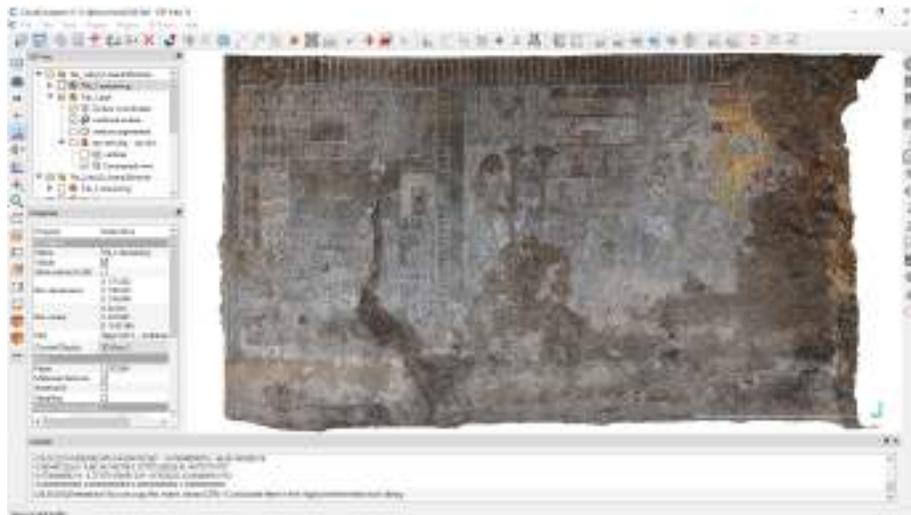


FIGURE 5.27 – Façade découpée vue en élévation

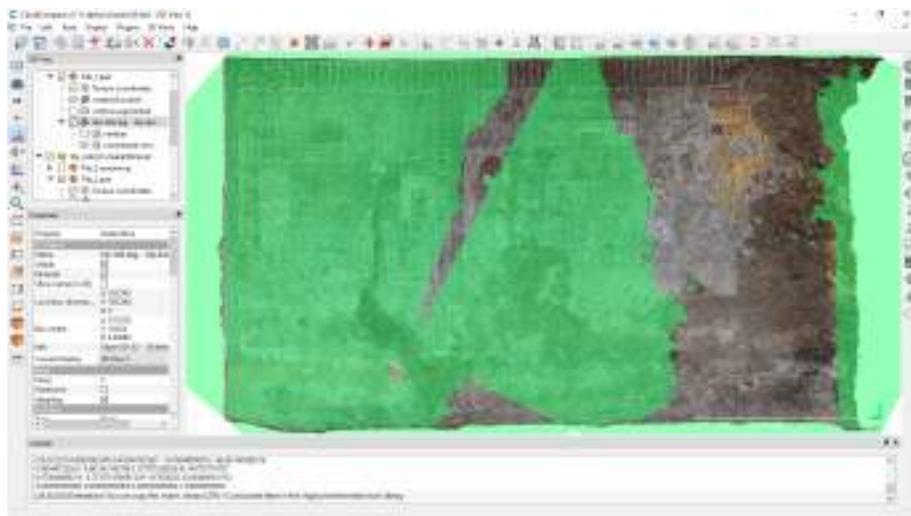


FIGURE 5.28 – Plan "imaginaire" généré pour vérifier que la vue est orthogonale à la photo.

5.3.2 Utilisation de Gimp et Paint

Gimp²⁵ et paint sont deux logiciels sont utilisés pour le traitement d'images, ici ils ont été principalement utilisés pour réduire la taille des découpes réalisées dans Cloud Compare.

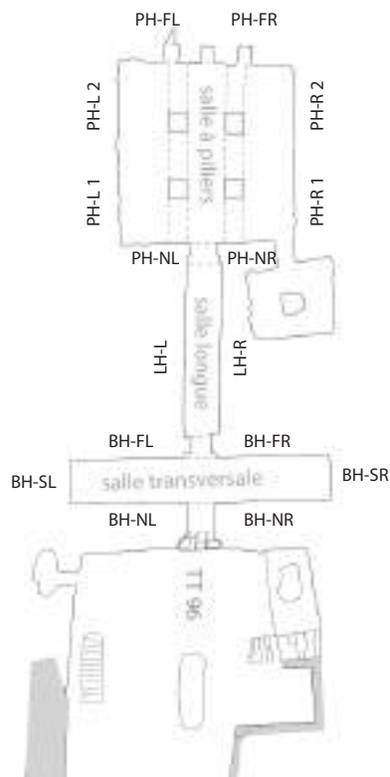


FIGURE 5.29 – Exemple d'image traitée dans Gimp

25. Gimp est un logiciel gratuit de puissance équivalente à Photoshop.

5.4 Exploitation des orthophotos pour la fabrication de la maquette 3D

Les orthophotos ont été directement utilisées dans le modèle final à parois lisses, en les important dans le menu UV-Editing de Blender.



BH = Broad Hall NL/NR = Near Left / Right
 LH = Long Hall FL/FR = Far Left / Right
 PH = Pillared Hall

FIGURE 5.30 – Nomination et numérotation des parois



FIGURE 5.31 – Liste de toutes les orthophotos découpées et utilisées pour construire le modèle final à parois lisses.

Toutes les orthophotos utilisées sont reprises en annexes.

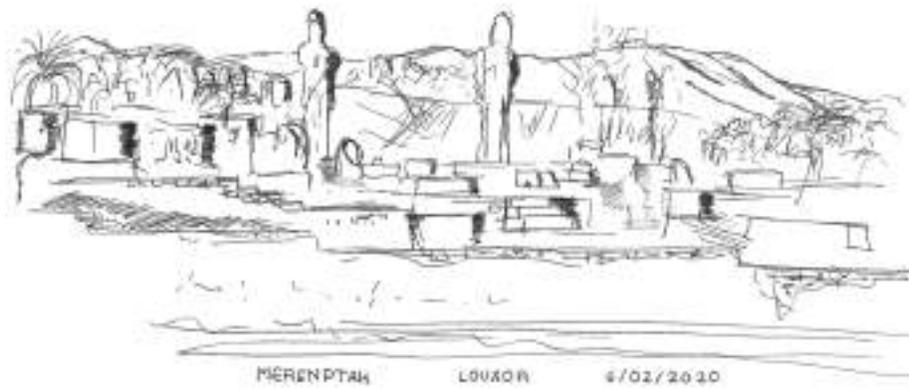


FIGURE 5.32 – Ruines du temple de Merenptah, elles se situent à quelques centaines de mètres en aval de la Tombe de Sennefer.

6 Réalisation du modèle 3D

« I'm so fast that last night I turned off the light switch in my hotel room and was in bed before the room was dark.»
Muhammad Ali.

6.1 Utilisation de Sketchup et son extension V-Ray

L'extension V-ray permet de faire varier un très grand nombre de paramètres, en particulier elle permet de créer une lumière artificielle dans un modèle tridimensionnel réalisé avec le logiciel Sketchup.

Il est possible de placer des objets lumineux à la dimension et à la position choisies par l'utilisateur et qui génèrent ainsi une lumière artificielle dont on peut régler l'intensité et la couleur. Le choix des matériaux est également une option qui permet d'affiner le rendu, dans l'exemple ci-dessus, les surfaces de la tombe ont été paramétrées pour avoir les mêmes propriétés d'aspect visuel et de diffusion de la lumière que le matériau stuc.

Enfin il est possible de créer un matériau qui n'existe pas dans ceux que propose l'extension dans sa bibliothèque. Il suffit pour cela de connaître quelques propriétés du matériaux en question ou de les définir soi-même à partir des options proposées par l'extension. Le matériau prend alors les propriétés qui lui sont conférées par l'utilisateur.



FIGURE 6.1 – Pénétration de la lumière le 30 Août 2019 à 6 :00 sous l'hypothèse que l'Hypèthre est dégagé.

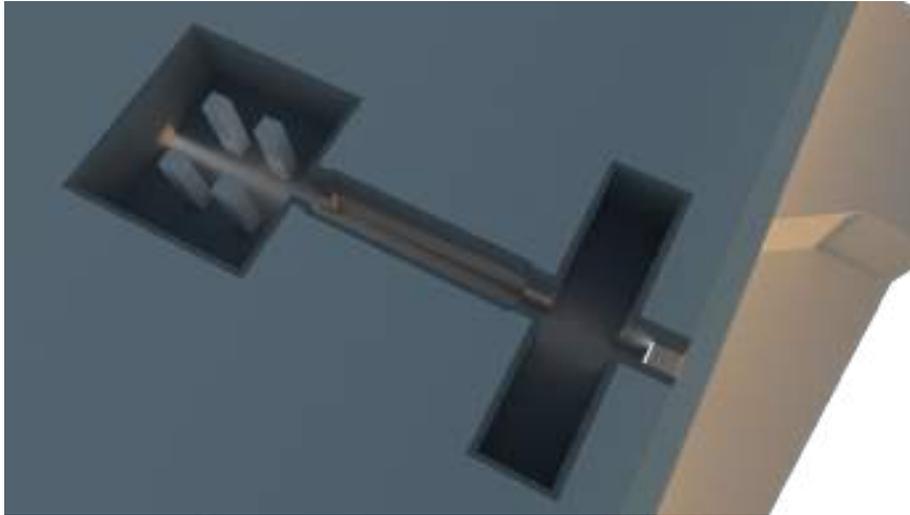


FIGURE 6.2 – Résultats obtenus après avoir modifié les paramètres de lumière artificielle (ajout de lumière de source artificielle rectangulaire), l'intensité de cette lumière ainsi que le type de matériau des surfaces de la Tombe (utilisation de Stuc blanc dans l'image ci-dessous) grâce à l'extension V-Ray



FIGURE 6.3 – Vue dans le couloir avant d'entrer dans la salle des piliers



FIGURE 6.4 – Vue dans la salle des piliers

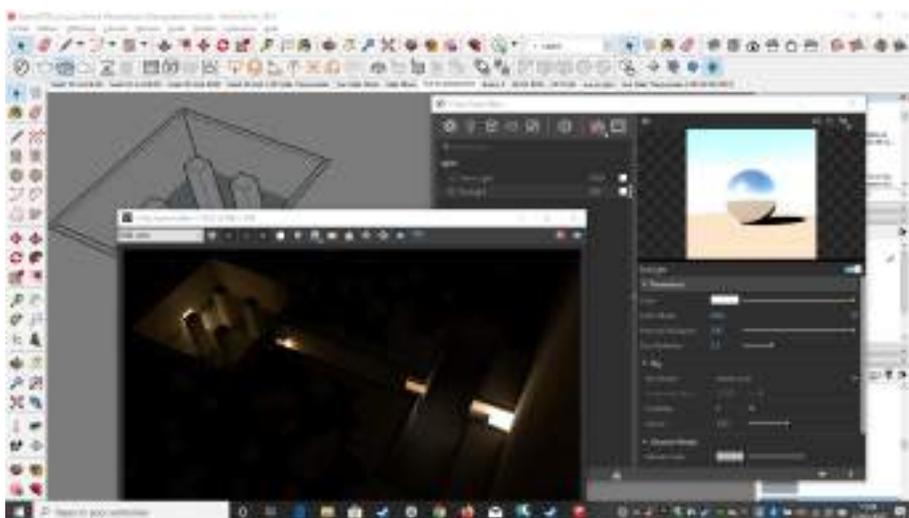


FIGURE 6.5 – Description des différents paramètres de lumière dans V-Ray.

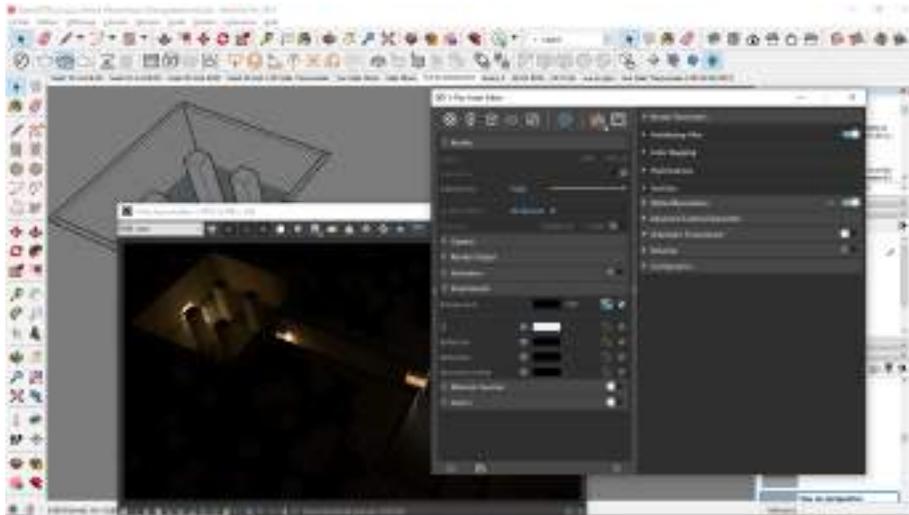


FIGURE 6.6 – Description des différents paramètres de lumière, choix de l'intensité de celle-ci, Intensity Multiplier à 200 et Background à 100.



FIGURE 6.7 – Paramètre Environnement à 200.



FIGURE 6.8 – Test en lumière faible sur le maillage brut



FIGURE 6.9 – Test en lumière intense sur le maillage brut, vue de la salle des piliers.



FIGURE 6.10 – Vue depuis le fond sous forte intensité lumineuse.



FIGURE 6.11 – Vue générale en lumière intense appliquée au modèle simplifié



FIGURE 6.12 – Background 5 ; IntensityMultiplier200 ; SizeMultiplier5



FIGURE 6.13 – Salle des piliers plongée dans la lumière naturelle intense

L'extension V-Ray de Sketchup est en mesure d'apporter quelques améliorations significatives sur le plan de la représentation de la propagation de la lumière dans la tombe : lumière réfléchie, absorbée, diffuse, améliorant l'étude de l'atmosphère de la tombe. Cette extension permet « d'enjoliver » les résultats bruts obtenus dans la version basique de sketchup. Mais ce n'est qu'un début, le logiciel est probablement sous exploité en l'état actuel des choses, toutes les possibilités offertes par V-Ray sont loin d'avoir été explorées.

6.2 Utilisation de Blender

Blender a été utilisé pour tester une nouvelle lumière. Ensuite étant donné que le résultat de la lumière était convaincant les premières textures ont été appliquées, le réalisme de celles-ci a permis d'établir une atmosphère relativement réaliste en très peu de temps.

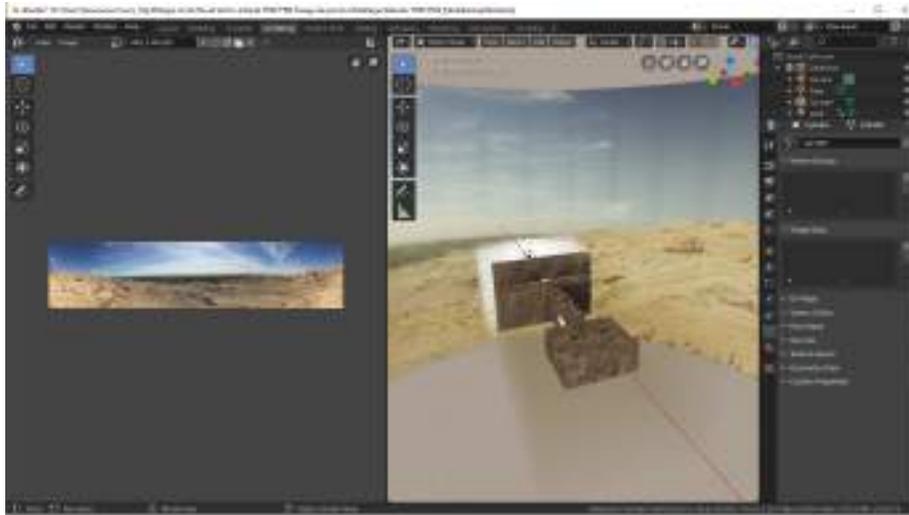


FIGURE 6.14 – Possibilité de créer un environnement dans Blender à partir d'une vue panoramique

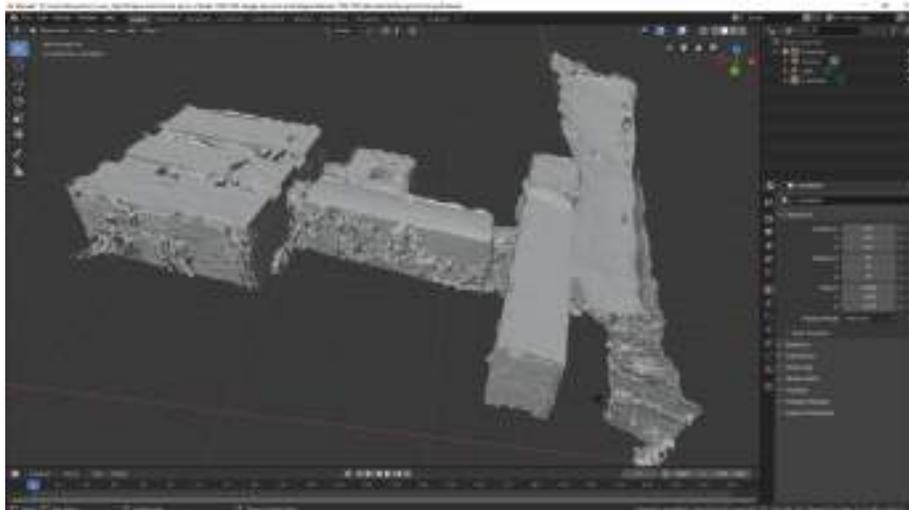


FIGURE 6.15 – Maillage brut importé dans Blender

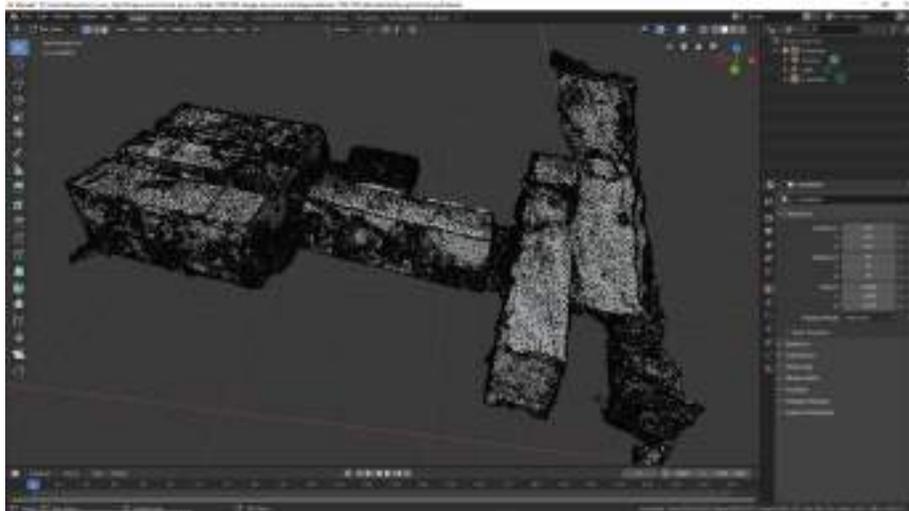


FIGURE 6.16 – Vue du maillage en "edit mode"

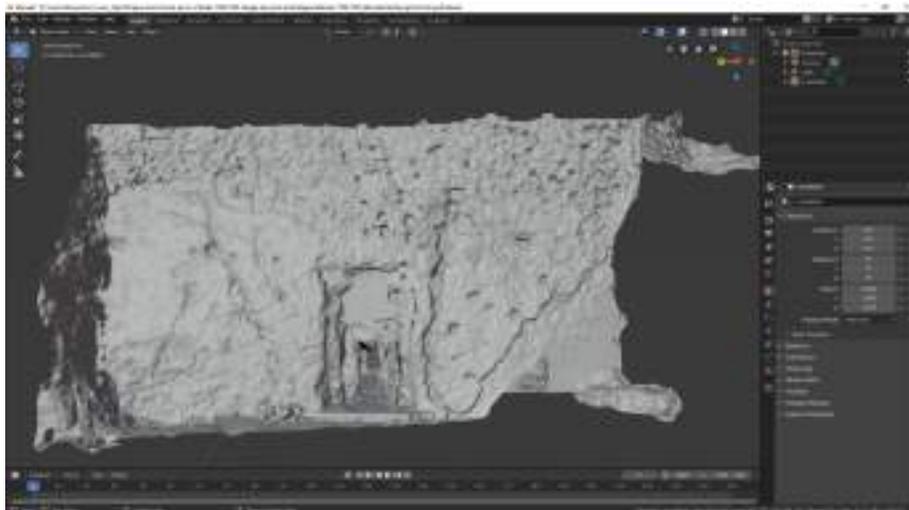


FIGURE 6.17 – Maillage de la façade en "Object Mode".

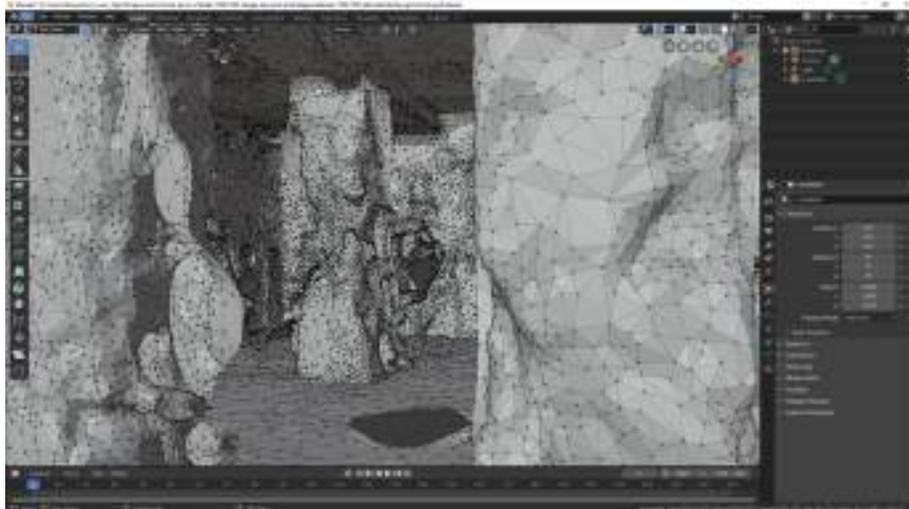


FIGURE 6.18 – Salle des piliers en maillage brut

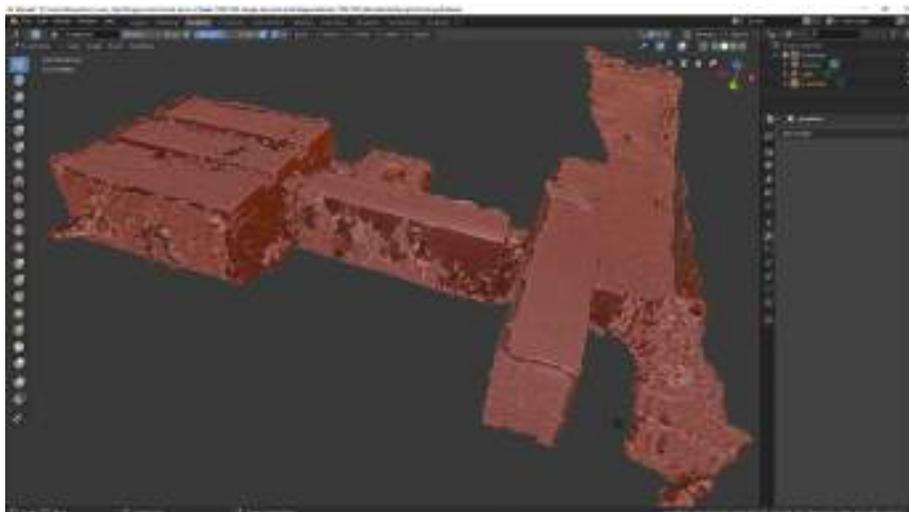


FIGURE 6.19 – Sculpture mode dans Blender, permettant de retoucher le maillage en agissant avec un "pinceau".



FIGURE 6.20 – Image obtenue en appliquant les textures de "rock" au modèle simplifié et en créant une boîte d'environnement avec une certaine granulométrie des particules de l'air contenu dans la boîte.



FIGURE 6.21 – Première application des textures à partir des orthophotos découpées dans Cloud Compare.

Lors de l'importation des textures en mode "UV editing" puis en dans le "Shading mode" il est possible grâce à des "nodes" de définir les propriétés des matériaux et donc des textures, on choisit ici d'avoir des paramètres élevés d'absorption de la lumière, car plus réaliste par rapport à ce qui a pu être observé en photo (et par après dans la réalité).

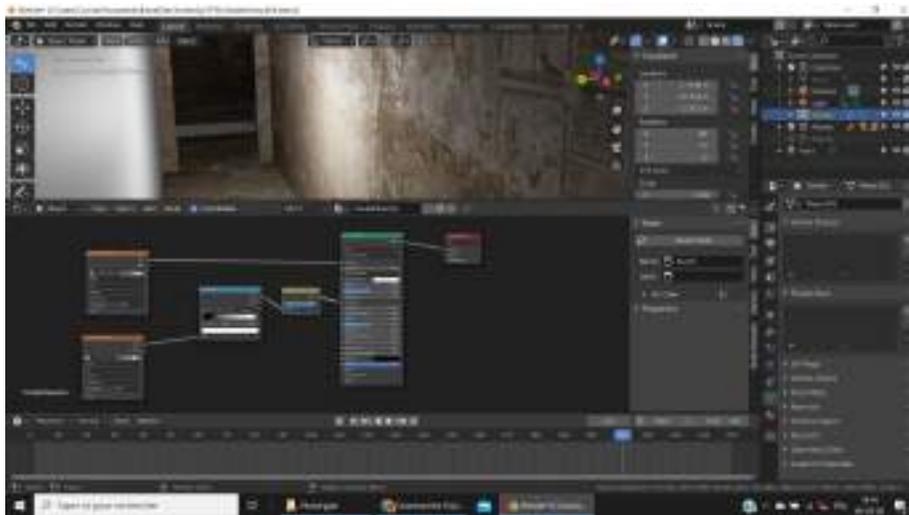


FIGURE 6.22 – Paramètres relatifs au paramétrage de la texture

7 Confrontation avec la réalité

« Si nous attribuons les phénomènes inexplicés au hasard, ce n'est que par des lacunes de notre connaissance. »
Pierre Simon De Laplace.

7.1 Observations de la TT96 et de son contexte



FIGURE 7.1 – Panorama à proximité immédiate de la TT96. Au premier plan Dimitri Laboury regarde en direction du Temple de Karnak, orientation très probablement privilégiée par les architectes de la TT96 lorsque l'on se remémore que Sennefer était le gardien, entre autre, des jardins d'Amon, vers lesquels regarde la tombe.

Le fait de pouvoir se rendre sur place quelques-jours a permis de vérifier que les premiers résultats étaient cohérents avec la réalité et surtout cela a permis de s'imprégner de l'atmosphère du lieu ce qui est essentiel pour une bonne restitution Dans le modèle virtuel.



FIGURE 7.2 – Alexis Den Doncker travaillant sur la façade droite de la salle longitudinale.

La première observation réalisée est l'intensité de la lumière du Soleil, celle-ci est véritablement éblouissante, les contrastes ombres et lumière sont extrêmes. Cela a des conséquences qui avaient déjà pu être observées dans le modèle virtuel, le fait que dans la Chapelle certaines zones se retrouvent dans une obscurité presque totale alors qu'à quelques centimètre de ces zones se trouve une lumière forte et abondante. Ainsi on arrive à la conclusion que la lumière directe joue un rôle essentiel dans l'éclairage de la tombe, alors que la lumière réfléchie est limitée. Néanmoins ce propos est à relativiser avec le fait que les peintures ont été très dégradées, laissant apparaître à la surface des murs le calcaire hétérogène fragmenté qui absorbe énormément de lumière, ne laissant que peu de rayons se propager dans la tombe.



FIGURE 7.3 – Vue vers l'entrée de la tombe depuis la salle des piliers

Par ailleurs ce côté ruine contribue grandement à l'Atmosphère, après tout l'objectif ici est de d'abord restituer la lumière à travers l'hypèthre, il est aussi intéressant de voir cela avec ou sans parois lisses.

La deuxième chose importante est l'observation in situ de la porte de la Chapelle, et la comparaison avec les autres tombes, en particulier la TT93 (voir photo), celle-ci a en effet conservé une partie de l'encadrement de sa porte, ce qui donne une idée de ce qu'on aurait pu avoir pour la TT96.



FIGURE 7.4 – Entrée de la salle longitudinale très détériorée.

Il est important de noter également les différences de températures ressenties entre l'intérieur et l'extérieur de la Chapelle, bien que sans surprise étant donné qu'il s'agit d'un édifice construit dans la falaise, l'intérieur est à température constante dépassant facilement les 25°C dans la salle des piliers, en revanche l'extérieur subit, là encore sans grande surprise, des variations d'amplitude très

élevée toute la journée.

Cela permet, lorsque l'on est dans la chapelle, de ressentir véritablement une sensation de cocon protecteur. Cette sensation doit être transcrite dans le modèle 3D. Enfin cette visite a permis de capturer avec l'œil directement les couleurs réelles du lieu, car chacun sait que les photos ont tendance à déformer la réalité.

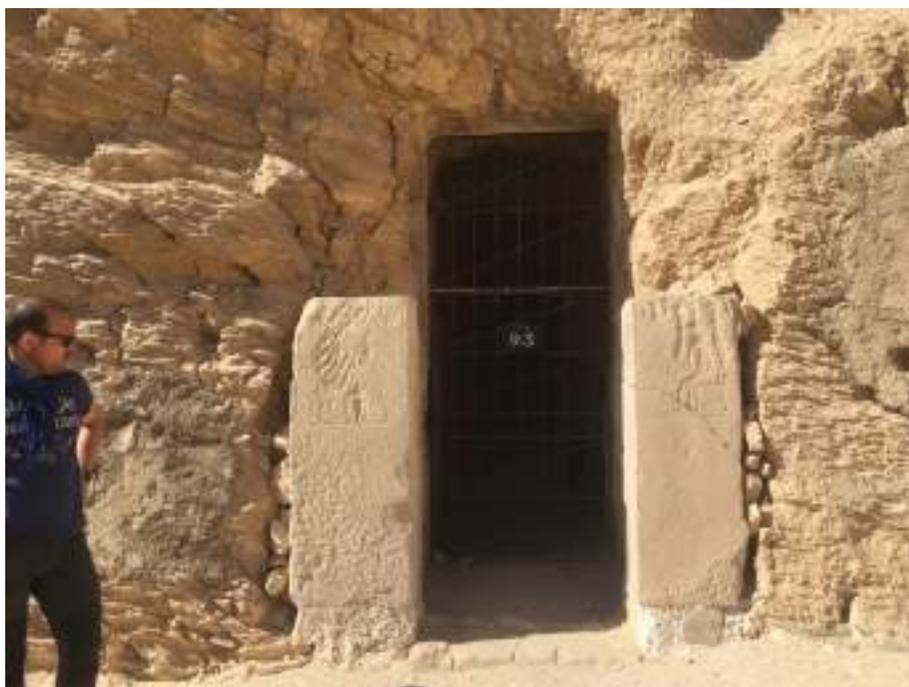


FIGURE 7.5 – Encadrement probable de la porte de la TT96, visible sur la TT93 juste au dessus de la TT96.



FIGURE 7.6 – Vue depuis la toiture de la TT96, le contexte immédiat permet d’observer un grand nombre d’autres tombes dont on devine facilement les entrées dans le paysage.

Pour terminer on peut résumer en disant que la visite sur place a permis de comprendre le génie du lieu, ou "Genius loci²⁶", terme souvent utilisé en architecture pour désigner la plupart des sensations physiques rencontrées lors de la visite d’un lieu.

26. Genius loci est une locution latine qui peut se traduire en français par « esprit du lieu ». D’un côté, l’esprit fait référence à la pensée, aux humains et aux éléments immatériels. De l’autre côté, le lieu évoque un site, un monde physique matériel. Son utilisation dans la culture populaire renvoie généralement à l’atmosphère distinctive d’un endroit, d’après Wikipédia.

7.2 Quelques tombes de la Nécropole thébaine et leurs environs

La Nécropole thébaine regorge de plusieurs centaines de tombes somptueuses, voici présenté dans cette section très petite sélection d'images permettant d'avoir une vision plus large sur le sujet.



FIGURE 7.7 – Vallée des Reines, à proximité de la tombe de Titi.



FIGURE 7.8 – Scène photographiée à l'entrée de la tombe de Titi dans la Vallée des Reines.



FIGURE 7.9 – Plafond de la chambre funéraire de la TT96B, facilement reconnaissable à ses vignes qui ont fait sa célébrité.



FIGURE 7.10 – Vue en direction de la Vallée des Reines, prise à quelques mètres du plafond de la TT96.



FIGURE 7.11 – Chapelle de REKMIRÊ, son plafond monte progressivement jusqu'à 8m de haut à son extrémité.



FIGURE 7.12 – Mur finement sculpté dans la tombe de R'Mose, les détails des cheveux sont saisissants.



FIGURE 7.13 – Tombe de Ramses VI dans la vallée des Rois, ici nous sommes au milieu de la tombe, 4 piliers richement décorés marquent la descente plus raide vers le tombeau du pharaon.



FIGURE 7.14 – Tombe de Ramses VI, le serpent Apophis probablement, accompagnant la descente vers la chambre funéraire.



FIGURE 7.15 – Tombe de Ramses VI, plafond.

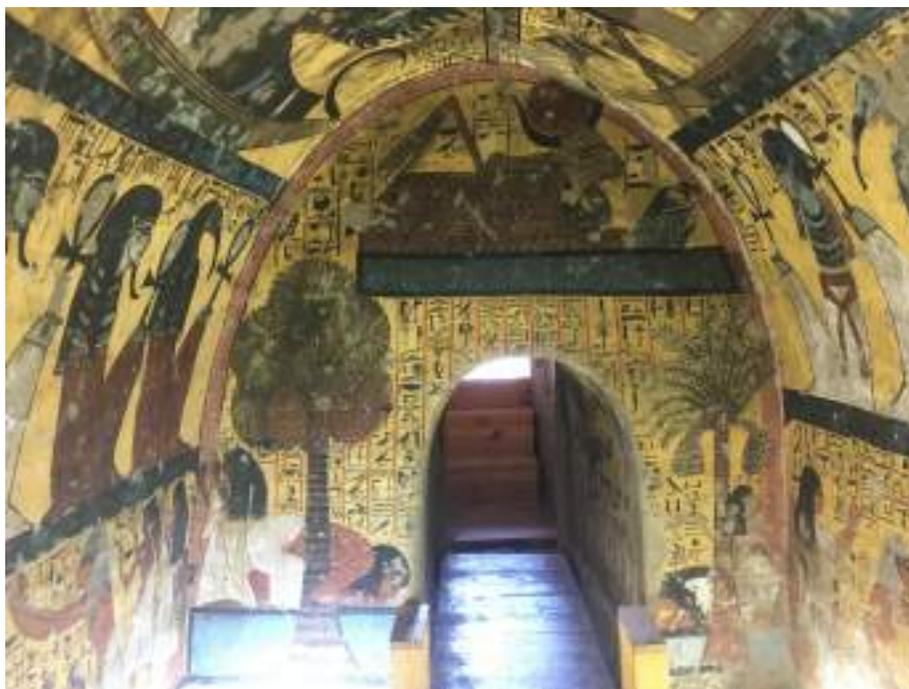


FIGURE 7.16 – Petite tombe d'ouvrier dans le village des ouvriers à Deir el-Medina, travaillant pour les nobles et les pharaons, la qualité des peintures est stupéfiante.



FIGURE 7.17 – Exemple de petite tombe réalisée pour un ouvrier qui travaillait pour les nobles ou les pharaons, on remarque encore une fois l'extraordinaire qualité des peintures.



FIGURE 7.18 – Vue en direction du Nil depuis le village des ouvriers qui œuvraient à la construction des tombes thébaines.

8 Maquette Finale

« Lorsque deux forces sont jointes, leur efficacité est double. »
Isaac Newton.

La réalisation de la maquette virtuelle finale a été rendue possible grâce à Blender, le logiciel cumule un certain nombre de qualités qui ont contribué à son éléction.

Tout d'abord il est capable de traiter un grand nombre d'informations avant de rencontrer des problèmes de ralentissement ou de "crasher". Cette question n'est pas le seul fait du logiciel mais l'expérience montre que Blender mobilise très bien les ressources de l'ordinateur, optimisant les capacités de l'ordinateur. Cela permet de traiter des modèles très lourds comme la maquette finale (1,3 gigas) et pour pouvoir simuler une propagation réaliste de la lumière dans la tombe il est nécessaire de disposer de l'ensemble des parois et de leur complexité (absorptions et réflexions résultant de poches, failles, peintures, fragments calcaire etc...)

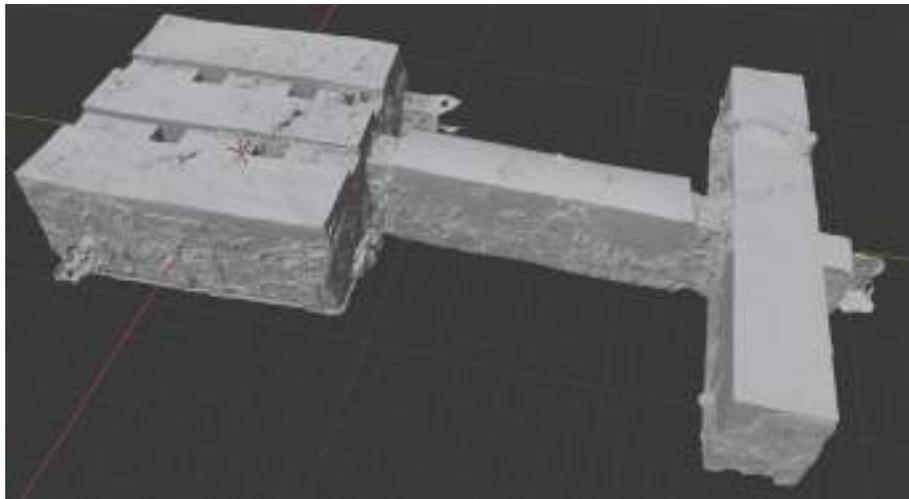


FIGURE 8.1 – Modèle réalisé dans Blender, vue d'ensemble.

Ensuite la qualité de la lumière naturelle, avant même la confirmation grâce au Voyage effectué sur place en Égypte, avait été convaincante. Après le voyage ils étaient devenus la référence pour la suite du travail car la réalité observée in situ était très proche de ces premiers résultats de simulation.

Enfin notons un détail non négligeable, Blender est un logiciel entièrement gratuit, bénéficiant d'un grand nombre de tutoriels sur internet²⁷. Ces différentes qualités considérées comme essentielles à la bonne réalisation du modèle virtuel final justifient l'emploi de Blender.

²⁷. Il faut toutefois noter que tout ou presque est en anglais, une connaissance basique de l'anglais permet d'aborder rapidement Blender.

8.1 Maquette de la TT96 en l'état actuel avec libération de l'hypèthre

Cette maquette, comme les précédentes, dégage l'hypèthre pour apporter la lumière naturelle à la fois via la porte et via son hypèthre. Pour réaliser ce modèle dans Blender un certains nombre de nouveaux outils, en particulier les outils "Decimate Modifier" et "UV Unwrapping" ont été nécessaires et il est important de noter que les fichiers objets(terminaison .Obj) des orthophotos ont été grandement exploités.

8.1.1 Utilisation de l'outil "Decimate Modifier"

Grâce à Blender il est possible d'importer des fichiers objets²⁸ et d'en conserver les textures (ici les photos) et le maillage. Ensuite en utilisant l'outil "Decimate modifier" on peut détruire le maillage pré-existant mais conserver la forme de la texture (mapping). Ensuite on peut remplacer la texture par une image issue des découpages orthophotos en réduisant leur qualité pour encore une fois diminuer la taille du fichier traité dans Blender, par exemple grâce au logiciel Paint. En conservant son "mapping" donc la forme qu'elle avait sur l'objet Cela permet de replacer l'image de taille réduite sur le maillage réduit également tout en conservant la forme de la texture, donnant l'illusion que le maillage est toujours aussi complexe.

28. Il est nécessaire de réduire la taille de l'objet importé avec l'outil échelle(scale), la valeur de réduction d'échelle à entrer est de 0.01.



FIGURE 8.2 – Exemple de "mapping" de texture, ici zoom un détail de la paroi gauche de la salle longitudinale(Large Hall Left).

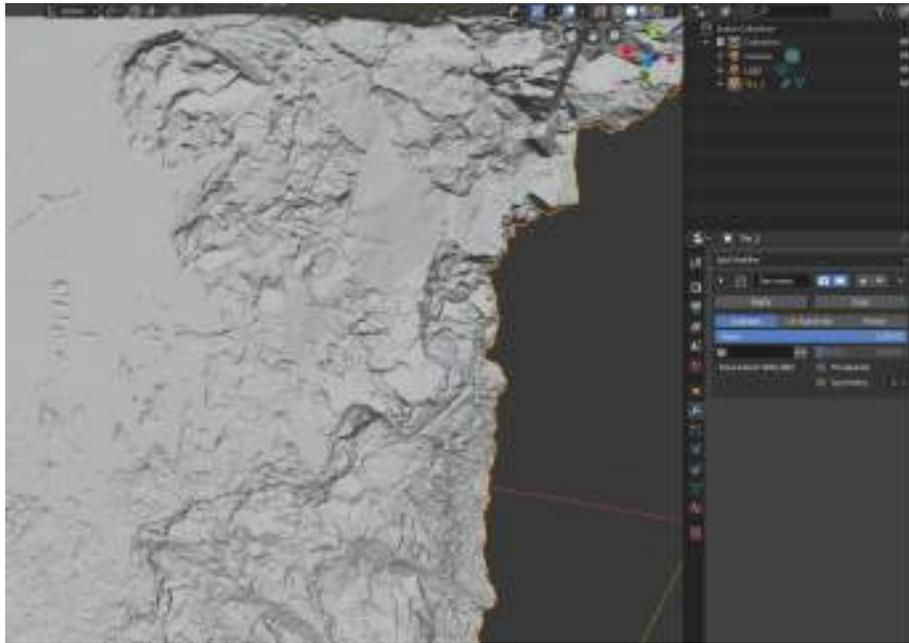


FIGURE 8.3 – Avant utilisation de l’outil Decimate-Collapse sur la paroi gauche de la salle longitudinale(Large Hall Left).

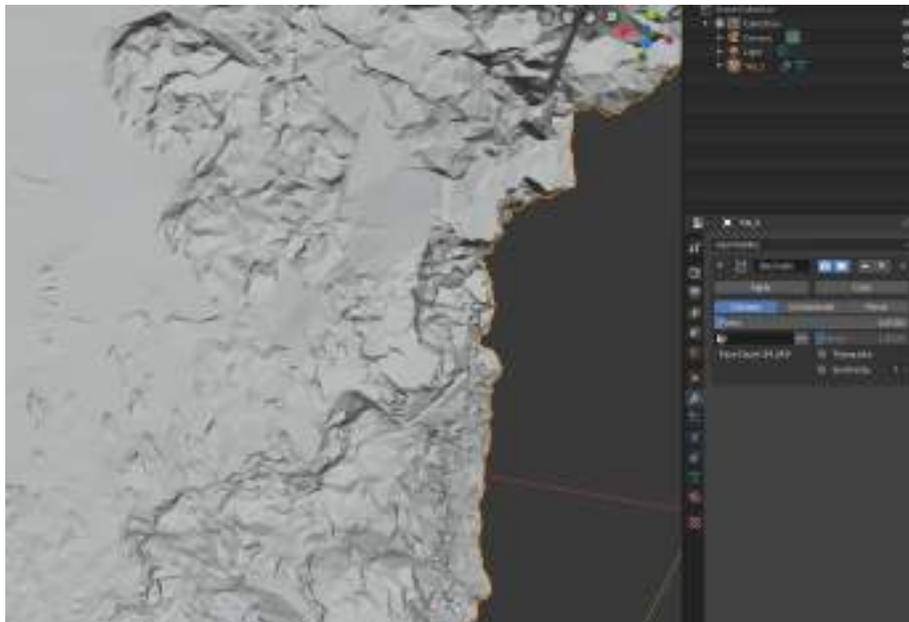


FIGURE 8.4 – Après utilisation de l’outil Decimate-Collapse sur la paroi gauche de la salle longitudinale, valeur de réduction appliquée dans collapse : 0.05.



FIGURE 8.5 – Salle des piliers vue dans le modèle final avec le maillage réduit grâce à l’outil Decimate modifier



FIGURE 8.6 – Vue de la salle des piliers sans rendu des textures



FIGURE 8.7 – Vue de la salle des piliers avec rendu des textures



FIGURE 8.8 – Rendu de la salle des piliers e lumière artificielle

8.1.2 Utilisation de l'outil "UV Unwrapping"

L'outil UV Unwrapping permet de sélectionner un objet et de déplier les faces sur lesquelles seront appliquées les textures. Très utile lorsque l'on recrée une paroi complète de manière artificielle et que l'on cherche ensuite à y appliquer les photos de textures extraites du modèle orthophotographique.

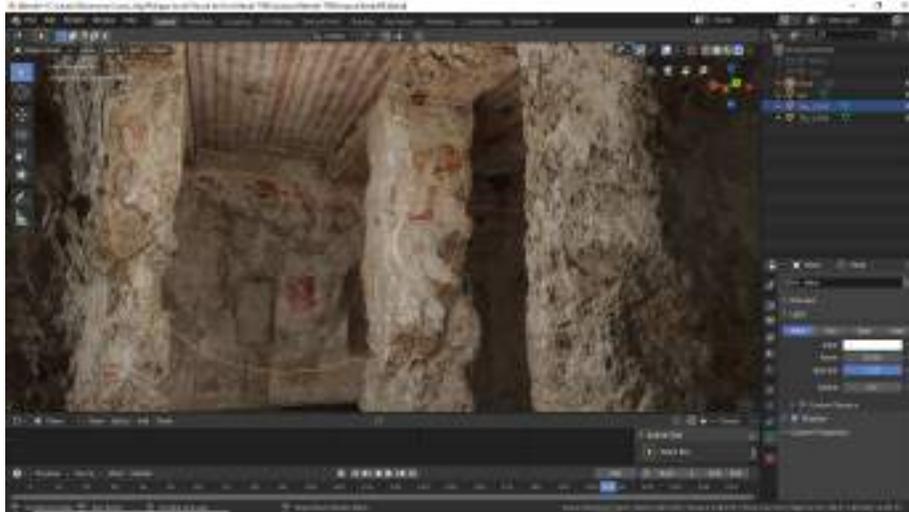


FIGURE 8.9 – Placement d'une lumière artificielle au centre de la salle des piliers.

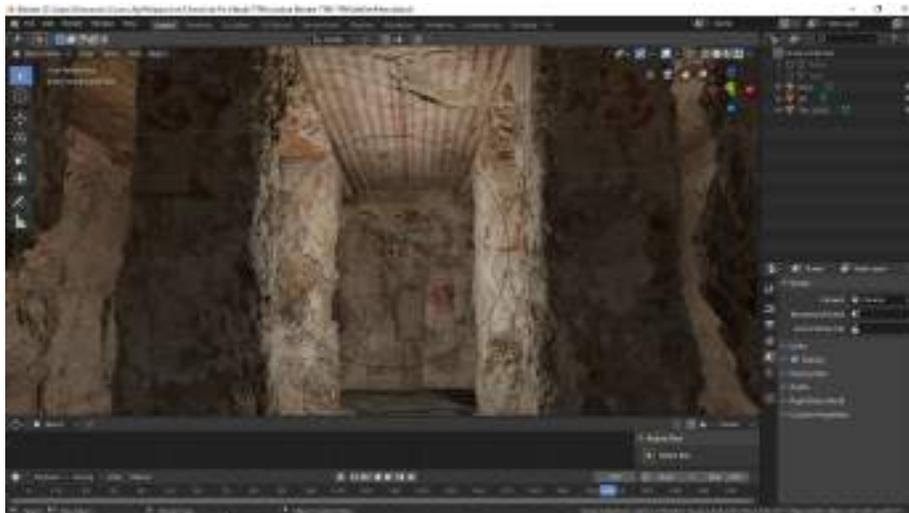


FIGURE 8.10 – Autre vue de la salle des piliers

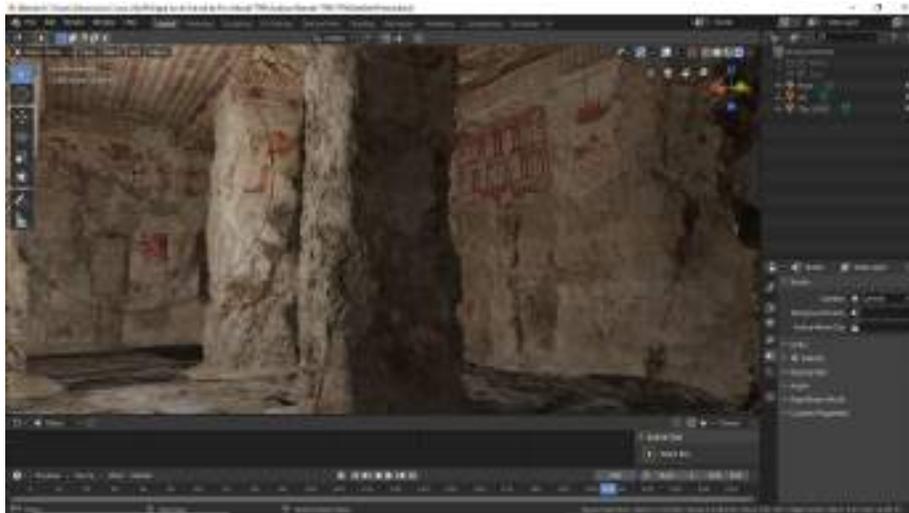


FIGURE 8.11 – Partie droite de la salle des piliers

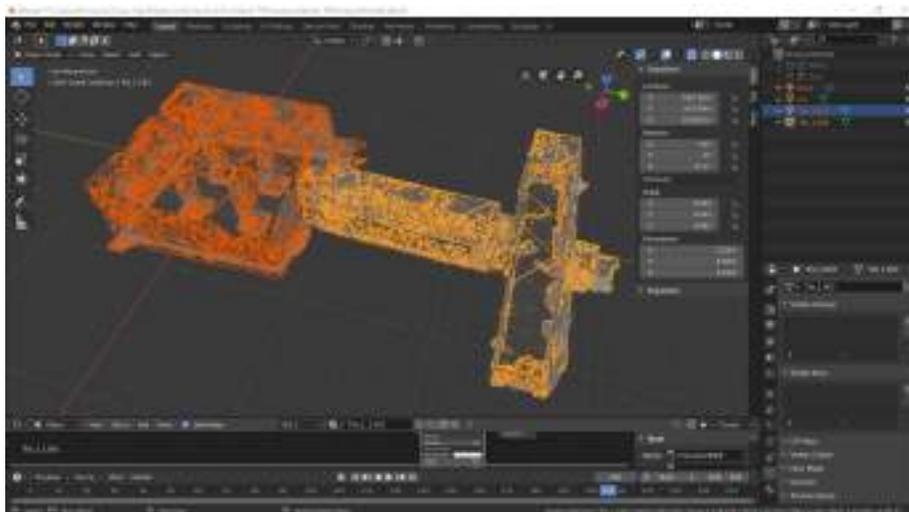


FIGURE 8.12 – Vue générale qui montre les tuiles du modèle objet orthophotographique importées une par une dans Blender puis modifiées.

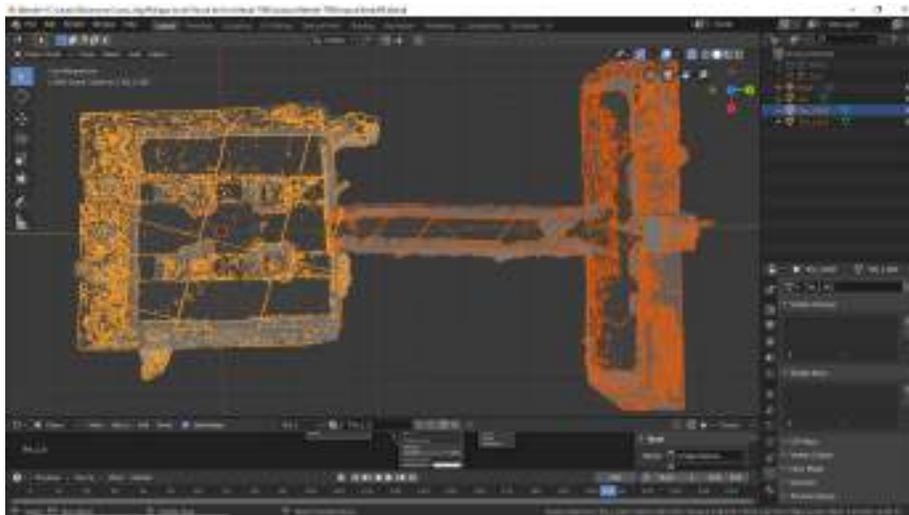


FIGURE 8.13 – Vue générale qui montre les tuiles du modèle objet orthophotographique importées une par une dans Blender puis modifiées.

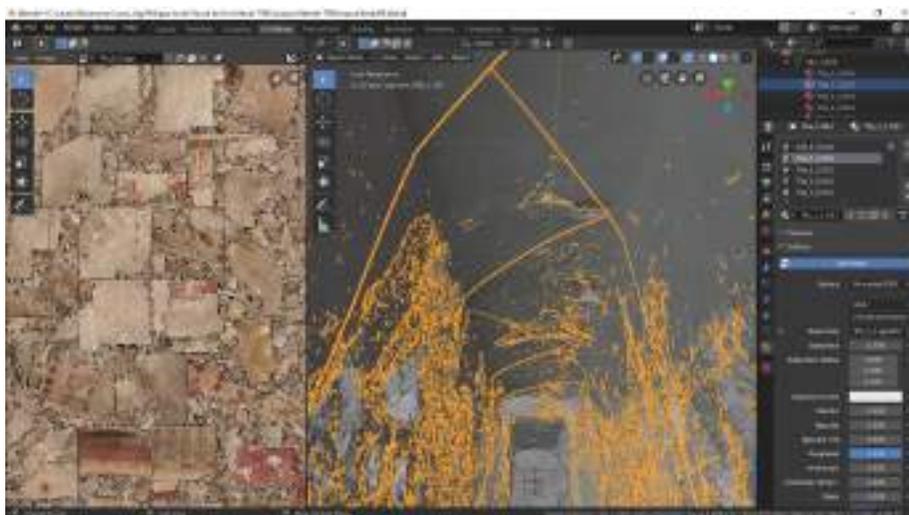


FIGURE 8.14 – En mode "UV editing" on peut observer à gauche la texture en tuiles



FIGURE 8.15 – Zoom d'un rendu dans la salle des piliers.

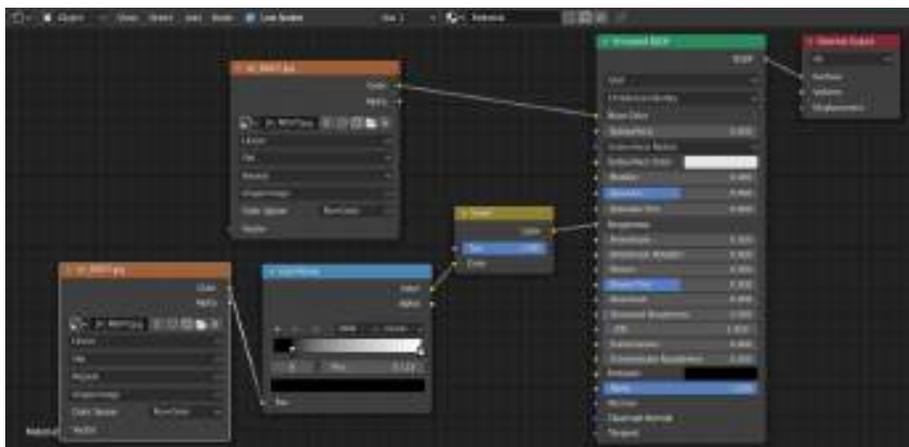


FIGURE 8.16 – Paramétrisation des textures

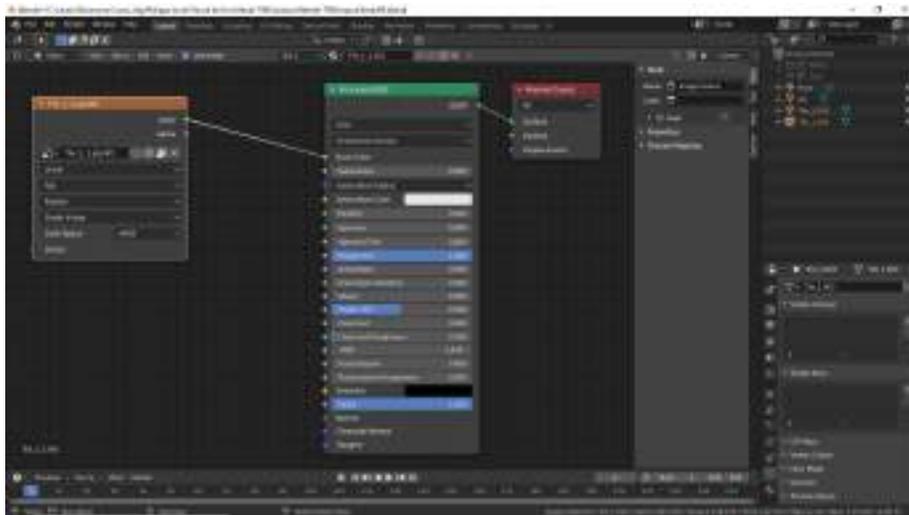


FIGURE 8.17 – Paramétrisation des textures

8.2 Maquette avec les parois lisses, plus proche de ce qui a pu exister dans l'Antiquité, au Nouvel Empire

La deuxième maquette réalisée permet de simuler la propagation de la lumière sur des murs lisses, car à l'origine on peut facilement imaginer que tout les murs de la tombe étaient recouverts de peintures et que les parois et plafonds étaient des surfaces plus ou moins lisses. Ce modèle a été réalisé grâce à l'application des orthophotos sur les différentes parois et plafonds, en utilisant les mêmes outils que pour les maquettes simplifiées dans les précédents chapitres. Le fait d'avoir des parois lisses accroît la luminosité dans l'ensemble de la chapelle. Voici les résultats :



FIGURE 8.18 – Salle des piliers illuminée avec les portes ouvertes



FIGURE 8.19 – Salle des piliers illuminée avec l'hypèthre seul



FIGURE 8.20 – Porte de la salle longitudinale juste avant d'entrer



FIGURE 8.21 – Porte de la salle longitudinale ouverte



FIGURE 8.22 – Vue du faisceau de lumière provenant de l’Hypèthre dans la salle transversale.



FIGURE 8.23 – Vue dans l’embrasure de la porte menant à la salle longitudinale



FIGURE 8.24 – Vue depuis le milieu de la salle longitudinale



FIGURE 8.25 – Ouverture de la porte donnant accès à la salle des piliers



FIGURE 8.26 – Ouverture de la porte donnant accès à la salle des piliers, éclairage produit lorsque toutes les portes sont ouvertes



FIGURE 8.27 – Vue vers le fond de la salle des piliers lorsque seule la lumière de l’hypèthre est présente et que la porte donnant accès à la salle des piliers est fermée dans le dos.



FIGURE 8.28 – Vue de côté de la salle des piliers lorsque seule la lumière de l’hypèthre est présente et que la porte donnant accès à la salle des piliers est fermée dans le dos.



FIGURE 8.29 – Vue vers le fond de la salle des piliers lorsque toutes les portes sont ouvertes.

Il est peu probable que les égyptiens de l'antiquité aient cherché à augmenter artificiellement la lumière dans la tombe aux moyens d'artifices telles que des miroirs ou autres objets réfléchissant²⁹. Le modèle actuel se concentre donc sur la seule lumière naturelle entrant par l'hypèthre, et les portes, en cherchant à prendre en compte sa réflexion, absorption et diffusion dans la chapelle.

²⁹. Réponse donnée par Dimitri Laboury lors de la conférence qu'il a donnée le 28 février 2020 dans la salle académique de l'Université de Liège pour répondre à la question d'un auditeur à ce sujet.

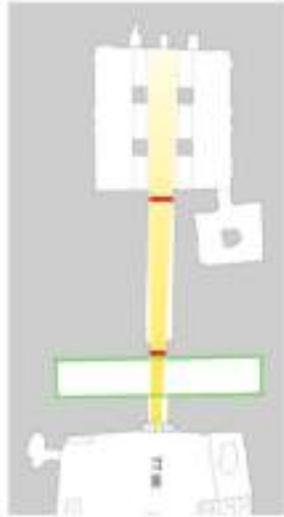
9 Dédution du parcours du visiteur et de la lumière à partir des résultats obtenus avec les modèles virtuels, proposition de mise en scène

"D'autres éléments intermédiaires entre l'œuvre et celui qui regarde pourront aussi être adoptés comme moyens physiques de transmission de l'image. En tout premier lieu, se place alors la qualité de l'atmosphère et de la lumière. Une certaine atmosphère limpide et une lumière éclatante peuvent avoir été choisies comme le lieu même de la manifestation de l'image, au même titre que le marbre, le bronze ou une autre matière.

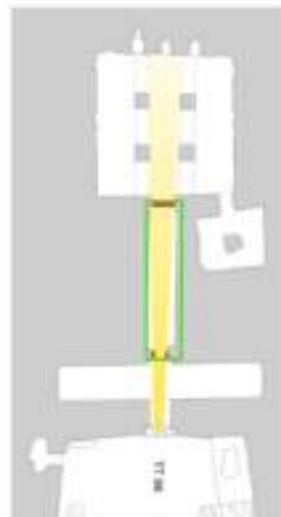
Il serait donc inexact de soutenir que pour le Parthénon, on a utilisé comme moyen physique seulement le marbre pentélique, car l'atmosphère et la lumière dans lesquels il se trouve sont matière non moins que celui-ci. C'est pourquoi enlever une œuvre d'art de son lieu d'origine ne pourra être justifié que par le motif supérieur de sa conservation."

Brandi 1963

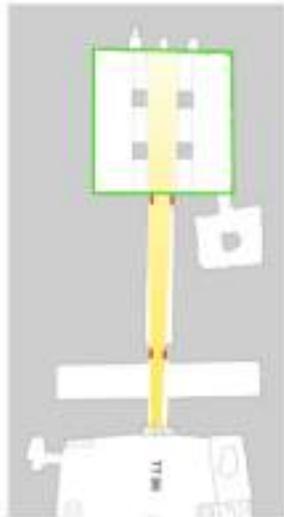
Configuration 1



Configuration 2



Configuration 3



Configuration 4



FIGURE 9.1 – Entrée dans la chapelle, contemplation du hall d’entrée.

Le parcours du visiteur et de la lumière peut être résumé en quatre grandes étapes, ou configuration, qui donnent tantôt une importance à une salle plus qu’à une autre en vue de faire passer un message et une attitude à adopter du

visiteur, c'est à dire une posture respectueuse et contemplative du lieu.

9.1 Première configuration : Entrée dans la chapelle

La première configuration amène le visiteur dans la salle transversale, laquelle se trouvant proche de l'entrée principale bénéficie naturellement d'une lumière intense, néanmoins lorsque l'on s'écarte du chemin tracé par la lumière sur l'axe est-ouest on sombre très rapidement dans les ténèbres profonds, c'est pour cette raison que la porte donnant accès à la salle longitudinale doit rester en position fermée à cet instant, de cette manière elle permet la réflexion de la lumière sur les autres parois, concentrant la réflexion dans la salle transversale à ce moment là.

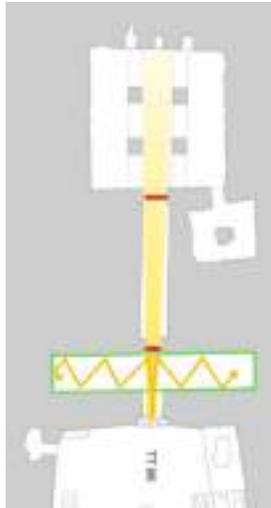


FIGURE 9.2 – Entrée dans la chapelle, contemplation du hall d'entrée.

9.2 Deuxième configuration : Entrée dans la salle longitudinale

La deuxième configuration met en valeur la salle "ascensionnelle" qui permet de progressivement passer du monde profane au monde spirituel.

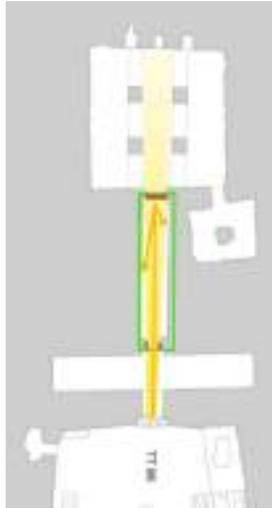


FIGURE 9.3 – Entrée dans la chapelle, contemplation du hall d'entrée.

9.3 Troisième configuration : Entrée dans la salle des piliers complètement illuminée

Dans la troisième configuration en poussant la dernière porte le visiteur est en situation de surprise en découvrant l'immensité de la salle à piliers, lesquels piliers en plus d'être monumentaux, ne permettent pas à l'œil de pouvoir balayer la totalité de la pièce, ce qui crée une atmosphère mystérieuse et intimidante qui invite au respect et à la prudence car on ne perçoit pas l'espace dans sa totalité.

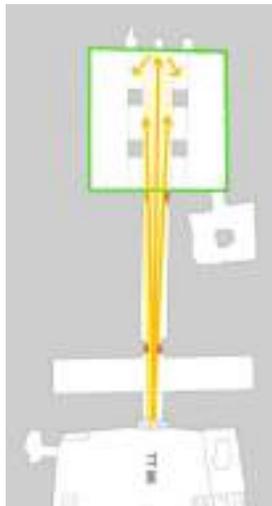


FIGURE 9.4 – Entrée dans la chapelle, contemplation du hall d'entrée.

9.4 Quatrième configuration : Entrée dans la salle des piliers illuminée par l'hypèthre

La dernière configuration est celle où la dernière porte se referme dans notre dos et l'on se retrouve dans la salle à piliers avec la seule lumière provenant de l'hypèthre comme point lumineux tout au fond de la chapelle. Cette lumière vient frapper le lieu de représentation de Sennefer et de son épouse mettant le couple au centre du regard en plein milieu d'un espace complètement obscur, une sorte de néant où seul le couple éclairé par la lumière parvient à s'extirper, devenant le seul point auquel on puisse se raccrocher, rassurant le visiteur.

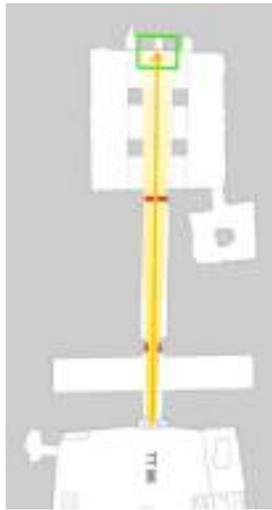


FIGURE 9.5 – Entrée dans la chapelle, contemplation du hall d'entrée.

"La lumière crée l'ambiance et la sensation d'un lieu, ainsi que l'expression
d'une structure"
Le Corbusier

10 Conclusion

Si l'on se place du point de vue de l'architecte en considérant comme, par exemple, Le Corbusier que " La lumière crée l'ambiance et la sensation d'un lieu" alors on peut légitimement considérer que la recherche de la manière dont la lumière "construisait" un lieu est essentiel à sa compréhension. Le travail produit ici a permis d'apporter quelques explications sur le rôle joué par la lumière dans la tombe de Sennefer, et ainsi il a été possible de se rapprocher de l'atmosphère recherchée par les concepteurs de la tombe. Il est donc possible, à partir des nombreuses données décrites précédemment, de rendre compte d'une certaine atmosphère³⁰ qui a pu exister à un moment donné dans la Chapelle de Sennefer. Grâce à l'abondance et à la qualité de ces données et à la variété des techniques d'observation utilisées (croquis, dessins, témoignages, photos, orthophotos, nuages de points, maillages) couplés à l'utilisation d'un grand nombre de logiciels de représentation virtuelle en confrontation avec la réalité on peut approcher cet atmosphère disparue et la restituer graphiquement avec le souci constant de rendre compte le plus fidèlement possible de la réalité. D'après les observations effectuées et les simulations réalisées sur ordinateur il semble que chacune des trois salles était cloisonnées grâce à l'utilisation de portes surmontées d'hypèthes.

Ces portes remplissaient un double rôle : un rôle pratique et un rôle symbolique, comme c'est souvent le cas avec les monuments de l'Antiquité.

Le premier étant de séparer les espaces, créant une "mise en scène progressive" au fur et à mesure que l'on avance vers la partie la plus sacrée : la salle des piliers où reposent les statues de Sennefer et de son épouse.

Ses portes invitaient le visiteur à marquer un temps d'arrêt avant de passer d'une salle à l'autre. Une pause respectueuse pour le défunt et utile pour la mise en scène qui permet de s'imprégner du lieu, de découvrir son atmosphère et son esprit.

Ensuite ces portes permettaient probablement une abondante réflexion de la lumière qui pénétrait dans la tombe, mettant en valeur les textes et peintures présents dans chacune des trois grandes salles constituant la chapelle : la transversale, la longitudinale et la salle des piliers.

Cette mise en lumière est d'autant plus efficace que les portes se situent toutes dans le même axe, que l'on soit à n'importe quelle heure de la journée l'ouverture de la porte d'entrée provoque un "déferlement de lumière" selon l'axe des portes, l'axe est-ouest. Et ce torrent de lumière est arrêté par les portes.

L'ouverture progressive des portes permet de déverser progressivement la lumière d'un compartiment à un autre. Il faut voir ici la lumière comme un fluide et les portes comme des vannes que l'on ouvre progressivement.

Si l'on peut se permettre une analogie il faudrait voir cette mise en scène comme un ascenseur à bateaux, permettant à un navire de franchir une différence de dénivellation. Cette dénivellation serait en quelque sorte la hauteur qui sépare le profane du sacré. La salle transversale constituant le bac de remplissage, la salle

30. Rappelons-le, on parle bien ici d'atmosphère visuelle.

longitudinale étant le plan incliné permettant l'ascension, et la salle des piliers le point le plus haut que l'on cherche à atteindre. Et à chacune des étapes on a le temps de contempler l'espace qui nous entoure. L'hypèthre, en plus d'apporter la lumière naturelle, joue un rôle de guide à travers le parcours effectué, maintenant une connexion permanente entre les espaces, il permet à l'âme du défunt de rester en connexion avec l'extérieur. Enfin lorsque l'on se trouve dans la salle des piliers en ayant refermé la porte derrière soi, l'hypèthre apporte la lumière sur la zone dévolue aux statues de Sennefer et de son épouse, leur mise en lumière est totale, car comme cela a été prouvé grâce aux mesures de l'intensité lumineuse, à ce moment-là le contraste est tel qu'il n'est pas possible de regarder autre chose, terminant ainsi la mise en scène de Sennefer.

L'atmosphère est une chose qui se vit, les textes de l'architecte Peter Zumthor³¹ à ce sujet rendent bien compte de la complexité de la question. Néanmoins avec une bonne restitution graphique il est possible de solliciter indirectement les autres sens. En témoigne la manière de travailler des architectes, ce sont souvent les documents graphiques et la maquette, réelle ou virtuelle, qui sont privilégiés par celui-ci pour communiquer un projet d'architecture.

Le modèle créé ici est incomplet, l'idéal serait d'aller encore plus loin en intégrant de nouvelles composantes au modèle virtuel jusqu'à idéalement mobiliser les cinq sens qui définissent tous ensemble l'atmosphère d'un lieu. Mais est-ce vraiment nécessaire d'aller aussi loin ?

Restituer une atmosphère, une impression, c'est ce que recherche la réalité virtuelle aujourd'hui, et c'est ce que recherchaient aussi les premiers peintres impressionnistes de la fin du XIXème siècle, lesquels avaient réussi à restituer l'atmosphère en ne mobilisant que notre œil.

J'espère que le présent travail permettra au lecteur d'apprécier l'atmosphère de la tombe de Sennefer avec un degré de satisfaction comparable à celui que peut procurer la toile d'un peintre impressionniste.

31. Atmosphères, Birkhäuser Verlag, 2008.

11 Bibliographie

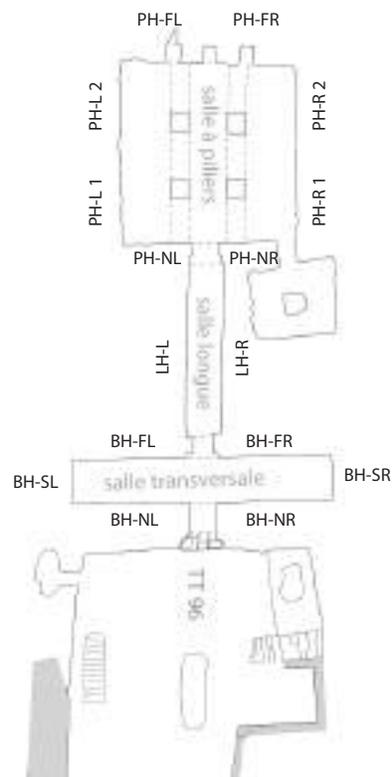
Bibliographie non exhaustive, certains éléments sont référencés dans le rapport directement en bas de certaines pages.

- DE DONCKER Alexis, « Le parcours métaphysique de Sennefer, à travers l'étude du programme iconographique de sa tombe (TT 96 A & B) »[En ligne]. Disponible sur:<<http://hdl.handle.net/2268/86945> >(consulté 19 Août 2019).
- HALLOT Pierre, LABOURY Dimitri, La tombe de Sennéfer (TT 96A), gouverneur de la ville de Thèbes à la fin du XVe s. av. notre ère (conférence donnée le 8 mars 2018 à Lille, France), <http://hdl.handle.net/2268/226404> .
- HALLOT Pierre, BILLEN Roland, POUX Floran, VAN RUYMBEKE Muriel, NEUVILLE Romain, LUCZFALVY JANCSO Andrea. « Applications des relevés 3D au patrimoine, de l'acquisition au système d'information 3D » [En ligne]. Disponible sur: <<http://hdl.handle.net/2268/202061>> (consulté le 17 Août 2019).
- KAMPP Friederike: Die thebanische Nekropole, Mainz am Rhein 1996, pp.360-364.
- LABOURY Dimitri, « Sennefer et Aménémopé. Une affaire de famille », *Égypte Afrique & Orient* 45, 2007, p. 43-52.
- ANGENOT Valérie : "Les Peinture de la Chapelle de Sennefer", *Revue Égypte, Afrique & Orient* N°45, p.21-32,2007
- BAVAY Laurent, « Thèbes (Égypte) » [En ligne]. Disponible sur : <<http://crea.ulb.ac.be/Thebes.html>> (consulté 19 Août 2019).
- Osirisnet, tombes de l'Égypte antique, Sennefer, la tombe aux vignes, TT96A et B. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.osirisnet.net/tombes/nobles/sennefer/sennefer_09.htm >(consulté le 19 Août 2019).
- TEFININ R., C. Périer-d'Ieteren, « Archéologie et conservation-restauration dans les chapelles de Sennefer (TT 96) et Aménémopé (TT 29) », *Bulletin de la Société Française d'Égyptologie* 154, 2002, p. 7-28.
- TAVIER H., « Materiam superabat opus. La conservation-restauration de la chapelle de Sennefer », *Egypte Afrique & Orient* 45, 2007, p. 33-42.
- VIREY Philippe : "La Tombe des Vignes à Thebes", *Recueil de Travaux*, Vol. XX, Liv.1, 1898; pp.211-223 et Liv.2, pp83-96.

12 Annexes

12.1 Orthophotos utilisées pour la réalisation du modèle

Remarques : Certaines photos sont vues en miroir, elles ont été replacées correctement dans la maquette virtuelle.



BH = Broad Hall NL/NR = Near Left / Right
 LH = Long Hall FL/FR = Far Left / Right
 PH = Pillared Hall

FIGURE 12.1 – Abréviations des parois



FIGURE 12.2 – Ortho LH LEFT



FIGURE 12.3 – Ortho LH RIGHT



FIGURE 12.4 – Ortho LONGITUDINALE ROOF



FIGURE 12.5 – Ortho PH LEFT



FIGURE 12.6 – Ortho PHFar



FIGURE 12.7 – Ortho PHNear



FIGURE 12.8 – Ortho PHRIGHT



130

FIGURE 12.9 – Ortho PILLAR A 1



131



FIGURE 12.10 – Ortho PILLAR A 2



132

FIGURE 12.11 – Ortho PILLAR-A-3



133

FIGURE 12.12 – Ortho PILLAR-A-4



134



FIGURE 12.13 – Ortho PILLAR-B-1



135

FIGURE 12.14 – Ortho PILLAR-B-2



136

FIGURE 12.15 – Ortho PILLAR-B-3



137



FIGURE 12.16 – Ortho PILLAR-B-4



FIGURE 12.17 – Ortho PillarC 1



FIGURE 12.18 – Ortho PillarC 2



FIGURE 12.19 – Ortho PillarC 3



FIGURE 12.20 – Ortho PillarC 4











FIGURE 12.25 – Ortho PILLAR-ROOF-FINAL



FIGURE 12.26 – Ortho TRANSVERSAL ROOF



FIGURE 12.27 – Ortho TRANSVERSAL



FIGURE 12.28 – Ortho BH-NL-NR

12.2 Résumé des pathologies de la TT96A

ARCH
1732

Technique de
Restauration
2019-2020

Prof.
DUPERROY
Françoise

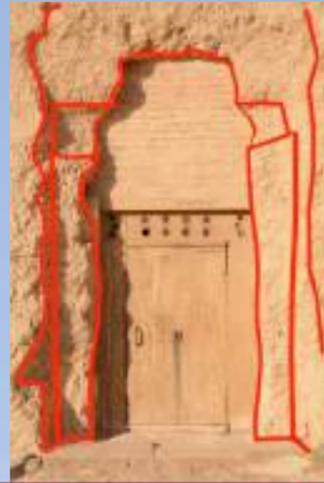


CHAPELLE DE
SENNEFER
TT96A

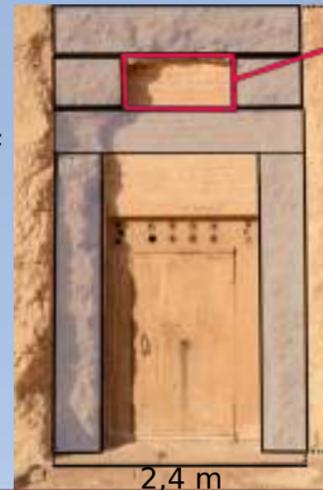
Analyse des matériaux composant la façade et des éléments ayant disparus



La chapelle de **Sennefer** (TT96A) a été creusée il y a environ 3500 ans pour Sennefer, Maire de Thèbes sous le **Nouvel Empire** durant le règne d'**Aménophis II** (1450-1425 av.J.-C.), elle se distingue des centaines d'autres dans la **colline de Cheikh Abd-el-Gourna** par son ouverture (hypèthre ou imposte) au dessus de la porte.



Les espaces creusés autour de la porte laissent peu de doute sur l'existence, jadis, d'un **encadrement en pierres** monumentales qui a été démonté par la suite. Ci-contre à droite une hypothèse sur l'aspect de cet encadrement.



Hypèthre

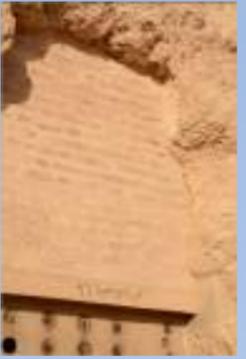
3,7m

2,4 m

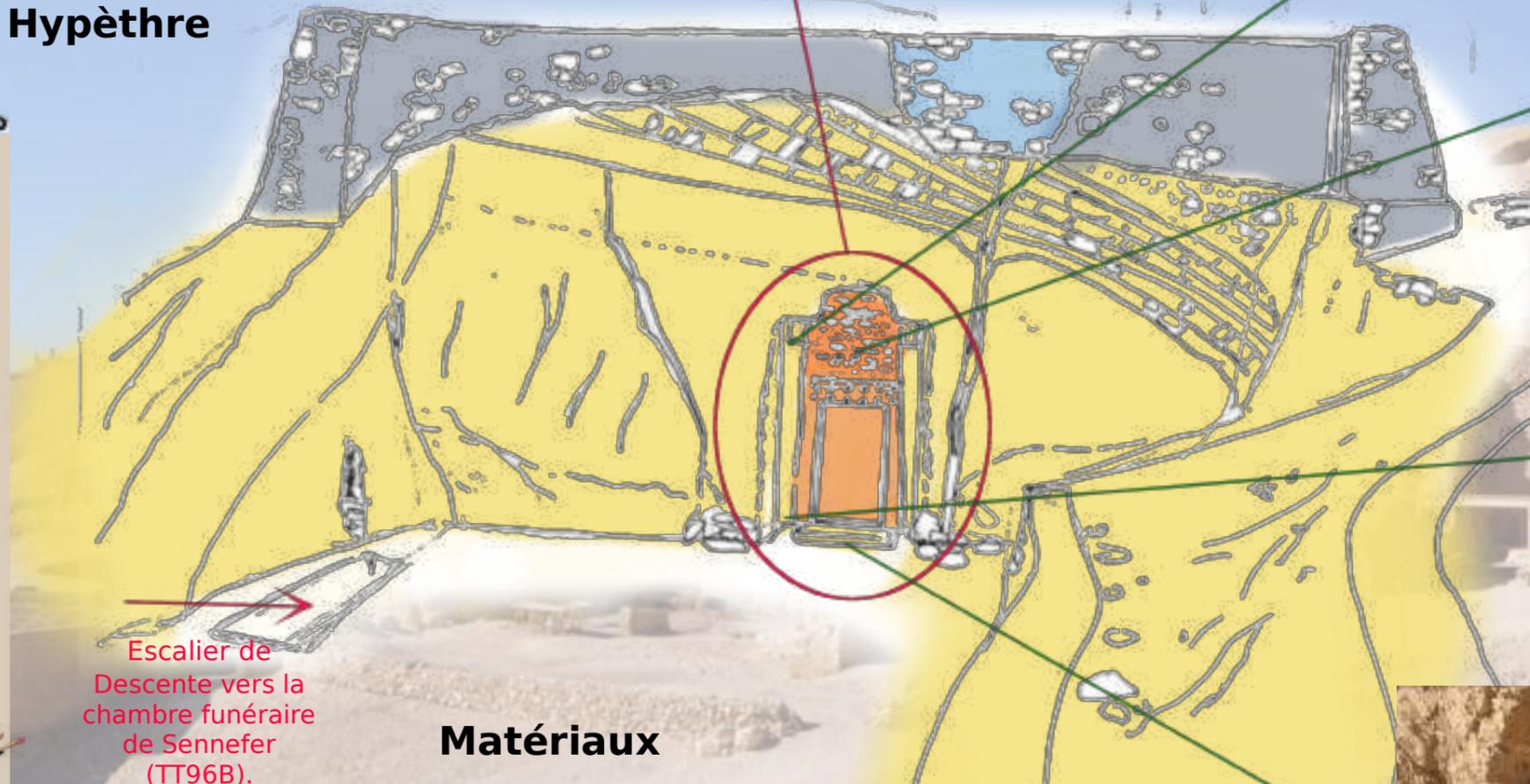
Détails des Traces d'éléments disparus



La falaise est taillée de manière à permettre l'incrustation d'un linteau et d'un jambage



Porte & Hypèthre



Escalier de
Descente vers la
chambre funéraire
de Sennefer
(TT96B).

Matériaux

- Calcaire hétérogène avec poches de marnes et de schistes.
- Briques placées par Howard Carter au début du XXe siècle pour boucher l'ouverture au dessus de la porte.
- Porte métallique placée par l'équipe de Howard Carter.
- Pierres non-appareillées XXeS.
- Pierres non-appareillées replacées après éboulement au cours du XXe siècle.



La grande ouverture comblée avec des briques par Carter aurait pu accueillir un linteau surmonté de l'**hypèthre**, permettant à la lumière d'illuminer la tombe. Elle était probablement munie d'un **volet en bois** qui pouvait être rabattu pour éviter les nuisibles (chauves-souris) d'envahirent l'espace.



Ci-contre une porte en bois typique du Nouvel empire.

La trace de ce qui semble être une **crapaudine** (Trou dans le sol) confirme l'existence d'une porte qui pouvait pivoter sur un axe et ainsi fermer la tombe. Les portes de l'époque étaient souvent en bois.

Crapaudine



Plans et orientation

étu. Sadzot Philippe

ARCH
1732

Technique de
Restauration
2019-2020

Prof.
DUPERROY
Françoise



CHAPELLE DE
SENNEFER
TT96A

Salle des piliers



Les piliers de la grande salle sont **foudroyés**, c'est à dire qu'ils ont éclaté suite à la **compression** qu'ils ont subie. On observe que la faille (a) qui était visible en façade se prolonge naturellement à l'intérieur (faille a-bis).

Peintures et enduits



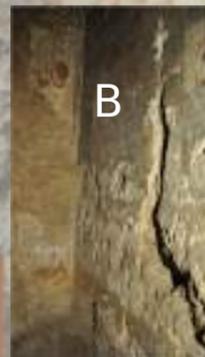
Les peintures font l'objet d'une restauration ces dernières années sur le principe de l'**intégration des lacunes** et de l'**intervention minimale**. Très bien conservées dans le tombeau de Sennefer (TT96B) elles ont été fortement endommagées dans sa chapelle (TT96A) par les premiers égyptologues (qui les nettoyaient à l'eau!) et les pillages au XXe siècle. Les **peintures** sont à la **détrempe** sur enduit sec. Les pigments sont agglutinés dans une solution liante aqueuse. Les couches picturales sont posées sur l'enduit lorsque celui-ci est sec. Ce procédé pictural de peinture murale est donc éloigné de celui de la fresque où l'enduit frais fixe les pigments dilués.



Les enduits sont constitués de plusieurs couches de minéraux extraits des gisements locaux. Après tamisage la poudre obtenue est gâchée à l'eau et appliquée à la main sur les parois rocheuses. L'épaisseur moyenne des enduits varie de 1cm à 15cm. Pour les poches à remplir on peut atteindre des profondeurs de 30-40cm. C'est dans la salle à piliers que les volumes et l'épaisseur des enduits sont les plus impressionnants. Pour faciliter l'accrochage des enduits les ouvriers laissaient des aspérités dans la roche, mais dans les cas de la TT96A, ils se sont vraiment débrouillés avec toutes les techniques d'enduisage possibles avec un **contexte géologique peu favorable** qui a pour conséquences de nombreux **détachements d'enduit**.

Point d'observation A

Salle Transversale



Naturellement la faille (b) se prolonge dans la salle transversale (b bis) à l'arrière de la façade.

Analyse géologique

Principales failles observées et commentées ici.

Fissures et failles et fractures ouvertes

Les failles, fractures ouvertes et poches karstiques étaient déjà présentes lorsque les ouvriers égyptiens ont creusé la tombe, cependant elles avaient été bouchées avec des enduits type **mouna** pour "rendre les choses plus présentables" et aussi permettre l'application des peintures. Ces failles trouvent en grande partie leur origine dans le **basculement d'un pan de la montagne thébaine**.

La diversité lithologique est le premier paramètre qui influence la qualité des matériaux vis-à-vis du creusement et de la tenue à terme des hypogées. Mais cette qualité fluctue très fortement en fonction des interactions avec les hétérogénéités dues à la fracturation, aux failles, aux fractures ouvertes, à la karstification et la pédogenèse.

Pendage

Un **basculement** d'un pan de la montagne thébaine a chahuté les lits géologiques et a provoqué les **pendages** que l'on observe en rouge sur le dessin ci-dessus.

Ce pendage accentue la fustration qui découpe les roches en polyèdres plus ou moins complexes et de tailles variées, séparés par des joints plus ou moins longs et nombreux. Cette fissuration entraîne une fragilisation des roches qui s'ajoute à celle qu'induit l'hétérogénéité lithologique de la stratification.

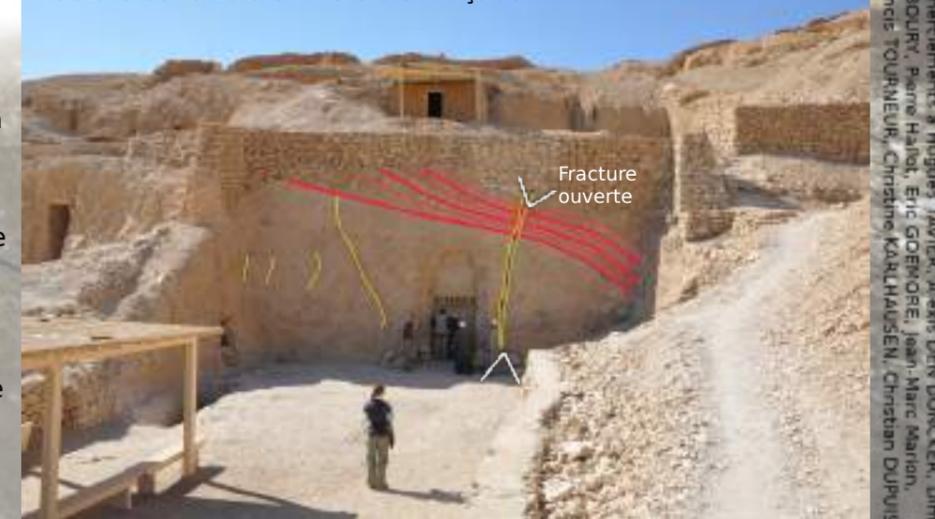
Salle longitudinale

Une seconde catégorie d'enduit a été très localement utilisée dans la salle longitudinale pour boucher les grosses poches de la paroi. Il s'agit d'enduit de limon alluvial additionné de débris végétaux hachés (paille, lin). Des éclats de calcaire y sont également inclus en guise de renforcement et afin de réduire le volume humide. Ce type d'enduit est communément nommé **mouna**. On observe sur la photo ci-contre que le mouna a été fortement utilisé pour combler les lacunes béantes de la paroi, y compris au plafond où des décrochages ont eu lieu dû à l'hétérogénéité du calcaire, très certainement déjà présentes lors de la construction de la tombe.

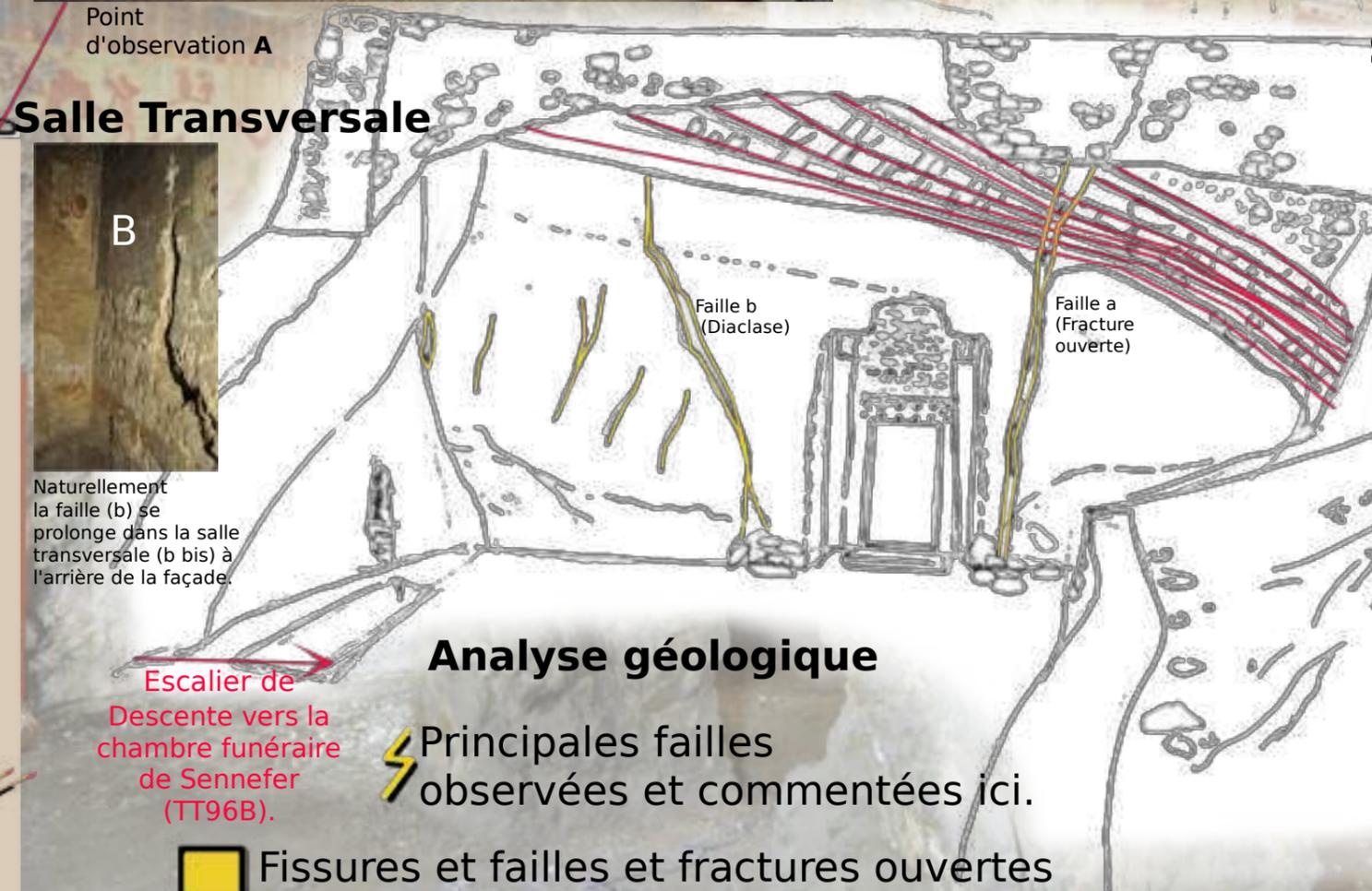


Point observé (C)

Fracture ouverte bien visible en façade



Remerciements à Hugues TAVIER, Alexis DEN DOMCKER, Dimitri LABOURY, Pierre Harlet, Eric GOENGOË, Jean-Marc Marion, Francis TOURNÉUR, Christine KÄRLAUSEN, Christian DUPUIS.



Plans et orientation

étu. Sadzot Philippe