

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلم

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire Ville, Architecture et Patrimoine



Mémoire pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN ARCHITECTURE

Modélisation pour l'architecture et le patrimoine

Thème :

**La photomodélisation comme outil d'aide au relevé
des fissures et désordres du revêtement des façades des
maisons de la Casbah d'Alger
Cas du 12, rue des frères Racim.**

Présenté et soutenu par :

Mlle BOUSSEBT Fatma Zohra

Mémoire Encadré par :

Dr KACHER Sabrina

Devant le jury composé de :

Président du jury : Dr. Brakchi

Examinateur : Mr Ait Kaci

Examinatrice : Mme. Bendjemila

Examinateur : Mr. Benouniche

Octobre 2017

Remerciements

Dans le cadre de l'élaboration du **mémoire de recherche** pour l'obtention du **diplôme de master**, je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont accueilli et qui m'ont facilité le travail effectué, afin d'accomplir les différents objectifs tracés.

Je tiens à remercier profondément et vivement mon encadreur de master, **Dr. Kacher Sabrina** pour ses évaluations et ses orientations.

Je tiens aussi à remercier les membres de Jury. Docteur **Brakchi** d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance, à Monsieur **Ait Kaci**, Madame **Bendjemila** ainsi que Monsieur **Benouniche** d'évaluer ce travail.

Je remercie également, Monsieur **Ghernouti**, ingénieur au département de la faculté centrale et mes camarades **F.Boualbani** et **A.Mahmoudi** pour leurs aides.

Je remercie encore **Mes Parents** pour leur accompagnement et leur soutien, aux personnes qui m'ont soutenu et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de près et de loin.

MERCI A TOUS

ملخص

إن تراثنا المعماري معرض للتغيير في مواجهة العوامل المناخية والبشرية، أصبحت قسبة الجزائر الآن في حالة حرجة، ومن هنا جاءت الحاجة إلى التخطيط لعمليات ترميم لحماية هذا التراث والحفاظ عليه. هذا التغيير يعرض نفسه من خلال اضطرابات وكوارث ظاهرة على مستوى المبنى، والعديد من الأمراض تجعل من الممكن التحدير من حالته ودرجة تدهوره، ولهذا الغرض وضعنا قائمة من الأمراض المحتملة التي سيتم تشكيلها. لتحقيق فهم أفضل لأصول التدهور وأسبابه والتوصل إلى تحديد دقيق للأمراض، يتم اختيار أمراض جزء الدراسة، باستهداف الأمراض التي تكون ذات طبيعة قابلة للقياس، والتي تتعلق بالأنماط والمواد التي تميز دراسة الحالة لدينا. قد ركز الاختيار على أمراض الواجهة، والتهبي الشقوق والاضطرابات في الطلاء (سقوط وتقشير). مسح للأمراض أمر مطلوب في وقت التشخيص، وهي خطوة أساسية قبل أي عملية ترميم أو إعادة التأهيل، وحتى قبل خطط التصنيفات أو الحفظ.

في جانب آخر، التقدم التكنولوجي استطاع فرض نفسه في العديد من أدوات العرض الرقمي لاستكمال هذه الدراسات لاستقصائية. غير المسح التقليدي الذي هو القراءة المترية، التي قد تزيد من عملية تدهور المبنى، ولها حدود للاستخدام في مواجهة العناصر التي يتعذر الوصول إليها، نشأت أدوات رقمية آخر لحل نقاط الضعف هذه. واحدة من هذه الأدوات هي التشكيل عن طريق الصور، تقنية الرقمنة التي تعطي إمكانية العودة وتسجيل نسخة رقمية والإبلاغ عن حالة المبنى في وقت محدد، فقط من خلال النقاط الصور.

في إطار هدف تراثي، البحث الحالي يتعلق بإنجاز مسح للأمراض من واجهة عقار من التراث على أساس الصور التي اتخذت واعتمادا على البرمجيات من التشكيل عن طريق الصور، وهكذا سنكون قادرين على مقارنة نتائج القياسات مع تلك التي تم إنشاؤها من خلال التقنية التقليدية للمسح الفني، وهي القراءة المترية.

الكلمات الرئيسية: مسح، أمراض، واجهة، صور، برمجيات، تشكيل عن طريق الصور، قياس، قراءة مترية، استنساخ رقمي، حالة الحفظ، شقوق، اضطرابات طلاء، ترميم و / أو عملية إعادة التأهيل.

Résumé

Notre patrimoine bâti est altérable ; face aux facteurs climatiques et humains, la Casbah d'Alger se trouve aujourd'hui dans un état critique, d'où la nécessité de planifier des opérations de restauration pour la protection et la conservation de ce patrimoine.

Cette altération se présente à travers des désordres et des sinistres manifestant au niveau du bâti, plusieurs pathologies permettant de prévenir son état de conservation et son degré de dégradation et dans cet objectif nous avons établi une liste de pathologies possibles à être constituées.

Pour mieux comprendre les origines des dégradations et ses causes et arriver à une détermination précise des pathologies, le choix des pathologies pour la partie d'étude c'est fait on ciblant les pathologies qui ont un caractère relevable et mesurable et par rapport aux typologies et matériaux caractérisant notre cas d'étude.

Le choix s'est focalisé sur les pathologies de façades étant les fissures et désordres du revêtement (chute et décollement). Un relevé des pathologies est exigé au moment du diagnostic, une étape indispensable avant toute opération de restauration ou de réhabilitation, même de projets de classements ou de préservation.

Dans un autre volet, le progrès technologique a fait épreuve de plusieurs outils de restitution numérique pour l'accomplissement de ces relevés. A part le relevé traditionnel étant le relevé métrique, qui lui risque d'accentuer le processus de dégradation du bâti, et présente des limites de l'utilisation face aux éléments inaccessibles, d'autres outils numériques ont pris naissance pour résoudre ces faiblesses, un de ces outils est la photomodélisation, une technique de numérisation qui donne la possibilité de restituer et d'enregistrer une copie numérique et renseigne sur l'état de l'édifice à une période bien précise, uniquement à travers des prises de photographies.

Dans une vision patrimoniale, la présente recherche concerne la réalisation du relevé des pathologies d'une façade d'un bien patrimonial à la base de photographies prises et en s'appuyant sur des logiciels de photomodélisation, ainsi, nous pourrions comparer les résultats des mesures relevés avec celles établies à travers la technique traditionnelle du relevé technique, étant le relevé métrique.

Mots clés : relevé, pathologies, façade, photographies, logiciels, photomodélisation, mesure, relevé métrique, restitution numérique, état de conservation, fissures, désordres du revêtement, opération de restauration et/ou de réhabilitation.

Abstract

Our built heritage is alterable; in the face of climatic and human factors, the Casbah of Algiers is now in a critical state, hence the need to plan restoration operations for the protection and conservation of this heritage.

This alteration is presented through disorders and disasters manifesting at the level of the building, several pathologies make it possible to prevent its state of conservation and its degree of degradation and for this objective, we have established a list of possible pathologies to be constituted.

To better understand the origins of the degradations and their causes and to arrive at a precise determination of the pathologies, the choice of pathologies for the study part is done, targeting the pathologies that are of a lifetable and measurable nature and in relation to typologies and materials characterizing our case study

The choice has been focused on facade pathologies, which are the cracks and disorders of the coating (fall and detachment).

A diagnosis of pathologies is required at the time of diagnosis, an essential step before any restoration or rehabilitation operation, even plans for classifications or preservation.

In another aspect, technological progress has tested several digital rendering tools for the completion of these surveys. Since the traditional survey is the metric reading, which may accentuate the process of degradation of the building, and has limits of use in the face of inaccessible elements, other digital tools have been introduced to resolve these weaknesses. These tools are photomodeling, a digitization technique that gives the possibility of returning and recording a digital copy and informs the state of the building at a specific time, only through taking photographs.

In a patrimonial vision, the present research concerns the realization of the survey of the pathologies of a façade of a patrimonial property on the basis of photographs taken and relying on software of photomodelization, we will be able to compare the results of the measurements with those established through the traditional technique of the technical survey, being the metric reading.

Keywords: survey, pathologies, facade, photographs, software, photomodelization, measurement, metric reading, digital reproduction, state of conservation, cracks, coating disorders, restoration and / or rehabilitation operation.

Table des matières

Remerciements	2
ملخص	3
Résumé	4
Abstract	5
Introduction Générale	
1. Introduction.....	11
2. Problématique	12
3. Hypothèses	13
4. Objectif	13
5. Méthodologie de recherche	13
6. Structure du mémoire	14
Chapitre 1 : Outils de restitution numérique	
1. Exemples de restitutions 3D par Lasergrammétrie et Photogrammétrie	16
1.1. Abbaye de Saint-Guilhem-le-Désert	17
1.2. Maison des Esclaves de Gorée, Sénégal	18
1.3. Abbaye de Villers-la-Ville	19
1.4. Le puits Saint-Albert à Ressaix	20
1.5. La Maison de Verre de Paul-Amaury Michel	21
1.6. Château de Chambord	22
1.7. Lycée Emir Abdelkader.....	23
1.8. Conclusion.....	24
2. Logiciels de Photomodélisation	25
2.1. Image Modeler	25
2.1.1. Fonctionnement d'Image Modeler.....	25
2.1.1.1. Le répertoire photo	25
2.1.1.2. Le référencement d'images	25
2.1.1.3. La réalisation du modèle – Modélisation Figure 19.....	26
2.1.1.4. La mise en œuvre du modèle - texturation et l'exportation.....	26
2.2. Autodesk 123D Catch Beta	27
2.2.1. Fonctionnement de 123D catch	27
2.3. Sketch up	29
2.3.1. Présentation des outils codés par couleur de Match Photo	29
2.3.2. Adapter une nouvelle photo (modélisation à partir d'une photo)	29
3. Les logiciels d'assemblage panoramique	31

3.1. Comment faire une photo panoramique ?	31
3.2. Photo panoramique avec un appareil photo	31
3.3. Photo panoramique par assemblage	31
3.3.1. Photomerge	32
3.3.1.1. Choisir les images à assembler :	32
3.3.1.2. L'assemblage avec Photomerge	33
3.3.2. Stitcher	33
4. Choix des logiciels	35
Chapitre 2 : Présentation du cas d'étude	
1. Choix du site de la Casbah d'Alger	37
1.1. Le Plan Permanent de mise en Valeur des Secteurs Sauvegardés - de la Casbah d'Alger	37
1.2. La dégradation du tissu de la Casbah d'Alger	38
2. Pourquoi faire le relevé des pathologies ?	39
3. Liste des pathologies	40
3.1. Classification générale des pathologies	40
3.2. Tableau des illustrations des pathologies de la Casbah d'Alger	41
4. Choix des Pathologies	44
5. Connaître et comprendre les fissures en façade	45
5.1. Qu'est-ce qu'une fissure ?	45
5.2. Types de fissures	45
5.3. Interprétation des pathologies	46
5.3.1. Tableau des types de fissures et leurs causes	47
6. Connaître les désordres du revêtement des façades	48
7. Cas d'étude de la façade du 15 Arezki Temani, Casbah d'Alger	49
7.1. Description du cas d'étude	49
7.2. Etapes de l'application de la photomodélisation sur le cas d'étude	50
7.2.1. La prise de vue	50
7.2.2. La prise de mesures	50
7.2.3. Le redressement de l'image	51
7.2.3.1. Importation de l'image à redresser sur Photoshop	51
7.2.3.2. Désignation des lignes de repères	51
7.2.3.3. Redressement de l'image	52
7.2.3.4. Enregistrement de l'image redressée	52
7.2.4. La reconstitution de la façade	52
7.2.4.1. Le relevé de la façade (Figure)	52
7.2.4.2. Le relevé des pathologies de la façade	53

7.2.4.2. Reconstitution de la façade en 2D depuis la modélisation 3D.....	53
7.2.4.3. Enregistrement du relevé.....	54
7.2.5. Prise de mesures et vérification	54
7.2.6. Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation	55
7.2.7. Le calcul du pourcentage d'erreur	55
7.2.8. Evolution des pathologies	56
7.2.9. Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation	57
7.2.10. Conclusion	58

Chapitre 3 : Application de la photomodélisation sur le 12 des Frères Racim, Casbah d'Alger

1. Cas d'étude de la façade du 12 frères Racim, Casbah d'Alger.....	60
1.1. Description du cas d'étude	60
1.2. Etapes de l'application de la photomodélisation sur le cas d'étude	62
1.2.1. La prise de Photos.....	62
1.2.2. Le redressement des photos	62
1.2.2.1. Importation de la photo sur Photoshop	62
1.2.2.2. Redressement de la photo.....	63
1.2.2.3. Enregistrement de la photo.....	63
1.2.3. La reconstitution de panorama.....	63
1.2.3.1. Importation des photos.....	63
1.2.3.2. Alignement des photos.....	63
1.2.4. Comparaison entre la façade reconstituée par panorama et la façade technique du PPSMVSS	64
1.3. Conclusion.....	65
2. La photomodélisation de la façade du 12, frères Racim par Sketch Up.....	66
2.1.1. La prise de vue.....	66
2.1.2. La prise de mesure	66
2.1.3. Adaptation de la façade par Match Photo de Sketch Up	67
2.1.4. L'importation de la photo sur Sketch Up.....	67
2.1.5. Alignement des axes	68
2.2. Modélisation.....	69
2.2.1. Le relevé de la façade	69
2.2.2. Le relevé des pathologies de la façade.....	70
2.2.3. Redimensionnement de la photo.....	70
2.2.3. Quatrième photo	74
2.4. Chargement sur Autocad	76
2.5. Assemblage des différentes parties du relevé	76
2.7. Tableau Comparatif des pathologies relevées	78

3. Recommandations.....	81
4. Conclusion Générale.....	82
5. Perspectives.....	83
6. Liste des figures	84
7. Liste des tableaux.....	85
8. Références Bibliographiques	86

Introduction Générale

1. Introduction

Le domaine de l'informatique trouve son intégration dans la conception architecturale à travers les logiciels de dessin et de conception assistée par ordinateur, et dans la compréhension et la sauvegarde patrimoniale justement, devenu un outil de formalisation de connaissances capitales, découvertes et transmises.

Des nouvelles méthodes naissent en vigueur de la technologie de l'informatique pour faire part des études en architecture telle que la photogrammétrie¹, la photomodélisation² et la lasergrammétrie.

Leur aptitude en tant qu'outils de transmission de la connaissance reste cependant un terrain d'épreuve qui mérite notre réflexion pour examiner leurs avantages et limites face au domaine architectural et patrimonial.

Le lien photomodélisation-architecture évolue pour englober le volet patrimonial, d'où la photomodélisation est estimée bénéfique dans la vision du patrimoine. Cet outil de photomodélisation offre la possibilité de restituer le patrimoine, et c'est à travers de simples photographies prises sur des biens patrimoniaux que nous pouvons reconstituer une maquette numérique qui nous fait comprendre et sauvegarder ce patrimoine. Ce travail va être effectué afin de compléter les relevés³ existants, ou

¹ « La photogrammétrie est une technique qui consiste à effectuer des mesures dans une scène, en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents. Recopiant la vision stéréoscopique humaine, elle a longtemps exploité celle-ci pour reconstituer le relief de la scène à partir de cette différence de points de vue. Actuellement, elle exploite de plus en plus les calculs de corrélation entre des images désormais numériques. Cette technique repose entièrement sur une modélisation rigoureuse de la géométrie des images et de leur acquisition afin de reconstituer une copie 3D exacte de la réalité ». <https://cours.etsmtl.ca/sys844/Documents/Document22.pdf>

² « La photomodélisation association de photo et modélisation, est comme son nom l'indique une technique permettant de modéliser un objet à l'aide ou à partir de photographies.

La photomodélisation est une technique consistant à produire un modèle numérique représentatif de la réalité uniquement à l'aide de clichés photographiques. Elle a donc un intérêt dans le domaine de l'architecture pour les phases de relevé, d'analyse ou encore de visualisation.²

Elle est donc constituée de deux phases principales. La première phase est la phase d'acquisition. Il s'agit de prendre en photo l'objet à modéliser. La seconde phase est celle de la modélisation. C'est durant celle-ci que l'objet est recréé en numérique à l'aide des clichés pris pendant la phase d'acquisition. Bien souvent, une troisième phase vient s'intercaler entre les deux premières, c'est la phase de traitement des photographies. En effet, les photos présentent bien souvent des déformations dues à la perspective. Il convient alors de gommer ces déformations afin de pouvoir exploiter les clichés pour la modélisation ». C'est donc la phase de traitement. <http://www.sebastien-petit.com/portfolio/memoire-de-recherche/>

³ « Le relevé d'architecture est une représentation graphique d'un ouvrage existant. Il est fait dans le cas où il n'y a pas de documentation graphique permettant d'effectuer certaines opérations sur cet ouvrage. Les travaux poursuivis peuvent alors concerner la protection, conservation, rénovation, adaptation d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments à nouvelles fonctions.

Les objets en question sont la plupart anciens. Il arrive parfois, de recourir au relevé dans le cas d'un bâtiment nouveau qui va être réaménagé ». Cours technique du relevé architectural, Maoui Meriem-Belarbi Samia, gri6Djenane Sahar-Maduniversity Mohamed Khider Biskra, département d'architecture 2001-2012

« On distingue généralement trois méthodes de relevé graphique :

- Le relevé manuel consiste à prendre des mesures directes en utilisant les instruments de mesures classiques : décimètre ; niveau à eau, jalons d'alignement, fils à plomb, boussole, etc.
- Le relevé topographique consiste à utiliser les instruments de mesure optique : théodolite, tachéomètre, goniomètre, etc.
- Le relevé photogramétrique consiste à utiliser la photographie et les programmes informatiques dans l'élaboration du relevé ».

pour le relevé des parties vulnérables ou inaccessibles à condition qu'elles soient visibles et mesurables.

Le protocole de photomodélisation va être utilisé afin de reconstituer le relevé de façade, ainsi que le relevé des pathologies⁴ existantes. Dans le but de fournir un support de mesures pour la programmation des opérations de restauration, réhabilitation, consolidation, démolition, etc. Et afin d'avoir une idée précise du degré d'altération et de stabilité au moment du relevé.

Des obstacles et des difficultés se manifestent dans toute application de l'outil de photomodélisation. La méthode exige un recul assez suffisant pour que la façade apparaisse entièrement et sans présence d'obstacles entre le récepteur et l'émetteur l'heure de la prise des photos et avec un niveau de luminosité rigoureuse qui permet une vision claire, sans relief ou ombrage.

Plusieurs opérations de photomodélisation ont été effectuées pour reconstituer une façade patrimoniale. Dans notre recherche nous allons focaliser sur le relevé des pathologies manifestants sur les façades. En dehors de la restitution numérique du patrimoine, cet outil de photomodélisation donne la possibilité d'établir l'état de conservation du bien et fournir un support nécessaire pour mener les opérations de protection et conservation du patrimoine.

Dans un dernier point, ces relevés peuvent renseigner sur leur état originel, sur leur état actuel et sur le pourquoi de leur dégradation, dans ce moment le consommateur est l'ingénieur.

Dans le contexte de la Casbah d'Alger, l'outil de photomodélisation va être mise à l'épreuve pour examiner ses limites et les difficultés rencontrées.

2. Problématique

Dans le cadre de cette recherche et afin de mener notre étude sur l'outil de photomodélisation des pathologies du patrimoine, notre problématique tourne autour du relevé des pathologies du patrimoine.

Etant donné que la photomodélisation est une technique habituellement utilisée pour restituer les bâtiments ayant des formes régulières, son utilisation n'est pas fréquente pour relever et compléter des documents techniques tels que les façades vétustes. Cette spécificité est d'autant plus vraie dans le contexte des villes traditionnelles telles que la Casbah d'Alger, connues par ses irrégularités au niveau des plans et façades. Cette technique permettrait donc de relever des pathologies de l'objet

http://www.rehabimed.net/Publicacions/Metode_Rehabimed/II.%20Rehabilitacio_Ledifici/FR/2e%20partie.%20Outil4.pdf

⁴« L'étude des pathologies en construction consiste en l'analyse des processus susceptibles d'entraîner des sinistres ou des désordres dans le domaine du bâtiment. Une telle étude est indispensable pour prévenir les dégâts et maintenir l'état du bâtiment voire réhabiliter les structures en cas de défaillances. Elle se doit de reposer sur un diagnostic précis des ouvrages. Elle peut concerner aussi bien les matériaux comme le bois, le béton ou la pierre, que les éléments de l'ouvrage (planchers, murs, charpentes...) ». <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-th3/pathologie-generale-pathologie-du-beton-42240210/pathologie-diagnostic-prevention-et-maintenance-des-structures-c7100/>

architectural sans avoir participé d'une manière directe à sa dégradation. Ainsi et Afin de compléter le relevé existant où des parties vulnérables et inaccessibles il serait très utile de créer une copie numérique de l'état de santé de l'édifice, qui puisse être sauvegardé et simulé sans avoir besoin de toucher directement l'édifice afin d'aider au diagnostic et à l'interprétation des pathologies enregistrées afin d'arriver à la décision et la programmation d'une opération de restauration qui s'effectuera sur la base de ces documents

Notre problématique consistera donc à vérifier jusqu'à quel degré l'outil de photomodélisation pourra assister et à compléter les relevés des pathologies dans des parties inaccessibles, difficile à relever ou dans le cas des biens patrimoniaux en état de ruine principalement celles des maisons de la Casbah d'Alger.

Il est toutefois important de préciser que nous nous limiterons sur le relevé d'éléments identifiables visuellement car l'outil de la photomodélisation repose sur l'utilisation des photographies et donc ne pourrait aider de manière efficiente uniquement au relevé des pathologies de façades dites visibles.

3. Hypothèses

1. Bien que nous savons que la photomodélisation est habituellement utilisée pour restituer et relever des façades avec des formes régulières, est ce que l'utilisation de repère sur le terrain peut aider à réduire cette difficulté du manque d'orthogonalité des maisons de la Casbah d'Alger ?

2. Etant donné que nous attendons de cette technique la possibilité de compléter des documents techniques et précis qui serviront aux différents acteurs qui interviendront sur le terrain, quel degré de précision ou plutôt quelle marge d'erreur devons-nous prendre en considération pour avoir des relevés les plus précis et complets possibles ?

4. Objectif

L'outil de photomodélisation présente plusieurs objectifs sur le volet patrimonial, et précisément sur le relevé des pathologies :

- Effectuer le relevé des pathologies de l'objet architectural afin de compléter le relevé existant ou des parties vulnérables et inaccessibles. Créer une copie numérique de l'état de santé de l'édifice, qui puisse être sauvegardée.

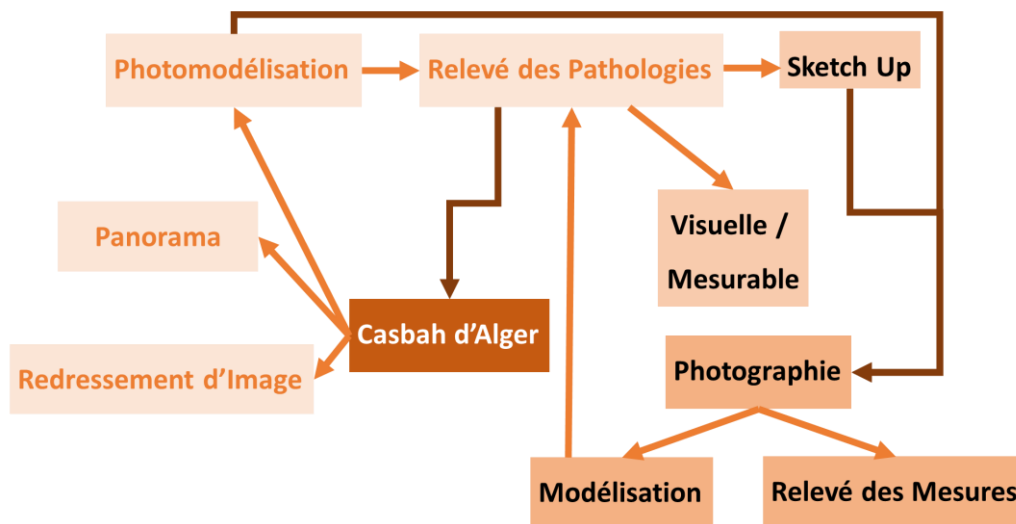
- Examiner l'outil de photomodélisation dans le contexte de la Casbah. Démontrer les limites de l'outil et les difficultés rencontrées dans l'application sur le cas d'étude.

5. Méthodologie de recherche

Etant donné que L'utilisation de photographies engendre un manque de précision lors du relevé, ce manque peut être réduit de manière significative lorsque l'on respecte des règles et des conditions énoncées lors du relevé des façades des maisons de la Casbah d'Alger, où chaque logiciel qui existe présente ses caractéristiques et ses spécificités. Nous essaierons donc de quantifier ce pourcentage d'erreur en comparant entre le relevé métrique sur terrain et le relevé par photomodélisation ce qui pourrait nous informer sur le pourcentage d'erreur lié à cet outil.

Afin de procéder au relevé des pathologies du patrimoine, il est primordial de définir notre méthodologie. Pour l'élaboration de notre recherche, l'outil de photomodélisation va être appliqué sur une façade extérieure d'une des maisons de la Casbah celle du 12, frères Racim, en utilisant le logiciel de Sketch Up. Notre recherche consiste dans une première étape de déterminer les pathologies visuelles et mesurables, en faisant une recherche sur toutes les pathologies qui peuvent exister. Dans la deuxième étape, seules les pathologies existantes à la Casbah d'Alger seront sélectionnées. Ce qui va nous conduire à restituer ces pathologies pour notre cas d'étude à travers l'outil de Photomodélisation.

6. Structure du mémoire



Chapitre 1 :

Outils de Restitution

Numérique

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'état de l'art, avec la présentation des exemples de restitutions numériques de plusieurs édifices patrimoniaux de différentes natures, afin de s'informer sur les expériences de restitutions existantes et pour voir en quoi la modélisation 3D est un outil indispensable à la sauvegarde du patrimoine bâti. Ensuite, nous verrons les outils et les logiciels pouvant contribuer à ces restitutions, afin de choisir un outil qui va nous servir à accomplir notre objectif du relevé des pathologies.

1. Exemples de restitutions 3D par Lasergrammétrie et Photogrammétrie

Nous allons élaborer des fiches techniques sur des exemples de restitutions 3D, en regroupant les informations récoltées sur ces exemples à travers des désignations fixées au préalable, sur le lieu, période et type du bâtiment, ainsi sur le type de relevé effectué, but du relevé et l'intérêt qui porte à notre recherche.

1.1. Abbaye de Saint-Guilhem-le-

Désert⁵

Lieu : France - Région : Occitanie –
Département : Hérault – Ville : Saint-Guilhem-le-
Désert

Période : Début de la construction 804

Type du bâtiment : Abbaye

Type de relevé : Restitution par scanner laser 3D

But de relevé : Cette situation a priori irréversible confère aux restitutions virtuelles le grand intérêt de ramener dans un même espace l'ensemble des éléments dispersés permettant ainsi au public d'en apprécier toute la richesse comme aux chercheurs d'en poursuivre l'étude de façon renouvelée.

Intérêt à notre recherche : le projet relève d'une expérience du relevé détaillé des éléments sculptés constituant l'Abbaye, l'irrégularité et la forme courbe de ces éléments ressemble aux détails et à l'architecture traditionnelle de la Casbah d'Alger, connue par des formes irrégulières.



Figure 1 : Le cloître avec son vivier au premier plan

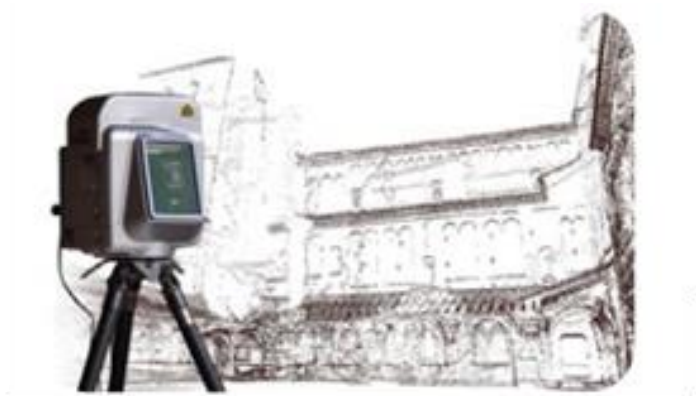


Figure 2 : Nuages de points produits lors de la campagne de relevé à l'aide d'un laser 3D



Figure 3 : Restitution numérique 3D de l'état actuel

⁵ http://www.map.archi.fr/3D-monuments/projets/projet_sgdesert_docecrit.php

1.2. Maison des Esclaves de Gorée, Sénégal⁶

Lieu : Rue Saint-Germain, Île de Gorée Île de Gorée, Sénégal.

Période : construite vers 1780 par Nicolas Pépin.

Type du bâtiment : Maison

Type de relevé : Photogrammétrie

But du relevé : Ce travail a été effectué dans le cadre d'une mission de coopération internationale entre différents organismes belges et sénégalais. Il s'agissait de constituer une base de données précise comprenant un état des lieux de la « Maison de l'Amiral » de Gorée.

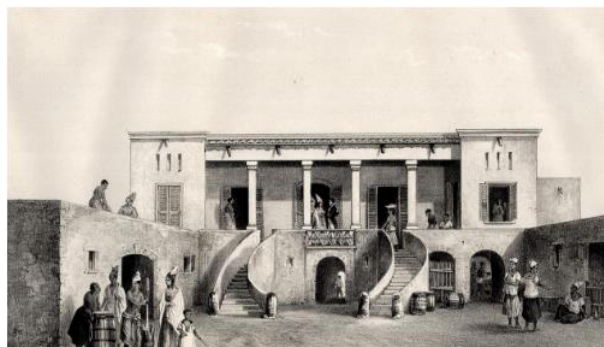


Figure 4 : la maison des esclaves à Gorée



Figure 5 : Document photogrammétrique fournis

Intérêt à notre recherche : L'exemple présente une analyse des pathologies et la programmation de la restauration qui a nécessité des documents photogrammétriques. Dans ce cadre le but qui a fait appel à l'élaboration du relevé coïncide avec notre but de recherche étant le relevé des pathologies.

⁶ http://www.alice/LaMaisondeL'Amiral_enjeuxetanalyse durelevarchitectural-AIICe.html

1.3. Abbaye de Villers-la-Ville⁷

Lieu : Villers-la-Ville, en Brabant wallon (Belgique).

Période : Fondé en 1146 dans la vallée de la Thyle par Bernard de Clairvaux

Type du bâtiment : Abbaye

Type de relevé : Photogrammétrie

But de relevé : Ce travail propose de s'intéresser à l'utilisation de la maquette 3D comme support pour la consultation, l'évaluation et le développement d'hypothèses de restitution. Il s'agit d'une expérimentation basée sur l'étude du réfectoire de l'abbaye de Villers-la-Ville.

Intérêt à notre recherche : Ce travail propose une autre dimension de la restitution 3D, il nous inspire pour aller au-delà de la restitution et de confronter cette modélisation avec d'autres paramètres. Dans notre cas cette restitution du relevé des pathologies du patrimoine de la Casbah d'Alger, peut nous renseigner sur l'état de santé du bien allons jusqu'à l'interprétation de ses pathologies en cherchant également à déduire les causes de ces dernières.



Figure 6 : Ruines du transept sud de l'abbatiale de Villers

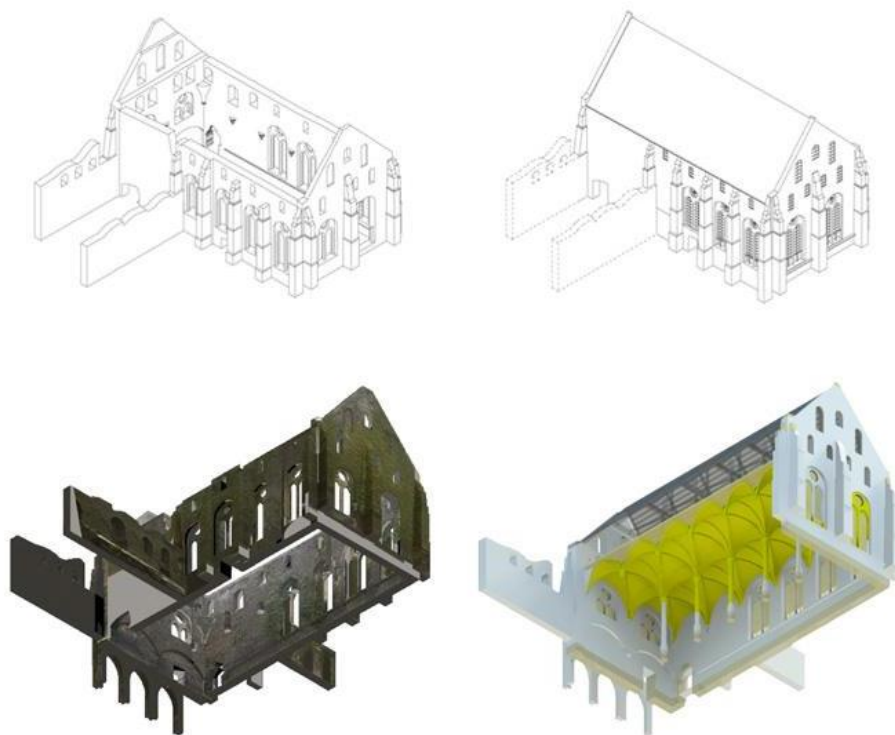


Figure 7 : 3D - d'hypothèses de restitution des galeries du cloître à l'empreinte numérique photogrammétrique de l'objet.

⁷ <http://www.alice/Empreintenumriqueethypothesederestitution-AIIce.html>

1.4. Le puits Saint-Albert à Ressaix⁸

Lieu : Belgique

Période : Le nouveau puit fut mis en service en 1954.

Type du bâtiment : Les 3 cas d'études sélectionnées sont les tours d'extractions des charbonnages.

Type de relevé : La technique photogrammétrique

But de relevé : Ce travail développe une réflexion sur l'application des techniques de numérisation 3D sur le patrimoine industriel.

La sauvegarde numérique s'installe d'abord en tant que solution préventive pour atténuer les menaces comme pour compléter les soutiens d'un patrimoine en devenir.

Intérêt à notre recherche : Cet exemple ouvre le champ vers une nouvelle réflexion sur la sauvegarde et la conservation du patrimoine. Et, elle esquisse aussi des perspectives d'avenir sur l'exploitation du potentiel de ce patrimoine oublié, afin de les éloigner du mythe de la ruine contemporaine en fournissant un support qui peut aider à la préservation de cet héritage.

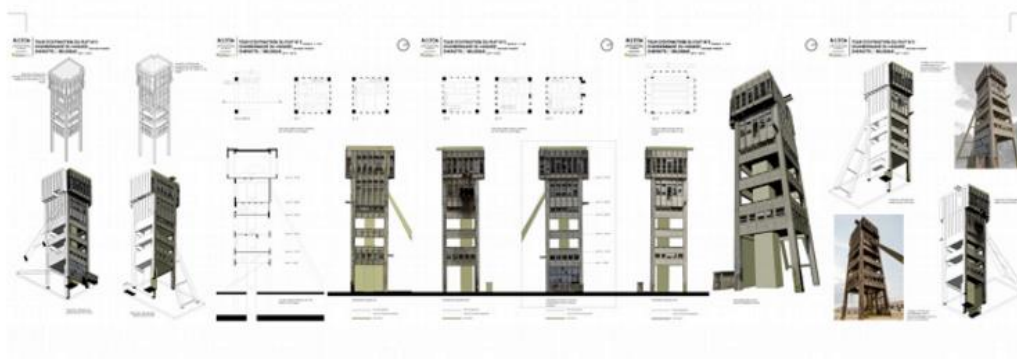


Figure 8 : Une planche d'analyse sémantique sur base d'une acquisition de données par photomodélisation.



Figure 9 : Une empreinte numérique photogrammétrique par nuage de points, générée suivant le protocole d'acquisition

⁸ <http://www.alice/VersuneSauvegardeNumriqueduPatrimoineIndustriel-AIICe.html>

1.5. La Maison de Verre de Paul-Amaury

Michel⁹

Lieu : Uccle, Belgique

Période : 1935

Type du bâtiment : Maison

Type de relevé : Un modèle 3D réalisé sur la base de photographies.

But de relevé : Un concours international été lancé aux étudiants d'architecture, dans le but d'enrichir le site web www.archi.fr/UIA dédié aux édifices marquants des 20^{em} siècle.

Intérêt à notre recherche : Le but du relevé est similaire à le nôtre, Visant à intégrer les étudiants dans une expérience qui va mener à répertorier et à numériser le patrimoine architectural. Ce laboratoire travaille uniquement avec Image Modeler et il dispose plusieurs travaux qui peuvent constituer une documentation importante utile à notre application d'étude.

Figure 11 : calibration des photos par Image Modeler

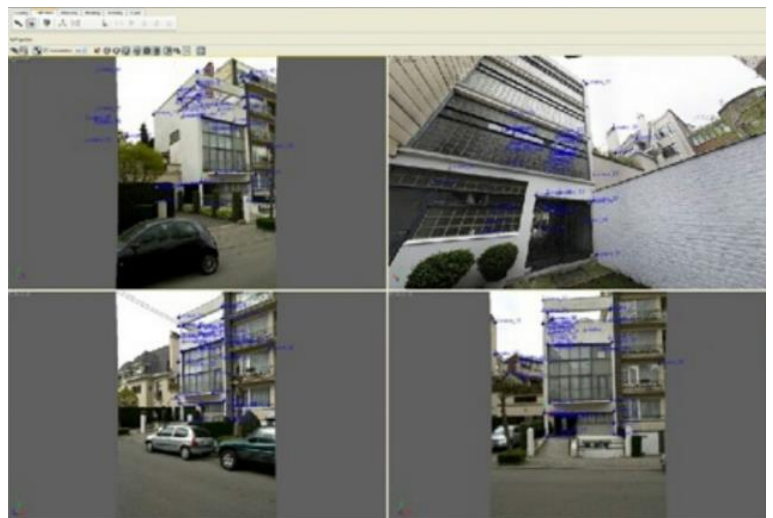


Figure 12 : Restitution de la maison

⁹ <http://www.Exp-VanDongen.html>



Figure 10 : La prise de la maison en photo

1.6. Château de Chambord¹⁰

Lieu : Chambord, dans le département du Loir-et-Cher en région Centre-Val de Loire.

Période : Début construction 1519

Type du bâtiment : Château Renaissance

Type de relevé : Lasergrammétrie-
Photomodélisation

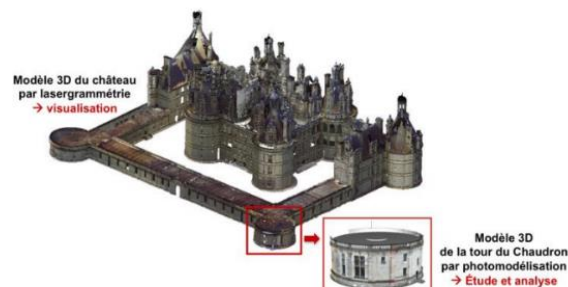


Figure 13 : Le château de Chambord

But de relevé : Le but n'est pas de représenter de manière réaliste l'état de détérioration avant restauration, mais plutôt de préciser la structure et le mode de construction, pour permettre la restauration à l'identique.

Ensembles des techniques et outils utilisés : La restitution 3D est passée par deux outils, la lasergrammétrie pour l'ensemble des façades extérieures du château, alors que la photomodélisation est utilisée pour la restitution détaillée d'une des tours **Figure 14**.

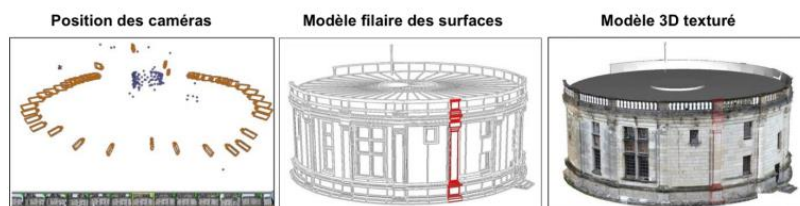


Figure 14 : Modèle 3D de la tour réalisé par photomodélisation

Intérêt à notre recherche : D'une part, des relevés 3D ont été effectués pour les façades extérieures du château, de l'autre part, cette technique a été utilisée pour modéliser avec précision certains éléments architecturaux particuliers, comme les chapiteaux, ou alors des zones d'altération **Figure 15**. Une méthode de représentation est innovée afin d'exprimer l'évolution de ces mêmes pathologies à travers le facteur temps à travers une différenciation par couleurs.



Figure 15 : Combinaison de la lasergrammétrie et la photomodélisation

À l'inverse, le château ayant entièrement été modélisé par scanner laser, le modèle obtenu peut servir de support à l'intégration des parties étudiées plus précisément, qui elles, ont été acquises par photomodélisation. L'objectif est cette fois de valoriser auprès du grand public le travail de recherche effectué, en situant les parties étudiées dans leur contexte architectural.

¹⁰ JANVIER-BADOSA, Sarah. Le carnet de santé d'un monument. Application au château de Chambord. Orléans, école doctorale. Energie matériaux sciences de la terre et de l'univers, 2012, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00843649/file/sarah.badosa_2619.pdf

1.7. Lycée Emir Abdelkader¹¹

Lieu : Bab el Oued. algérie

Période : Vers 1900

Type du bâtiment : Lycée

Type de relevé : Photomodélisation

But de relevé : Le but de tout ce travail était de restituer la façade du lycée vu l'absence de ce document. Pour arriver par la suite à utiliser ce support de relevé de façade dans un sujet relatif au BIM.



Figure 16 : Photo sur la Façade principale du Lycée Emir

Ensembles des techniques et outils utilisés : La restitution du panoramique qui va être le support de la restitution de la façade et récupération du relevé.

Intérêt à notre recherche : Le travail élaboré qui a mis en place plusieurs méthodes de restitution 3D, constitue une expérience vécue et qui s'est arrêtées sur plusieurs évaluations qui peuvent nous servir, nous guider ou même fournir une base à notre démarrage.



Figure 17 : Panoramique de la façade principale du lycée Emir

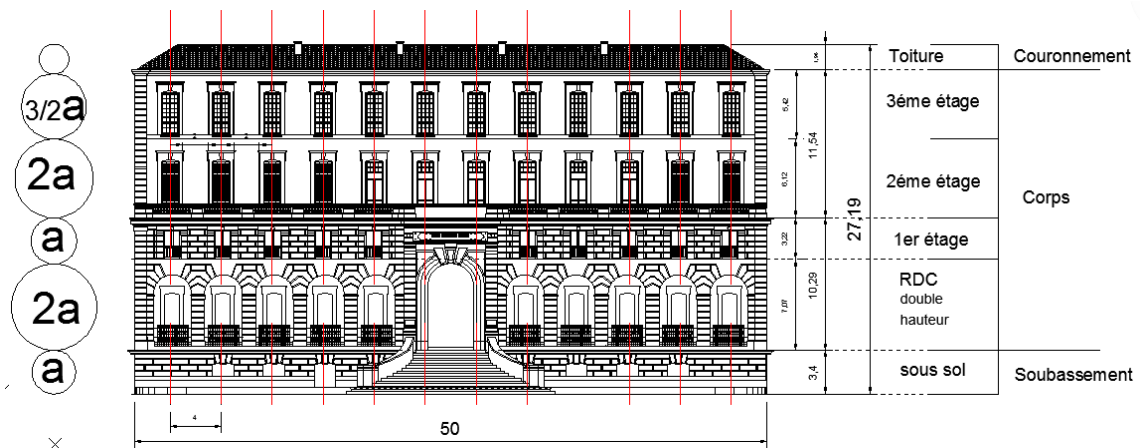


Figure 18 : Dessin de la façade principale du Bloc E : essai de restitution avec la logique de la façade.

¹¹ LAÇRI Ikhlassé, (2016), Comparaison entre des logiciels de modélisation 3d orientés BIM (Building Information Modeling) GRAPHISOFT ARCHICAD 19 et AUTODESK REVIT 16 : application à la façade principale de Lycée L'Emir Abdelkader, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme.

1.8. Conclusion

Dans le domaine de la conservation ou de la valorisation du patrimoine architectural, de nombreuses techniques d'acquisition de modèles numériques en trois dimensions sont développées.

Citons par exemple la lasergrammétrie qui est l'acquisition d'un modèle 3D par relevé scanner laser ou encore la photomodélisation, (utilisée dans notre cas), qui permet de générer des objets 3D à partir de photographies. Ces techniques sont souvent comparées, voire combinées, chacune présentant des avantages : le choix de l'une ou l'autre dépend de l'utilisation que l'on fait du modèle par la suite.

Après avoir consulté ces travaux de restitution des biens patrimoniaux qui diffèrent par leurs lieux, périodes et type du bâtiment, nous avons pu tirer ces deux points :

- Une part, beaucoup de travaux sont basés sur la restitution 3D afin de mener une étude détaillée sur l'édifice concerné à travers différentes méthodes et logiciels, mais aussi quelques projets parlent de relevé de pathologies dans le but de conservation et de sauvegarde similairement à notre cas.

- D'autre part, les exemples de restitutions récoltés se concentrent sur différents pays autres que l'Algérie où ces outils de restitutions par photogrammétrie et photomodélisation ne sont pas fréquents pendant les opérations menées sur le patrimoine.

Nous avons découvert les différents outils de restitution numériques, nous favorisons le travail sur la photomodélisation vu la simplicité de l'outil, qui peut être effectuée à la base d'un simple appareil photographique et qui n'est pas à la demande d'un appareil poussé tel que le scanner laser.

2. Logiciels de Photomodélisation

Dans le processus de photomodélisation, une large gamme de logiciels peut être utilisée afin de répondre aux exigences de la méthode, à savoir la modélisation à travers des photographies. Parmi ces logiciels nous trouvons :

2.1. Image Modeler¹²

Autodesk®
ImageModeler™

Le logiciel de modelage d'images et de photogrammétrie Autodesk Image Modeler établit un pont entre le monde du 2D et du 3D. Ses puissants outils de calibration vous permettront de créer des modèles 3D photoréalistes. Grâce à ses outils d'édition, de modelage et de texturation, vous modifierez, raffinerez et texturerez vos objets de rendu. Vos objets 3D pourront être exportés en différents formats, de sorte qu'ils soient inclus dans vos projets de création.

2.1.1. Fonctionnement d'Image Modeler¹³

Les phases de cette technique qui se compose essentiellement de cinq pièces sont séparables :

2.1.1.1. Le répertoire photo

Sous-estimer l'importance de cette étape est certainement une erreur, comme ayant une collection incomplète exclut la possibilité d'avancer dans les phases ultérieures de mise en œuvre du modèle, tandis que la qualité de l'image peut garantir vers le résultat final, la fiabilité maximale du travail.

2.1.1.2. Le référencement d'images

La deuxième étape est le référencement des images, ce qui se produit à travers le localisateur (points connus dans la photo). En général deux images sont référencées avec un minimum de 8 points connus, ou 4 localisateurs partagés entre plusieurs photos.

Immédiatement après la calibration, le programme va montrer de façon indépendante les positions des points communs entre les différentes photographies.

Le programme permet également de définir des contraintes entre le localisateur de nature à rendre plus efficace l'étalonnage. Ces derniers sont de deux types, contrainte d'angle et définition de la distance de référence : la première permet d'établir une liaison d'angles droits entre les trois points connus ; le second permet d'entrer une distance connue entre deux localisateurs d'affecter un bâtiment à l'échelle métrique.

¹² <http://fr.autodesk.ca/adsk/servlet/index?id=11996863&siteID=9719701>

¹³ http://www.3dvf.com/modules/publish/_1374_1.html

2.1.1.3. La réalisation du modèle – Modélisation Figure 19

Certains logiciels permettent la création de volumes et surfaces que par l'utilisation de maillages, tandis qu'Image Modeler propose un ensemble complet de modélisation similaire à tout programme de création en trois dimensions.

Cette méthodologie de modélisation, qui est généralement adaptée à la production de formes architecturales, permet, grâce à la création de formes de base paramétriques (de parallélépipèdes, cylindres, sphères), d'obtenir des objets qui peuvent ensuite être modifiés via les opérations d'édition polygonaux classiques.

Une opération similaire réalisée à travers les mailles, entraînerait, ainsi que beaucoup plus de temps, à la suite de douteuse correction formelle.

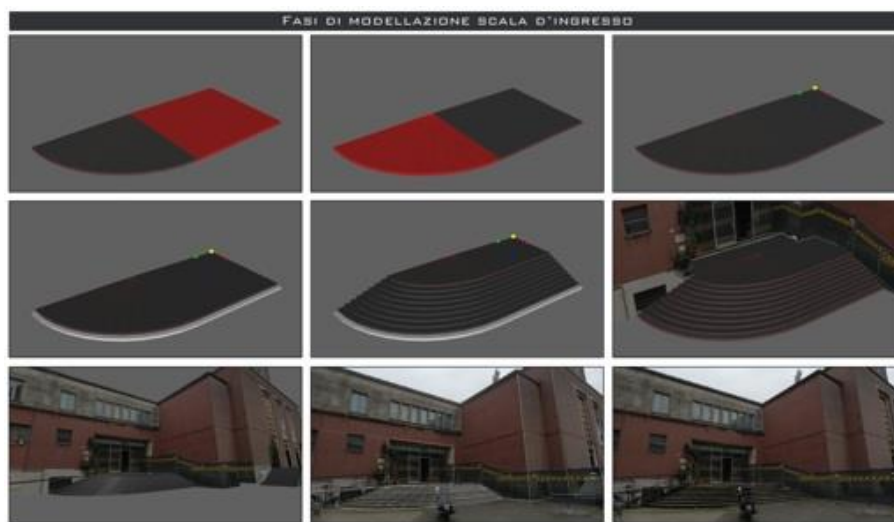


Figure 19 : La Phase de modélisation avec Image Modeler

2.1.1.4. La mise en œuvre du modèle - texturation et l'exportation

Cette opération est divisée en deux étapes : d'abord à chaque objet se voit attribuer une cartographie (cylindrique, cubique, plan, etc.) ; dans le second, il est nécessaire d'indiquer quelles photos pour capturer la texture.

Lorsqu'on imagine plusieurs types de méthodes pour les prises de vues, il faut déjà réfléchir à la calibration. Si les photographies de la façade ne laissent pas suffisamment apparaître le contexte autour de l'édifice, il sera très difficile de trouver des points homologues et donc de calibrer toutes les caméras. C'est le cas de la façade de la casbah d'Alger qui ne laissent pas suffisamment de recul.

Le traitement des photographies prend plus de temps lorsque des images panoramiques sont nécessaires. Il faut alors monter les champs étendus dans le logiciel Stitcher qui permet d'acquérir des images d'une grande qualité.

La modélisation semble assez simple lorsqu'il s'agit d'une géométrie générale. Les formes géométriques pures sont facilement réalisables avec l'outil "primitive" du logiciel Image Modeler.

Par contre la Casbah d'Alger est connue pour ses formes irrégulières et courbes, surtout avec l'ambition de relever les pathologies de la façade qui eux sont de formes aléatoires. Étant plus complexes, ils se construisent à l'aide de faces. Pour rendre cette opération la plus précise il est parfois nécessaire d'introduire de nouveaux "locators". **Figure 20**

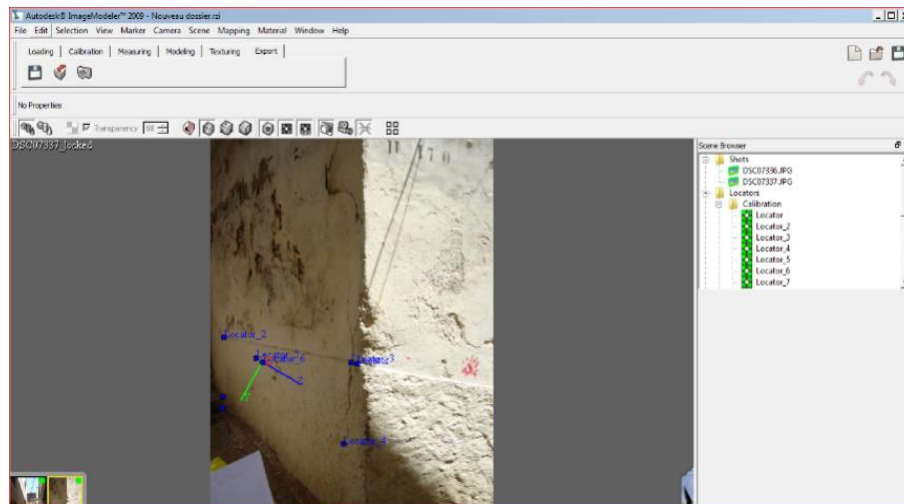


Figure 20 : La photomodélisation par Image Modeler (Auteur)

La difficulté rencontrée par rapport au logiciel d'Image Modeler est dû aux caractères irréguliers des maisons de la Casbah, surtout au niveau des pathologies qui se manifestent par des courbes, Images Modeler exige la calibration à travers les locators et cela demande de métré en place un locator chaque fois que nous changeons de directions, ce qui demande un travail énorme. Le relevé d'un arc par exemple exige la disponibilité de trois locators minimums repérés dans chaque photo.

Ce qui nous a conduits à choisir un autre logiciel pour l'application de la photomodélisation aux relevés des pathologies de notre cas d'étude.

2.2. Autodesk 123D Catch Beta¹⁴



Ce logiciel permet, à partir de photographies d'un objet, de générer un modèle 3D. Le nuage de points est exportable dans des logiciels tels qu'Auto CAD afin de le traiter. (Figure21)

2.2.1. Fonctionnement de 123D catch¹⁵

1re Étape : Prendre les photos

¹⁴ <http://www.123DCatch-Modélisation3Dàpartirdephotos-VillageBIM.html>

¹⁵ <https://www.adebeo.com/selfi-3d-avec-123d-catch-meshmixer-et-une-makerbot/>

Il faut cibler une moyenne de 60 photos, pendant ce temps, le modèle doit rester le plus immobile possible.

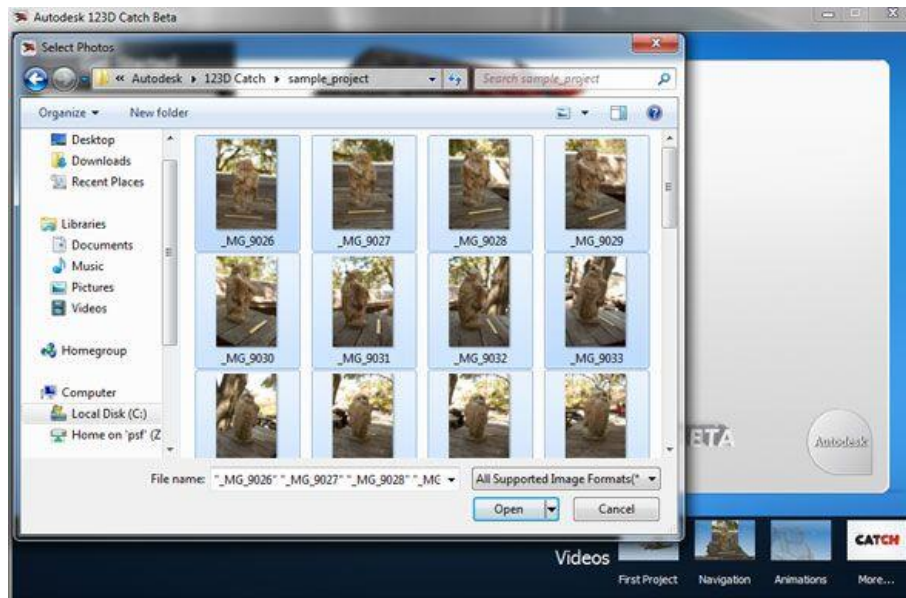


Figure 21 : Importation des photos sur 123D Catch

2e Étape : Exporter les photos sur 123DCATCH

Après avoir téléchargé les photos sur le pc, il faut les importer dans le logiciel **123D CATCH** (Figure 22) qui aura pour travail de lier les photos entre elles et de proposer un modèle en 3 Dimensions (Figure 23).

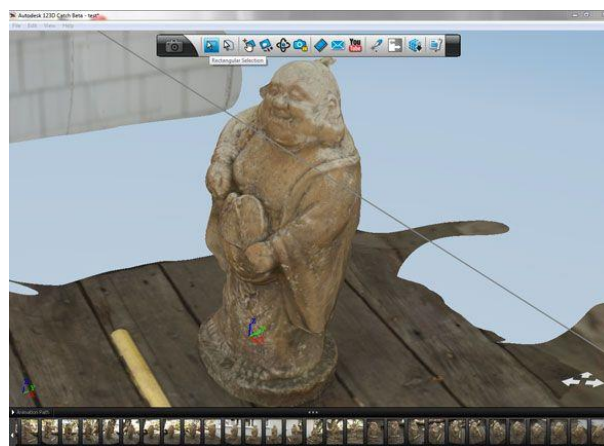


Figure 22 : Résultat de la photomodélisation

2.3. Sketch up



Modéliser en 3D à partir d'une photo permet de gagner du temps lorsqu'il s'agit de reproduire une espace (une place, un intérieur...) ou un objet (une maison, un meuble...) sans en avoir relevé les cotes au préalable. (Une seule cote suffit) Sketch Up possède une fonction dédiée :

2.3.1. Présentation des outils codés par couleur de Match Photo¹⁶

Adapter une nouvelle photo...depuis le menu Caméra

• Les prés requis

Précisons d'emblée que cette fonction ne convient pas pour tous les projets et que la photo sur laquelle on travaille doit répondre à certains critères :

- Modèle vue de trois quarts (angle de vue à 45°)
- Bonne exposition et résolution pour voir les détails
- Éviter les photos au grand angle (perspective déformée)
- Photo non recadrée (sketch up calcul la perspective à partir du centre de la photo)

Sketch Up et à partir d'une seule photographie d'angle donne la possibilité de reconstituer l'objet à travers une palette de dessin mise à disposition.

2.3.2. Adapter une nouvelle photo (modélisation à partir d'une photo)¹⁷

Pour appliquer une photo à un modèle existant avec la fonction Match Photo de Sketch Up, il faut suivre ces étapes :

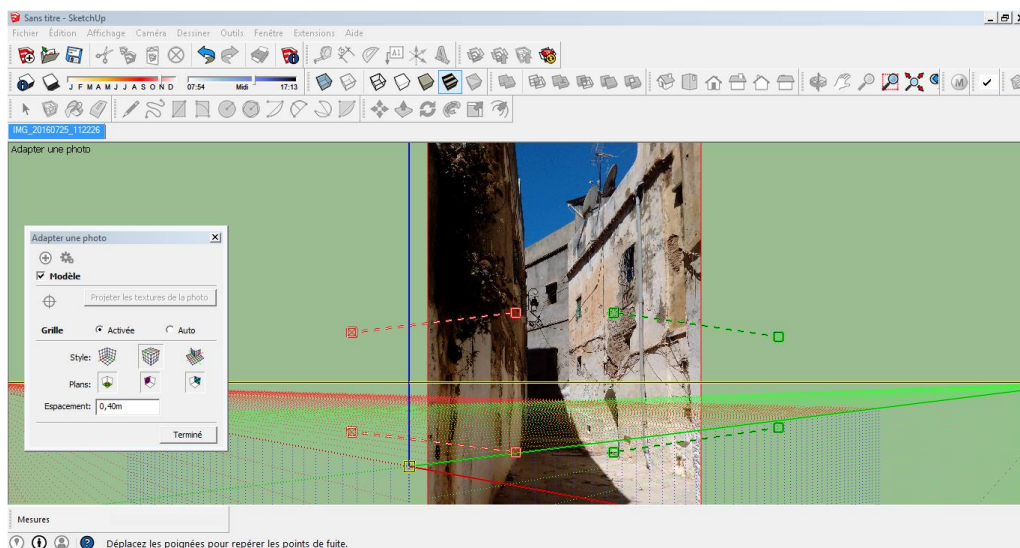


Figure 23 : La vue sur la fenêtre de Match Photo

¹⁶ <https://help.sketchup.com/fr/article/3000115>

¹⁷ <https://help.sketchup.com/fr/article/3000115>

1. Sélectionnez **Fichier> Ouvrir** et sélectionnez le modèle souhaité ouvrir dans la zone de dessin.

2. Sélectionnez **Camera> Adapter une nouvelle photo**.

3. Dans la boîte de dialogue Sélectionner l'image d'arrière-plan qui s'affiche, et cliquez sur **Ouvrir**.

L'appareil photo passe à la vue Match Photo, de sorte que la photo apparaît dans la zone de dessin **Figure 23**, et l'angle de la caméra est automatiquement enregistré dans un onglet de scène, qui apparaît en haut à gauche.


4. Dans la boîte de dialogue **Match Photo**, sélectionnez le **style** qui reflète le type de photo. Cliquez sur **l'intérieur** pour une image intérieure, cliquez ci-dessus pour une photo **extérieure** d'un bâtiment pris en haut ou cliquez sur Extérieur d'une photo **extérieure prise à partir du sol**.

5. **Cliquez** et faites **glisser l'origine de l'axe (1)** vers un **point d'origine** distinct sur votre photo.

6. Cliquez et faites glisser les poignées sur chacune des quatre barres de point de fuite. Alignez les barres de point de fuite vert (2) avec des éléments photo qui doivent être parallèles à la barre d'axe vert.

Régler les barres rouges (3) avec des éléments photo parallèles à la barre d'axe rouge. **Figure 26**.

7. Sélectionnez **Terminé** dans la boîte de dialogue Match Photo pour que votre modèle réapparaisse.

8. Sélectionnez l'outil Ligne. 

9. À partir de l'origine de l'axe, tracez l'un des bords de votre photo. Continuez à tracer les bords jusqu'à ce que vous créiez une surface. **Figure 25**

10. Cliquez sur le bouton **Terminé** pour quitter le jeu d'outils Match Photo.

11. (Facultatif) Dans la boîte de dialogue Match Photo, cliquez sur le bouton **Projeter les textures**



Figure 24 : Alignement des axes



Figure 25 : Reconstitution de la façade

de la photo pour projeter la photo sur le modèle. Si vous projetez des textures, vous pouvez voir la photo appliquée aux visages de votre modèle lorsque vous gérez votre modèle. (Figure 29).

3. Les logiciels d'assemblage panoramique¹⁸

Pour la photomodélisation de notre cas d'étude, et vu l'étroitesse des voies de la Casbah d'Alger, nous aurons besoin de reconstituer la photo panoramique de la façade afin d'arriver à relever et à appliquer notre étude sur le cas choisi.

3.1. Comment faire une photo panoramique ?

Il existe deux grandes façons de faire des photos panoramiques : avec une application ou par assemblage de plusieurs photos prises avec un appareil photo.

3.2. Photo panoramique avec un appareil photo¹⁹

Certains appareils demandent de prendre une succession de photos qui se chevauchent

- 1 - Ouvrez l'application sur appareil photo et choisissez le mode panorama,
- 2 - Visez là où vous voulez commencer votre panorama et lancez la prise de vues en cliquant sur le déclencheur,
- 3 - Ensuite visez en tournant plutôt doucement vers la droite,

Avantages / Inconvénients - La qualité d'image n'est pas extraordinaire, le résultat est déformé-les lignes verticales ne sont pas conservées-

Figure 26.

Figure 26 : Photos panoramiques prises par appareil photo (Auteur)

3.3. Photo panoramique par assemblage²⁰

Les logiciels de photographie panoramique ou d'assemblages panoramiques sont aujourd'hui très nombreux mais peu offrent des qualités d'assemblage, de souplesse d'utilisation, de productivité.



¹⁸ <https://www.guide-photo-panoramique.com/logiciels-panoramiques-assemblage-panorama.html>

¹⁹ http://www.Commentfaireunephotopanoramique_.html

²⁰ http://www.Commentfaireunephotopanoramique_.html

Dans le petit monde de la photo panoramique ; nous entendons souvent parler des mêmes acteurs. Photoshop et son module Photomerge, Hugin, autostitch, Autopano Pro ou Giga de Kolor, PTGui.

La deuxième méthode pour faire une photo panoramique est la méthode la plus évoluée : celle dite par assemblage de photos. Il est demandé une succession de photos qui se recouvrent légèrement - environ 1/3 entre deux photos (Figure) et un logiciel d'assemblage panoramique va les assembler afin de rendre un panorama sans raccord visible.

3.3.1. Photomerge ²¹

3.3.1.1. Choisir les images à assembler :

Le logiciel s'installe naturellement avec Photoshop. Fichier / Automatisation / Photomerge de Photoshop... Une nouvelle fenêtre s'ouvre. Figure 27



- 1-Sélection des photos et choix de la projection géométrique qui convient.
- 2-Choisir le mode de projection géométrique de l'image panoramique finale.
- 3-Définir les options de corrections des images avant l'assemblage.

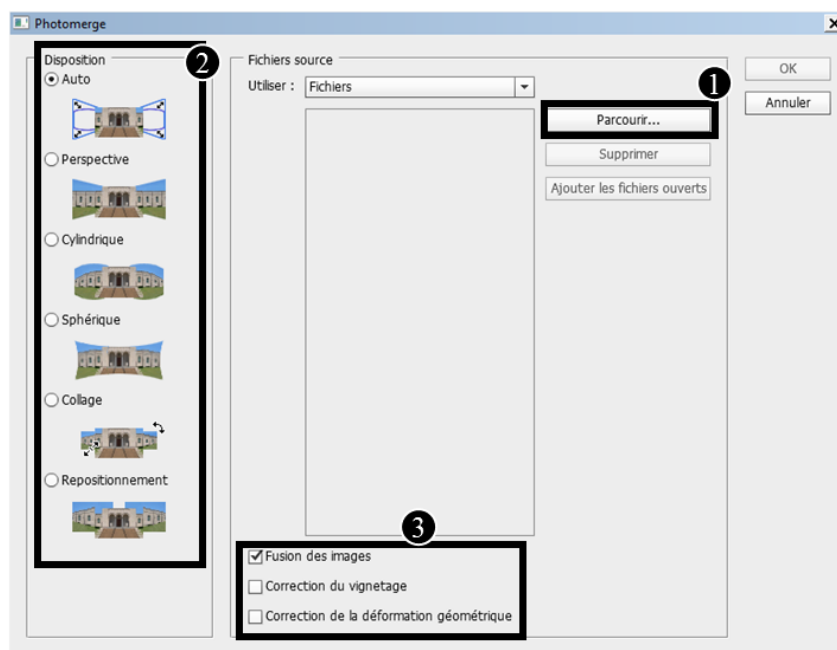


Figure 27 : Configuration de l'assemblage du Panorama avec Photomerge



Figure 28 : Photos rassemblées pour la création d'un panorama vertical

²¹ <https://www.guide-photo-panoramique.com/tutoriel-photomerge-photoshop.html>

3.3.1.2. L'assemblage avec Photomerge

Quand tout est prêt, cliquez sur OK. L'assemblage se lance.

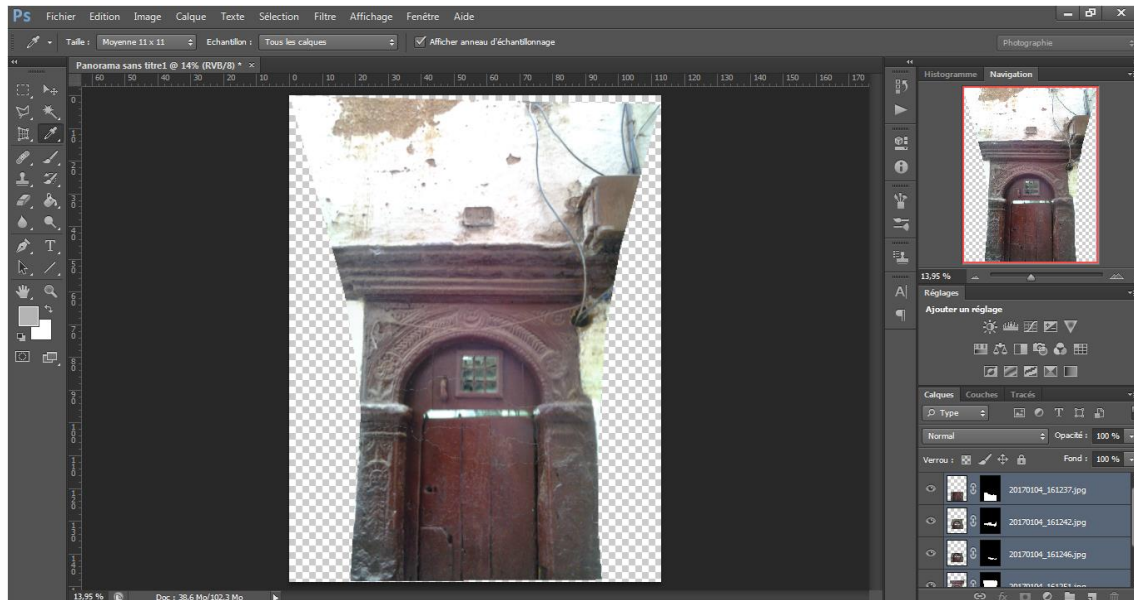


Figure 29 : Panorama créée par Photomerge

L'image assemblée se présente sous la forme d'une photo multicalque dans Photoshop **Figure 29**. Chaque image est sur un calque séparé avec son masque de fusion. Le tout est donc prêt à être retouché.

3.3.2. Stitcher²²

Photo Stitcher permet de créer des panoramas à partir de plusieurs clichés consécutifs, en trouvant des points de corrélation d'une photo à l'autre, PhotoStitcher assemble les clichés de façon à obtenir un panorama de qualité et harmonieux.



REALVIZ Stitcher

Etape 1 : **Sélectionnez les photographies depuis un dossier existant en cliquant sur le bouton** Figure 30

²² https://microapp.com/logiciel_photo_stitcher_11590.html

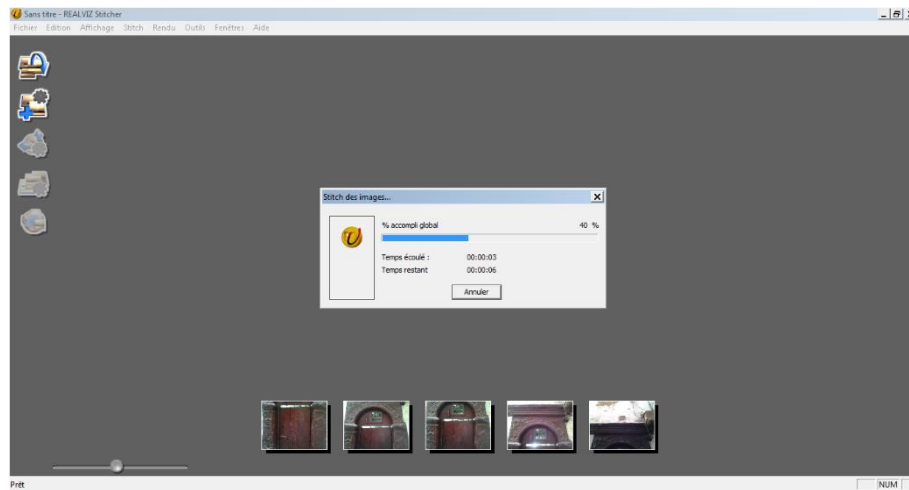


Figure 30 : La sélection des Photos



Etape 2 : Cliquez sur le bouton "stitch" pour assembler vos photographies Figure 31

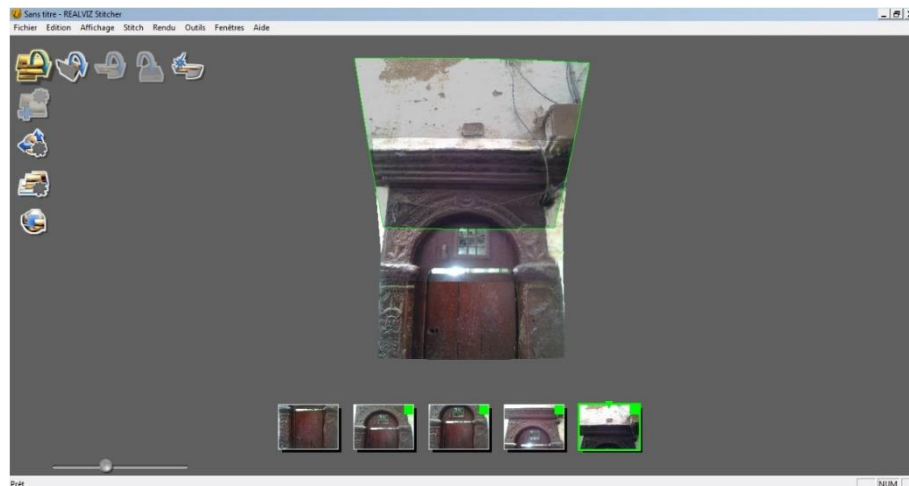


Figure 31 : Assemblage des Photos

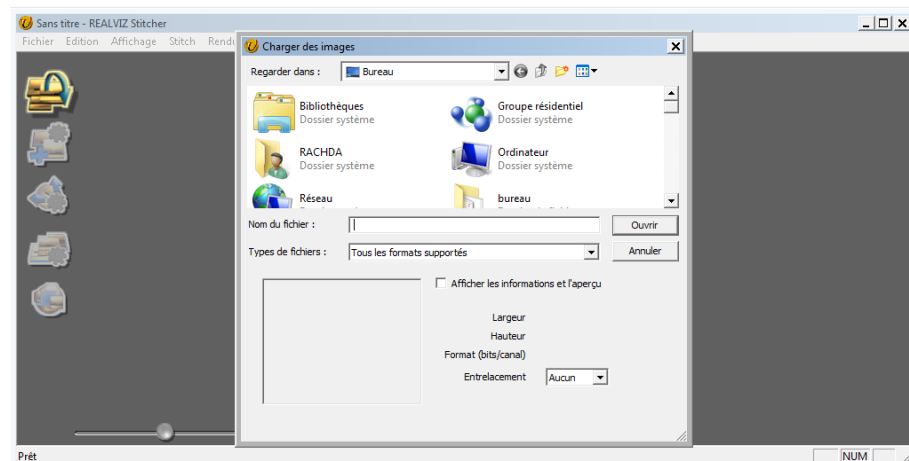


Figure 32 : Assemblage de Photographies par Stitcher (source auteur)

4. Choix des logiciels

Pour le développement de notre recherche sur le relevé des pathologies de la façade, le logiciel Sketch up est choisi pour la phase modélisation avec l'appui du logiciel Photoshop pour le traitement et le redressement d'images.

Le choix s'est arrêté sur des logiciels permettant de réaliser toutes les étapes du travail correctement et cela suivant plusieurs critères :

- Premièrement, les logiciels disposent des versions d'essai gratuites, libres et accessibles facilement par internet, même si pour une courte durée.
- Dans un second lieu, nous disposons une littérature théorique autour de ces deux logiciels et des prés acquis sur la manière de leur fonctionnement.
- Enfin, à travers notre recherche révérencielle, nous avons remarqué la fréquence de leur utilisation, où beaucoup de travaux de restitution par photomodélisation ont utilisé ces deux logiciels à savoir Sketch Up et Image Modeler.

Chapitre 2 :

Présentation du Cas d'Etude

1. Choix su site de la Casbah d'Alger

Dans le cadre du laboratoire LVAP (Ville, Architecture et Patrimoine), nous avons choisi de développer l'outil de photomodélisation sur un cas d'étude qui se présente dans l'enceinte de la Casbah d'Alger, l'ancienne médina d'Alger et l'icône du patrimoine Algérois.

« Depuis l'indépendance, près d'un millier de maisons se sont effondrées ou ont été démolies. Il ne restait plus que 1700 maisons. Aujourd'hui moins d'un millier de maisons sont encore debout et habitées.

Un tiers est insalubre, l'autre tiers menacé de tomber en ruine, le reste se compose de maisons bien entretenues ou dans un état d'habitabilité acceptable. »²³



Figure 33 : Limites du secteur sauvegarde de la Casbah d'Alger. (PPSMVSS)

1.1. Le Plan Permanent de mise en Valeur des Secteurs Sauvegardés - de la Casbah d'Alger²⁴

Nous avons choisi le secteur de la Casbah comme cas d'étude pour faire l'application de la photomodélisation, ce qui nous a conduits à consulter le travail fait dans le PPSMVSS concernant le relevé des façades. Ce plan permanent détermine les actions d'intervention et leurs types : restauration, réhabilitation, la mise en valeur, la construction aménagement de zones spécifiques ou d'ensemble et définit la nature d'affectation des endroits d'usage des sols et des constructions.

Dans cet objectif, les acteurs appelés à l'élaboration du PPSMVSS et afin d'accomplir leurs missions, ont eu besoin des relevés des maisons de la Casbah.

Dans un premier cas, nous avons choisi de tester cet outil de photomodélisation sur une façade d'une des maisons de la Casbah d'Alger qui soit dégagée de tous obstacles possibles, afin de faciliter notre travail (15, des Rue Arezki Temani).

²³ Rapport de Présentation du PPSMVSS- Plan Permanent de Mise en Valeur des Secteurs Sauvegardés- de la Casbah d'Alger

²⁴ Rapport de Présentation du PPSMVSS- Plan Permanent de Mise en Valeur des Secteurs Sauvegardés- de la Casbah d'Alger

Dans un second cas nous allons appliquer l’outil de photomodélisation sur une façade d’une des maisons de la Casbah d’Alger (12, Rue frères Racim), sur laquelle nous avons pu récupérer de la documentation (plans, façade et coupe), ce qui va nous mener à effectuer une comparaison l’outil photomodélisation une fois les deux relevés sont confrontés. Le relevé métrique et le relevé par photomodélisation.

1.2. La dégradation du tissu de la Casbah d’Alger²⁵

Pour le cas de la Casbah la dégradation du cadre bâti et des divers réseaux est traduite par plusieurs facteurs de différentes natures :

- les rénovations faite par les habitants non spécialisés avec l’utilisation de ciment (les enduits), de béton armé, et d’autres éléments incompatibles avec la structure ancienne de la maison traditionnelle.
- la dégradation des murs et des éléments en bois due à l’humidité provenant du manque d’étanchéité, de l’infiltration des eaux pluviales et des remontées par capillarité. Ceci provoque la vétusté des réseaux, cause de l’affaiblissement des sols et des fondations.
- le surpeuplement et surcharge des éléments de structure.
- l’abus de l’eau et de détergents surtout pour le lavage des planchers, qui ont des effets néfastes sur les éléments de constructions et les revêtements (carreaux, rondins, la pierre etc...)
- la surélévation des maisons par des baraques au niveau des terrasses pour loger plus de gens.
- le manque d’entretien des maisons et surtout de l’étanchéité des terrasses
- la vétusté des puits, des djebbs et des descentes d’eaux dans les maisons.
- la vétusté ou disparition des éléments d’étaisements horizontaux (les arcs en maçonnerie, les rondins, les passages couverts...)
- la démolition des maisons vétustes sans tenir compte des effets que cela provoquent pour les maisons voisines, ce genre d’action provoque une chaîne de dégradation d’îlots en entiers.
- Les mouvements sismiques.
- le mauvais entretien des rues et des espaces vides, absence d’évacuation des ordures et des gravats remplissant les espaces vides, les impasses etc. provoquant des problèmes d’évacuation dans les réseaux et générant ainsi des refoulements des eaux usées à l’intérieur des bâtisses.
- L’absence du propriétaire de la maison et/ou la faiblesse des charges locatives ne permettant pas une maintenance suffisante des lieux.

²⁵ Rapport de Présentation du PPSMVSS de la Casbah d’Alger

- La cohabitation de locataires d'origines différentes et la densité trop élevée rendent difficile la gestion de l'ensemble et excluent fortement l'entretien des parties communes en particulier l'étanchéité des terrasses.

- On améliore au maximum le confort de sa propre pièce, au détriment des autres espaces et des parties communes.

L'effet des surélévations récentes et parfois même datant de l'époque coloniale est dans la majeure partie des cas, au vu de l'état et du vieillissement des constructions, un facteur aggravant le phénomène de dégradation de ces dernières

Les constructions illicites ou de fortune, dépourvues du minimum sanitaire, non seulement elles défigurent le site mais aussi dénotent un état d'insalubrité extrême, dévalorisant le secteur sauvegardé, ce phénomène encourage et consolide l'idée d'un centre de transit éternel.

Ajouté aux phénomènes de vieillissement des constructions et de surcharges dues aux surélévations la vétusté des réseaux et principalement ceux de l'eau, reste le facteur majeur dans la dégradation.

De la vétusté de ce réseau enchevêtré, résultant de plusieurs extensions et modifications à différentes périodes ont généré des fuites importantes agissant sur la stabilité des sols, au vu des plates-formes dégradées et essentiellement des remblais.

Les puits et les djebbs condamnés, non utilisés ou fermés la présence de fosses septiques provoquent des déstabilisations des sols et des remontés capillaires

2. Pourquoi faire le relevé des pathologies ?

L'édifice patrimonial est vulnérable, susceptible d'être altéré par différentes causes, d'où la nécessité d'établir un cahier de santé propre à l'édifice, dans cet objectif le relevé des pathologies est recommandé suite à plusieurs intentions :

- Fournir un support de mesures pour la programmation des opérations de restauration, réhabilitation, consolidation, démolition, etc.

- Le relevé est une partie importante qui sera exigée lors du diagnostic élaboré pour toute opération de réhabilitation et/ou de restauration, comme support d'appui aux interventions et contributions.

- Avoir une idée précise du degré d'altération et de stabilité au moment du relevé.

- L'analyse des pathologies permet d'identifier leurs causes, évaluer les risques et préconiser des solutions de traitement.

- Sauvegarder une documentation précise de l'état actuel du bâtiment en fournissant son cahier de santé, tout en permettant de suivre sa dégradation.
- Réaliser des inventaires de centres historiques ou de bâtiments dans lesquels il est difficile de prendre des mesures suffisantes pour les dessiner avec précision.

Dans cet objectif, nous avons vu nécessaire d'établir une liste de pathologies possibles, pour arriver à la fin de choisir une ou deux pathologies sur lesquelles nous allons appliquer cet outil de photomodélisation.

3. Liste des pathologies

Notre patrimoine est vulnérable et ancien, il souffre de différentes dégradations et il est contaminé par différentes pathologies, dans ce cadre nous avons établi une liste de pathologies possibles à être constituées dans l'édifice patrimonial.

3.1. Classification générale des pathologies²⁶

Famille	Lésions	Types
Physique	Humidité	Capillaire/de filtrage/de condensation/accidentelle/de travaux
	Saleté	Par dépôt/par nettoyage différentiel
	Erosion	Météorologique
Mécanique	Déformation	Tassement/effondrement/flambement/gauchissement/flèche
	Fissures	Par charge/par dilatation-contraction
	Fissures superficielles	Par support/par finition
	Détachements	Finitions continues/finitions par éléments
	Erosion	Coups/frottements
Chimique	efflorescence	Sels solubles cristallisés/réaction chimique avec les sels
	oxydation	Oxydation superficielle
	Corrosion	Oxydation préalable/immersion/aération différentielle/paire galvanique
	Organismes	Présence et attaque d'animaux/présence de plante
	Erosion	Pollution

Tableau 1 : Classification générale des pathologies liées au bâtiment



Le tableau ci-dessus regroupe les différentes pathologies qui peuvent atteindre un bâtiment.

Elles y sont classées en trois grandes catégories ; physique, mécanique et chimique, avec en complément le détail de leur typologie et de leur origine.

²⁶ http://www.memoireonline.com/07/12/6023/m_Rehabilitation-des-ouvrages-en-beton-arme4.html

3.2. Tableau des illustrations des pathologies de la Casbah d'Alger²⁷



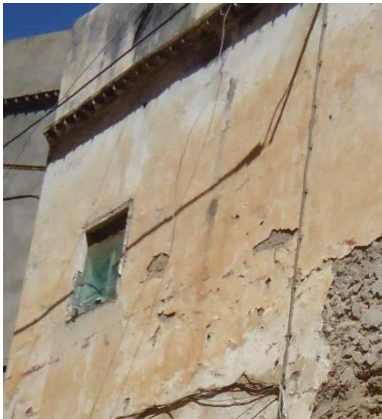
En parallèle à notre recherche, notre visite sur le site de la Casbah nous a permis de relever quelques pathologies fréquentes dans ce tissu en essayant de correspondre aux pathologies recueillies à travers notre recherche théorique : illustrées dans le tableau ci dessous :

Pathologie	Définition	Illustration
Fissuration	<p>-Lézarde : Elles ont une largeur supérieur à 2mm et sont généralement provoquées par des mouvements de sol ou des sollicitations inhabituelles auxquelles de résiste pas la structure du bâtiment.²⁸</p>	 <p>Auteur</p>
	<p>- Petites fissures « moustaches » : verticales ou obliques, partant des angles de l'ouverture d'une baie.²⁹</p>	 <p>Auteur</p>

²⁷ Photographies prises par l'auteur

²⁸ <https://www.forumconstruire.com/guides/guide-fissure-microfissure/signes-causes-fissures-maisons.php>

²⁹ <http://www.ravalement-pro.fr/fissure-facade/>

<p>Pathologies des joints</p>	<p>Ces pathologies sont dues le plus souvent au cycle gel/dégel, qui fait éclater les joints, ou à de mauvais dosages en liant. Ainsi un sous-dosage en chaux ou en ciment ne liera pas assez le sable et rendra le joint fragile et pulvérulent ; à l’opposé, un mortier sur dosé sera trop rigide par rapport à la façade (qui « bouge » toujours, en particulier à cause des variations de température et d’hygrométrie) et pourra entraîner une fissuration précoce du joint.³⁰</p>	 <p>Auteur</p>
<p>Dégât mécanique</p>	<p>Perte de matière due à une action mécanique</p>	 <p>Auteur</p>
<p>Altération chromatique</p>	<p>Modification d’un ou plusieurs des paramètres caractérisant la couleur de la pierre : teinte, clarté, saturation.</p> <p>Teinte : correspond à la caractéristique la plus marquante de la couleur (bleu, rouge, jaune, orange etc.).</p> <p>Clarté : correspond au caractère foncé (clarté faible), ou clair (forte clarté) de la couleur.</p> <p>Saturation : correspond à la pureté d’une couleur.</p> <p>Les couleurs à saturation élevée paraissent vives et pleines. Les couleurs à saturation faible paraissent grisâtres et ternes</p>	 <p>Auteur</p>

³⁰ CAUSSARIEU, Alexandre. GAUMART, Thomas. Guide pratique de la rénovation de façades Pierre, béton, brique, Eyrolles, 2005, http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782212116243/5_11_Caussarieu.pdf




<p>Film</p>	<p>Recouvrement mince, homogène, d'épaisseur généralement uniforme, habituellement de nature organique, souvent transparent, et qui épouse la surface.³¹</p>	 <p>Auteur</p>
<p>Algue</p>	<p>Les algues sont des organismes végétaux microscopiques sans tige ni feuille formant à l'intérieur comme à l'extérieur des édifices des voiles verts, noirs ou rouges ou bruns (épaisseur quelques dixièmes de mm à plusieurs mm). Selon les conditions environnementales et le substrat les algues peuvent former des films pulvérulents ou visqueux. Les algues se développent principalement dans les situations où la surface du substrat reste humide pendant de longues périodes.³²</p>	 <p>Auteur</p>
<p>Plante</p>	<p>Etre vivant végétal organisé différencié en racine(s), tige(s) et feuilles. Parfois cependant, la plante peut ne se résumer qu'à une simple expansion foliaire (ex : Fougère, arbre, arbuste, herbe).³³</p>	 <p>Auteur</p>

Tableau 2 : Illustration des différentes pathologies existantes à la Casbah d'Alger

³¹https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf

³² <http://www.ne.ch/autorites/DJSC/SCNE/patrimoine/pierre-jaune/etats-surfaces/Pages/Recouvrements-origine-biologique.aspx>

³³ <http://soutien67.free.fr/svt/vegetaux/diversite.htm>

4. Choix des Pathologies

Nous allons opérer une sélection de pathologies par élimination, afin de choisir les pathologies destinées à être relevé une fois que nous allons appliquer l’outil de photomodélisation sur le cas d’étude.

- Après avoir observé et abordé certaines pathologies existantes à la Casbah d’Alger, nous pourrions sélectionner parmi la liste déjà établie, les pathologies possibles en relation avec notre contexte.

- Ce choix doit se faire en ciblant les pathologies qui ont un caractère visible et mesurable, afin d’arriver à des résultats quantifiables, tout en éliminant celles qui exigent un autre outil de détection outre que l’œil humain, des pathologies non visibles à savoir l’humidité qui elle demande un appareil thermique.

Le choix s’est focalisé sur l’extérieur, sur les pathologies de façades (extérieures), étant en contact direct, dégagées en toutes leurs surfaces sans un élément obstacle.

Dans ce cas, les pathologies choisies à être relevées sont :

- **Les différents types de fissurations de façade.**
- **Les désordres d’enduit (revêtement) de façade. Chute et décollement.**

Une fois que notre choix s’est fixé sur les pathologies de façade, principalement les fissures et les désordres du revêtement entre chute et décollement, nous allons approfondir notre recherche sur ces deux pathologies afin de les mieux saisir.

5. Connaître et comprendre les fissures en façade³⁴

5.1. Qu'est-ce qu'une fissure ?

Dans le bâtiment, les fissures se traduisent par une fente qui affecte des éléments de construction tels que les murs, plafonds et planchers. On parle également de brèches, brisures ou déchirures. Les fissures peuvent être verticales, horizontales, obliques, etc.

5.2. Types de fissures³⁵

Les fissures peuvent être de décollement ou de rupture :

1- Les fissures de décollement entre différentes natures de matériaux (par exemple entre l'ossature et les remplissages d'éléments).

2- Les fissures de rupture qui peuvent être traversantes (ou partielles) et qui correspondent à une sollicitation excessive (contrainte de traction ou de cisaillement supérieur aux "possibilités du matériau).

- **Faiénçage** : Réseau en mailles d'ouvertures superficielles de très faible largeur, inférieures à 0,2 mm. Il ne concerne que la couche superficielle de l'enduit.
- **Microfissure** : Ouverture linéaire dont la largeur est inférieure à 0,2 mm. Elle concerne généralement toute l'épaisseur de l'enduit.
- **Fissure** : Ouverture linéaire, au tracé plus ou moins régulier, dont la largeur est comprise entre 0,2 et 2 mm. Les fissures concernent toute l'épaisseur des enduits à base de liants hydrauliques et, parfois, tout ou partie de l'épaisseur des éléments de béton ou de maçonneries sur lesquels ces enduits sont appliqués. On distingue deux types de fissures en fonction de leur emplacement : les fissures localisées aux points singuliers de la paroi (acrotères, chaînage, jonctions avec dalles, etc.) et les fissures réparties sur la façade.
- **Lézarde ou crevasse** : Ouverture concernant toute l'épaisseur de la maçonnerie et dont la largeur dépasse 2 mm.

³⁴<https://www.weber.fr/facades-anciennes/solution/conseils-de-pro/connaître-et-comprendre-les-fissures-en-facade.html>

³⁵ <https://www.weber.fr/facades-anciennes/solution/conseils-de-pro/connaître-et-comprendre-les-fissures-en-facade.html>



- 1) Microfissurations de retrait (en mailles larges) des enduits ou bétons.
- 2) Microfissures ou fissures horizontales ou verticales.
- 3) Fissures en général obliques ou verticales partant des angles des baies (fissures en moustache).
- 4) Fissures verticales situées aux angles de la construction.
- 5) Microfissures des joints de maçonnerie.
- (6) Fissures (voire lézardes) obliques dans les parois béton ou de maçonnerie.
- 7) Fissures verticales à la jonction de deux bâtiments contigus et indépendants (agrandissement...).
- 8) Fissures horizontales situées soit au droit du plancher, soit au 1er ou au 2e rang d'éléments de maçonnerie en dessous du plancher.
- 9) Faïençage superficiel (en petites mailles) de la couche superficielle de l'enduit.

5.3. Interprétation des pathologies

Les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur. Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles.

Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes.

Cette cause peut être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentour. Afin de rendre les réparations pérennes, il est nécessaire de

mettre en œuvre des travaux de protection adaptée, mais aussi de travailler sur l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables.

5.3.1. Tableau des types de fissures et leurs causes ³⁶

	Type de fissures	Les causes
1	Petites fissures « moustaches », verticales ou obliques, partant des angles de l'ouverture d'une baie.	Dilatation des appuis de baies ou résistance mécanique trop faible de la maçonnerie d'angle.
2	Fissures horizontales situées au droit des planchers.	Déformation ou rotation du plancher sur le chaînage périphérique, voire chaînage horizontal trop faible.
3	Fissures verticales à la jonction de deux corps de bâtiments continus mais indépendants (construction voisines, agrandissement...)	Absence de joints de dilatations.
4	Faïençage superficiel de l'enduit en maille fine.	Séchage superficiel trop rapide (dessiccation ou excès de talochage).
5	Fissures en hachures obliques situées près d'un plancher ou d'une poutre en béton armé.	Dilatation thermique du béton.
6	Fissures verticales situées aux angles de la construction.	Chaînage vertical absent ou trop faible.
7	Fissures ou lézardes obliques dans les parois.	Instabilité du terrain ou des fondations entraînant des mouvements importants de la construction.
8	Microfissures aussi bien horizontales que verticales.	Maçonnerie composée d'éléments divers ayant des comportements hygrothermiques différents.
9	Fissures ou lézardes en escalier	Instabilité du terrain ou des fondations entraînant des mouvements importants de la construction.
10	Microfissurations dite « de retrait » en mailles larges.	Mauvais dosage de l'enduit ou excès d'eau de gâchage, mauvaise adhérence de

³⁶ <http://www.ravalement-pro.fr/fissure-facade/>

		l'enduit ou épaisseur trop importante de celui-ci.
11	Microfissures des joints de maçonnerie.	Utilisation de blocs non stabilisés ou montage défectueux de la maçonnerie.

Tableau 3 : Tableau des types de fissures et leurs causes

6. Connaitre les désordres du revêtement des façades

Désordre d'enduit ³⁷

Les dommages rencontrés sont liés à l'aspect et à la durabilité de l'enduit. D'autres, par contre, affectent l'imperméabilité de la paroi.

- Les désordres affectant l'aspect³⁸
- **Le nuancement** désigne des variations de couleur ou d'aspect de l'enduit.
- **Les spectres** peuvent être permanents ou visibles seulement lorsque l'enduit est mouillé.
- **Le faïençage** (Figure) est particulièrement inesthétique : c'est une microfissuration en forme de résille qui affecte la surface de l'enduit.
- **Les mousses et salissures** sont dues au développement de micro-organismes sur des zones humides ou à des dépôts de salissures urbaines.

Les désordres affectant la durabilité

- **La fissuration** est due au comportement du support mais également au retrait de l'enduit lié aux conditions d'application (excès d'eau, humidification insuffisante du support, temps sec, venté, chaud, variations d'épaisseur...).
- **Les pénétrations** d'eau par porosité sont rares en l'absence de fissures. Elles sont dues à des épaisseurs insuffisantes d'enduit.

7. **Le décollement** est consécutif à une mauvaise préparation du support (support farineux ou trop lisse, présence de poussières, humidification insuffisante, support gorgé d'eau, absence de couche d'accrochage...).

8. **Le brûlage (ou grillage)** est dû à une dessiccation prématurée de l'enduit par absorption d'eau par le support ou du fait des conditions atmosphériques (temps chaud, vent sec).

9. **Le cisaillement du support** se rencontre sur les supports à faibles caractéristiques mécaniques (béton cellulaire). Il est dû à l'application d'un enduit inadapté à ce type de support.

³⁷ http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/laffb/mediatheque/batimetiers.html?ID_ARTICLE=1802

³⁸ http://www.groupe-sma.fr/SGM/jcms/jirect_20739/fr/desordres-des-enduits-monocouches

7. Cas d'étude de la façade du 15 Arezki Temani, Casbah d'Alger

Dans un premier temps nous avons choisi la maison du 15, Arezki Temani comme cas de notre étude pour l'application de l'outil de photomodélisation. Nous avons favorisé cette maison vu qu'une partie de sa façade est dégagée de tout obstacle, nous avons pu l'avoir en une seule photo.

7.1. Description du cas d'étude

La maison du 15, Arezki Temani se situe au centre du tissu de l'ancienne médina de la Casbah.

Figure 34.

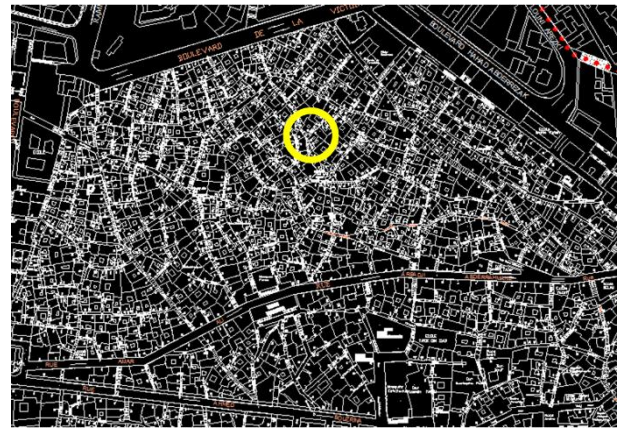


Figure 34 : La Situation de la maison par rapport au tissu de la Casbah d'Alger (PPSMVSS)

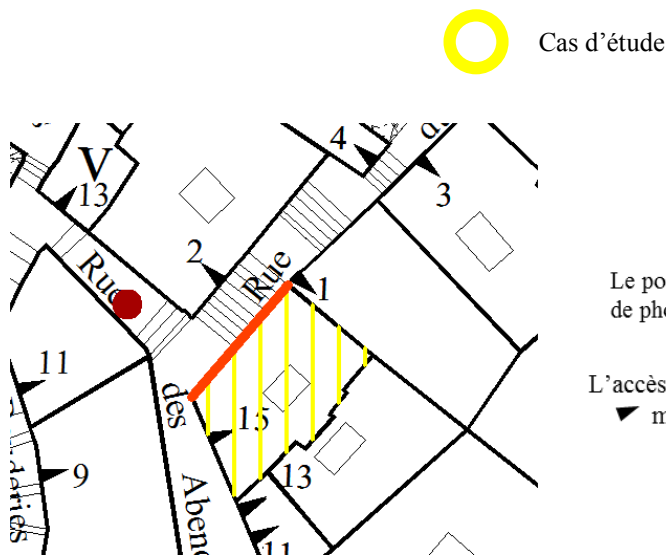


Figure 35 : La Position de la maison par rapport aux voies d'accès (PPSMVSS)

Le bâtiment étant à l'intersection de trois voies secondaires de passage. Figure 35

La façade en question, qui donne sur la voie Arezki Temani, fait 9 m de largeur, la photo de cette façade Figure 36 a été prise depuis la voie perpendiculaire à cette façade présentant une série de marches. La photo permet de visualiser une partie de la façade, le reste de la façade est cachée par le bâtiment voisin.

Cette partie cachée de la façade est redressée par des étaielements des mesures d'urgence Figure 37 ,chose qui empêche la prise de mesure ou même le relevé.



Figure 36 : La façade prise en photo (Auteur)

Un bâtiment d'angle a vocation d'habitation, qui est composée de 2 niveaux (Rez-de-chaussée et un premier étage) plus terrasse. Un niveau est rajouté récemment en terrasse, facilement distingué par son matériau léger. (Figure)



Figure 37 : Etalement de la façade

La façade possède une seule ouverture d'aération de petite dimension, avec deux éléments identiques sortants en sailli. Elle démontre plusieurs pathologies étant le changement de couleurs, les ruissellements des eaux pluviales et le détachement des revêtements et d'enduits.

7.2. Etapes de l'application de la photomodélisation sur le cas d'étude

7.2.1. La prise de vue

Une prise de vues est prise à partir de la rue Bensirages depuis à point parallèle à la façade de la rue Arezki Temani afin d'assurer une préservation de mesures et d'angle. **Figure 35**

Une fois sur site, nous avons commencé par la prise de photo, une étape qui présente certaines conditions :

- On doit maintenir l'appareil photo d'une manière verticale et perpendiculairement à la façade exposée.
- Il est souhaitable que la photographie contienne la façade voulue dans sa totalité afin de faciliter l'application par le logiciel.

7.2.2. La prise de mesures

La seconde étape est de prendre une mesure de référence que nous allons utiliser pour le dimensionnement de la façade dessinée à la photomodélisation.

Dans ce cas, nous avons pris une mesure sur une partie accessible par rapport à notre taille humaine, une mesure étant dans la partie basse de la façade.

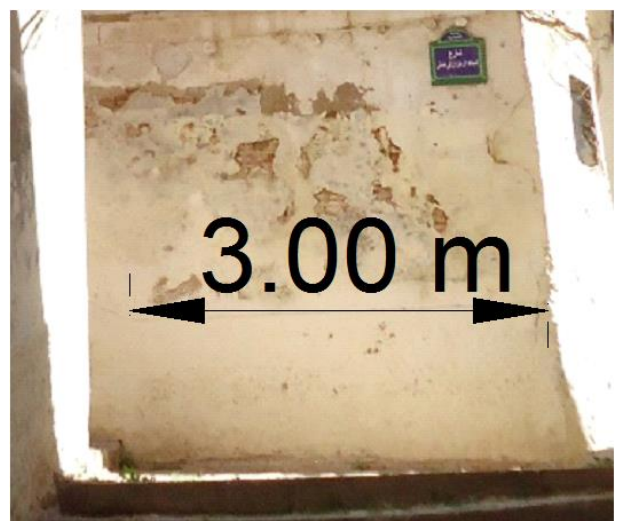


Figure 38 : La Prise de mesure Référentielle

Figure 38. Nous avons pris un repère visuel qui se manifeste par la signalisation du soubassement, la distance entre ces deux points faisait 3m.

7.2.3. Le redressement de l'image

Etant que le bâtiment pris en photo est haut par rapport à notre point de prise de vues, le bâtiment semble déformé aux étages supérieurs.

Dans ce cas, il s'agit soit de surhausser l'appareil pour que la façade soit au centre de la photo, soit redresser la photographie avec le logiciel Photoshop. **Figure 39**

L'étape suivante consiste à redresser l'image prise avec le logiciel de Photoshop à fin d'obtenir des arêtes verticales.

7.2.3.1. Importation de l'image à redresser sur Photoshop

Une fois que l'interface de Photoshop est ouverte, faisons **cliquer** sur l'image à traiter dans son dossier et la **glisser** l'image dans la fenêtre de Photoshop.

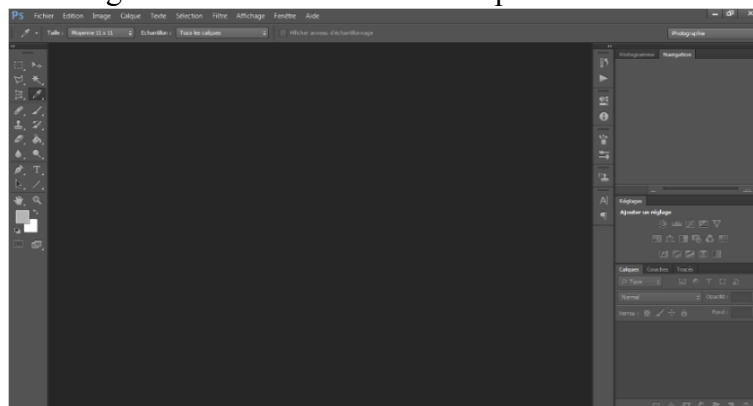


Figure 39 : L'interface de Photoshop

7.2.3.2. Désignation des lignes de repères

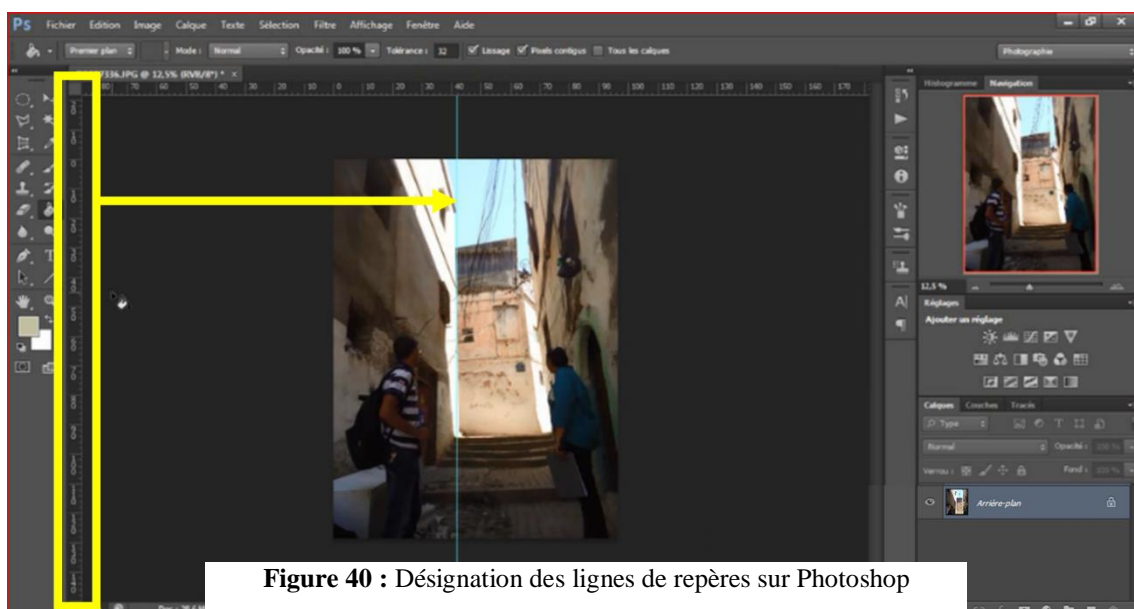


Figure 40 : Désignation des lignes de repères sur Photoshop

Cliquer-Glisser sur la **règle** située à **gauche** (pour la ligne **verticale**) et en **haut** (pour la ligne **horizontale**) de la feuille du dessin pour reconstituer les **lignes de repère** **Figure 40**

7.2.3.3. Redressement de l'image

Nous cliquant sur la touche **CTRL** tout en **tirant** un des **sommets de l'image** et cette dernière va se déformer pour rejoindre les lignes déjà tracées. **Figure 41**

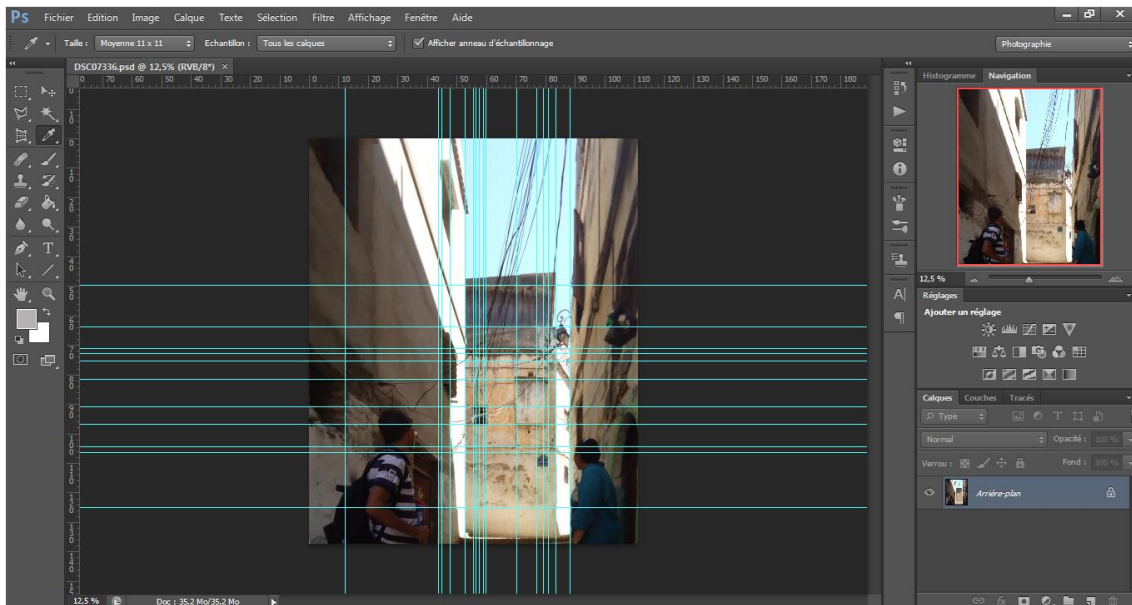


Figure 41 : Redressement de l'image sur Photoshop

7.2.3.4. Enregistrement de l'image redressée

Fichier = Enregistrer sous image (choisir un emplacement)

7.2.4. La reconstitution de la façade


La restitution de la façade de cet exemple va suivre les mêmes étapes expliquées déjà dans ce mémoire.

1L'importation de la photo sur Sketch Up

2Alignement des axes

3Modélisation

7.2.4.1. Le relevé de la façade **(Figure)**

Commencer le dessin avec l'outil **LIGNE** dans  la barre du dessin pour relever toutes les éléments de la façade. L'utilisation de l'outil ligne est due au caractère rectiligne de la façade à restituer ainsi aux éléments architecturaux qui la constituent.



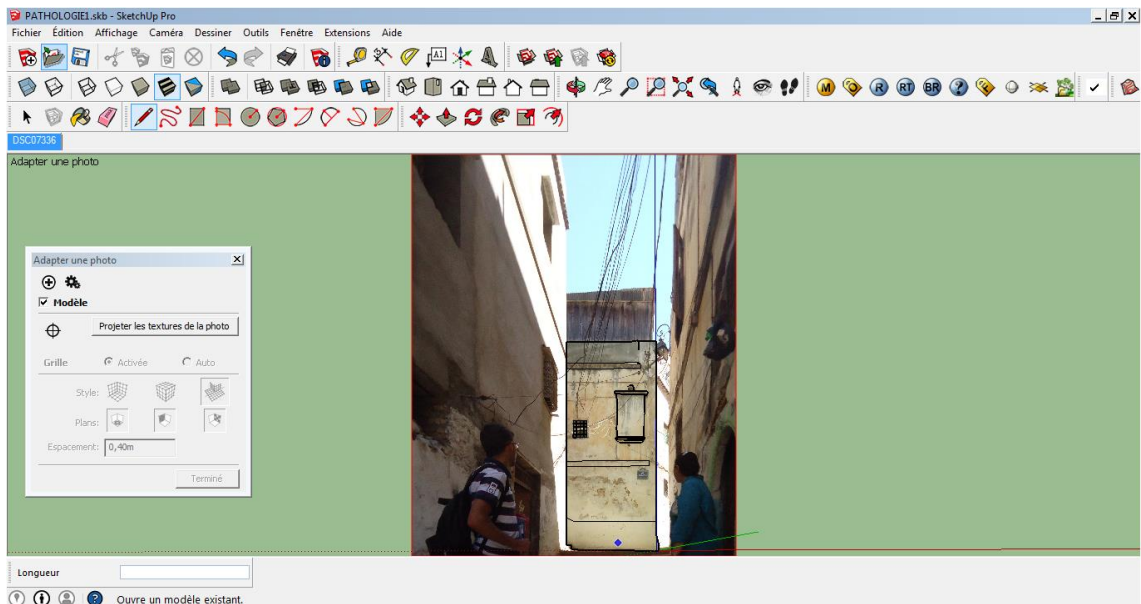



Figure 42 : Relevé de la façade et de ses éléments architecturaux

7.2.4.2. Le relevé des pathologies de la façade

Commencer le dessin avec l’outil Main Levée  dans la barre du dessin pour relever toutes les pathologies existantes sur la façade. L’utilisation de l’outil Main Levée est due au caractère curviligne des contours des pathologies manifestants sur la façade.

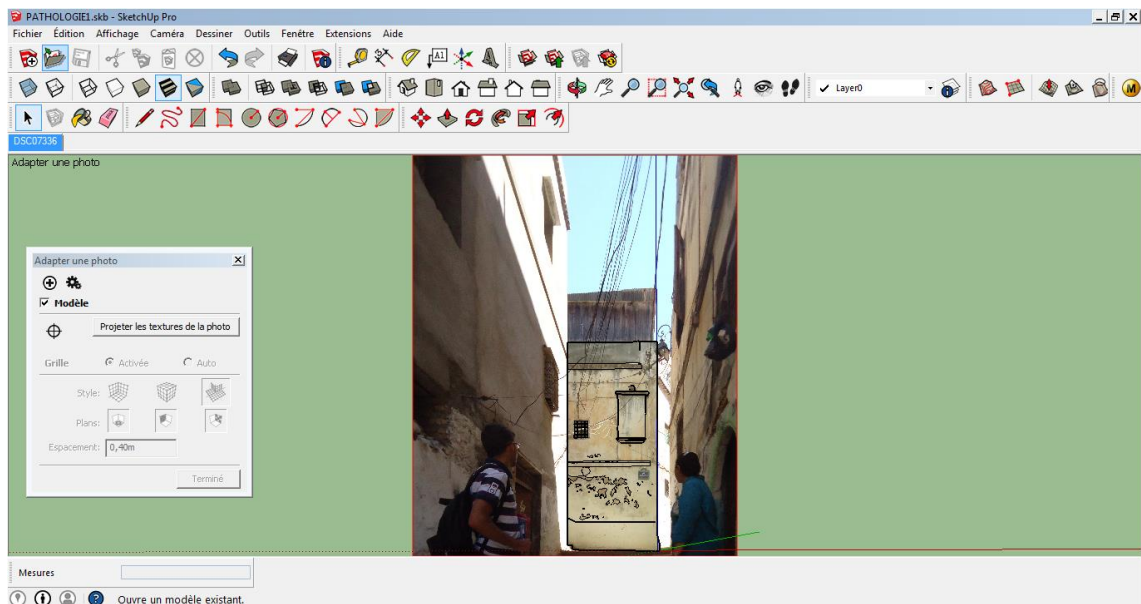


Figure 43 : Relevé des pathologies de la façade

7.2.4.2. Reconstitution de la façade en 2D depuis la modélisation 3D

Caméra = Vues Standards = Face. Figure 44

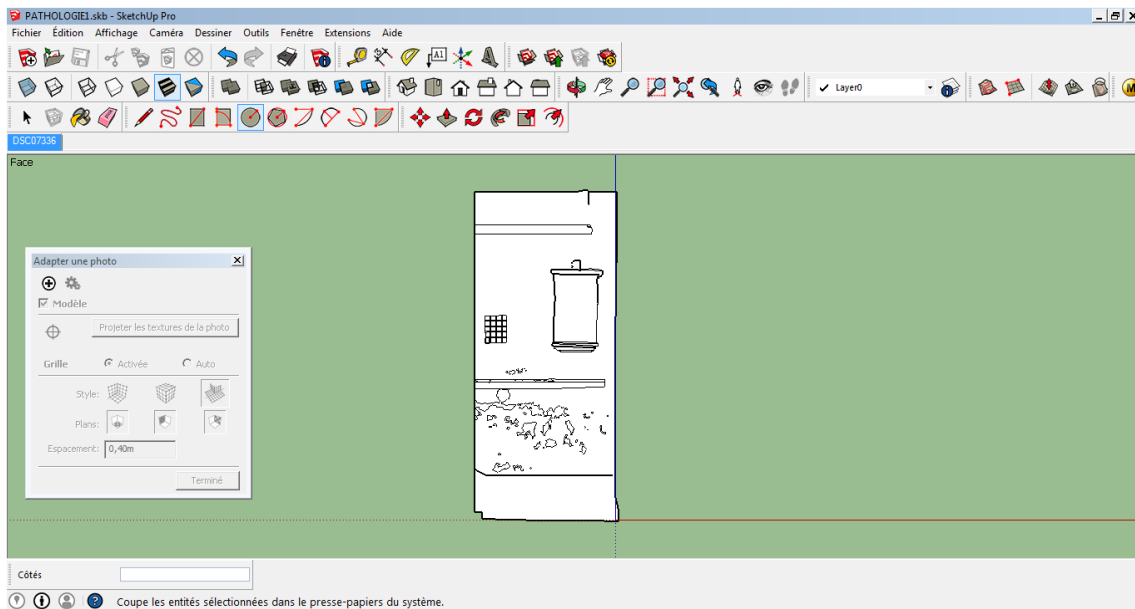


Figure 44 : Reconstitution de la façade 2D depuis la modélisation 3D

7.2.4.3. Enregistrement du relevé

Fichier = Exporter = Graphique 2D=Fichier Autocad DWG

*L'exportation du fichier sur Autocad est un choix pour l'étape des mesures afin d'exécuter les vérifications et la prise des mesures sur un logiciel fiable et qui dispose des options spécifiques aux mesures (cotation, calcul de périmètre et de superficie, option qui manque dans Sketch Up).

7.2.5. Prise de mesures et vérification

Une fois que nous ouvrons le fichier Autocad, nous obtiendrons le relevé dessiné

Cotation = Linéaire . Figure 45

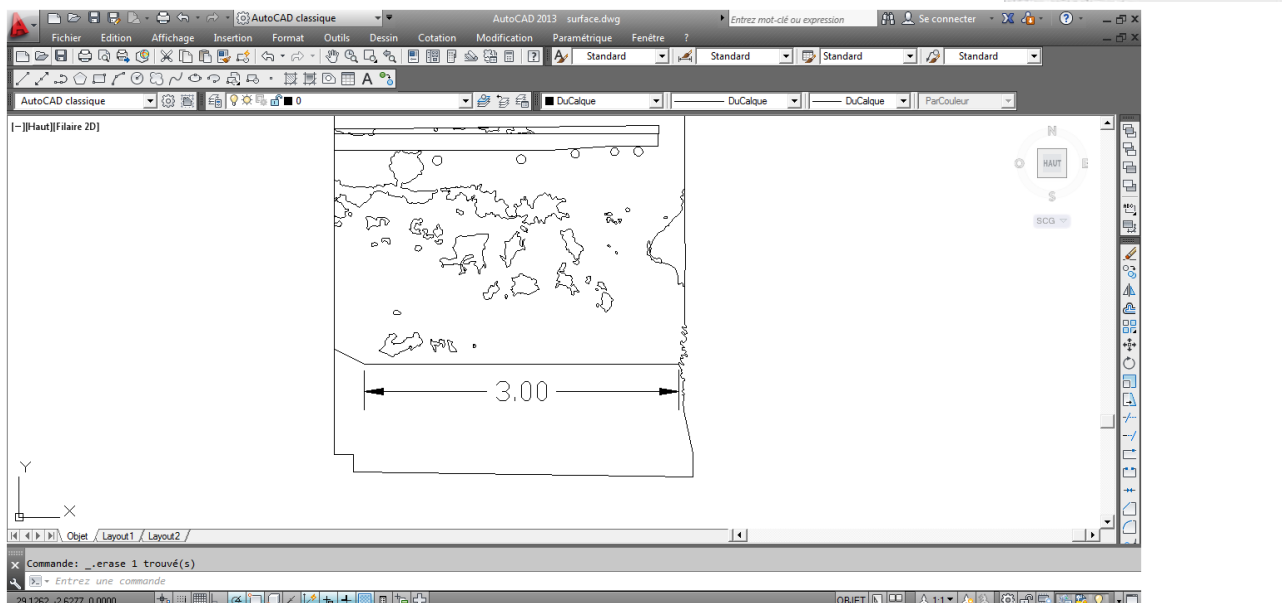


Figure 45 : Prise de mesure et vérification

Et en cliquant sur les deux extrémités de la ligne que nous souhaitons mesurer **Figure 45** nous pouvons comparer le résultat donné avec celui mesuré sur site **Figure 38**

7.2.6. Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation

Nous allons prendre des mesures sur la partie basse du bâtiment, celle accessible par rapport à notre taille humaine, pour la comparer avec les mesures engendrées par photomodélisation après l'adaptation de la photo :

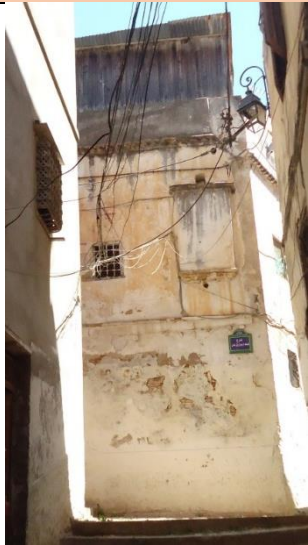
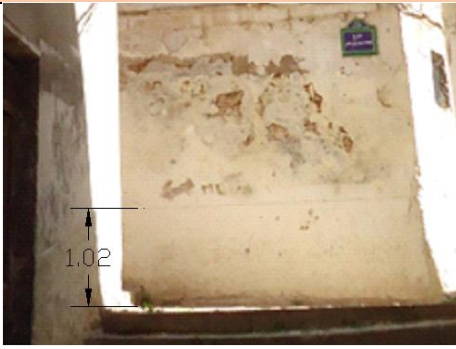

Image Réelle	Mesure prise sur site	Mesure prise après restitution	Pourcentage d'erreur
		1.03 m	1%
		1.08 m	3 %

Tableau 4 : Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation

7.2.7. Le calcul du pourcentage d'erreur

Afin de comparer les résultats de mesures prises sur sites et celles récupérées après restitution, nous avons vu nécessaire de calculer le pourcentage d'erreur engendrer par notre restitution par photomodélisation en utilisant le logiciel Sketch Up.

Ce pourcentage se calcule de la manière suivante :

$$P = \frac{|R-S|}{R} * 100$$

R : La mesure réelle sur site

S : La mesure après restitution

7.2.8. Evolution des pathologies

Après une période d'un an, nous avons retourné pour prendre cette façade en photo une

deuxième fois, et après sa restitution en suivant les mêmes étapes comme la première fois

Figure 46. La superposition des deux relevés nous a permis de constater l'évolution de la dégradation de cette façade **Figure 47.**

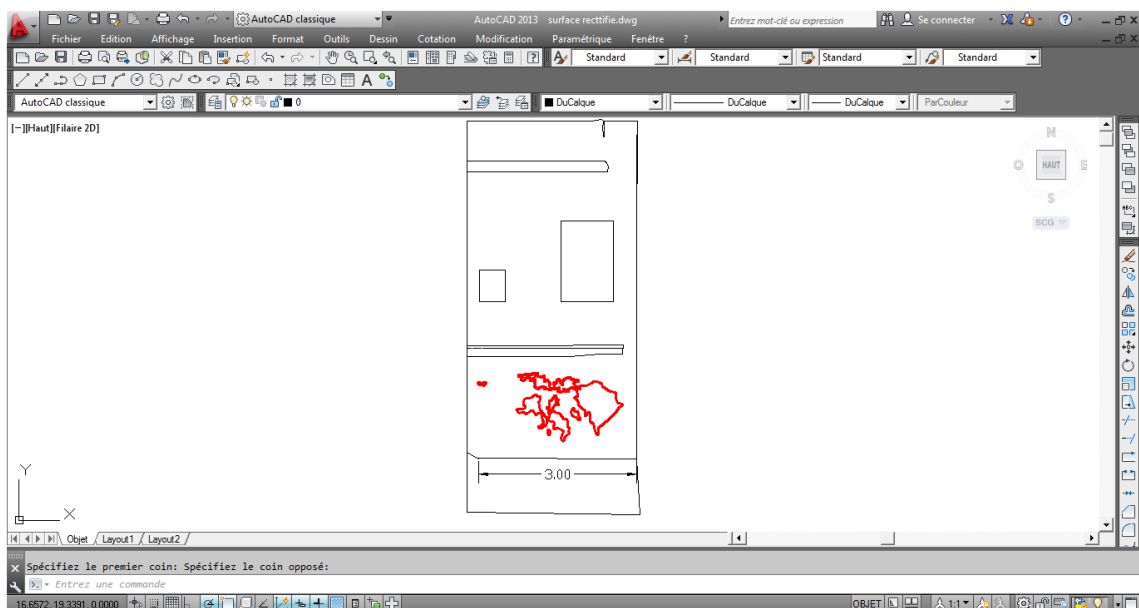


Figure 46 : Résultat de la restitution de la façade après une période d'un an

L'endommagement de cette façade durant cette période est accentué, chose qui interpelle la nécessité du relevé par photomodélisation, lui qui permet un résultat facile et rapide pouvant être enregistré et sauvegardé à travers une version numérique utile dans une utilisation ultérieure.

L'expérience acquise avec cet outil de photomodélisation des données existantes reste un outil parmi les plus efficaces et rapides pour les besoins de relevé de pathologies du patrimoine.

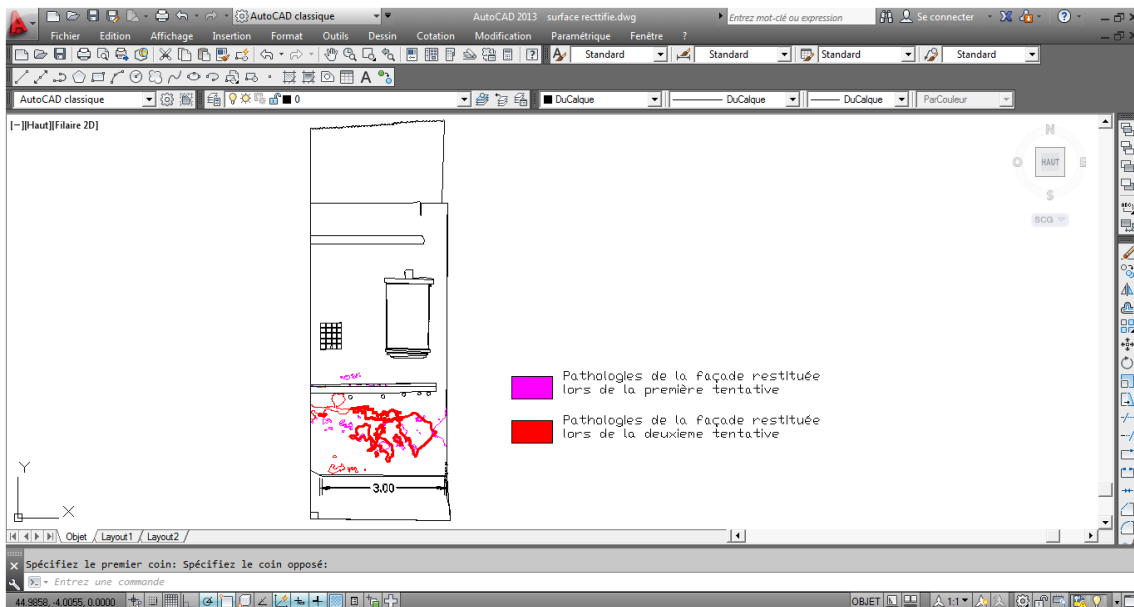


Figure 47 : Superposition de la première et la deuxième restitution de la façade

7.2.9. Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation

Image de la pathologie	Mesure prise sur site	Mesure prise après restitution	Pourcentage d'erreur
	 13 cm	 13 cm	0 %
	 8 cm	 8 cm	0%



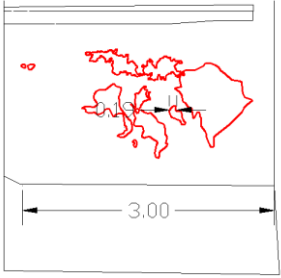
	 <p style="text-align: center;">20 cm</p>	 <p style="text-align: center;">19 cm</p>	<p>5%</p>
---	---	--	------------------

Tableau 5 : Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation

7.2.10. Conclusion

Dans cette partie de notre travail, nous avons commencé à manipuler les logiciels pour les découvrir.

La façade a été facilement dessinée sur Sketch Up avec un faible pourcentage d'erreur qui relève d'une moyenne de 1.8 % et exportée à Autocad afin qu'elle soit conservée et sauvegardée autant qu'un dessin technique de la façade.

Le bâtiment par sa hauteur ne permet pas de mesurer directement et manuellement la façade dans sa haute partie, sauf que l'application par photomodélisation donne accès aux différentes parties de la façade relevée et modélisée.

Concernant la partie basse de la façade là où nous avons pris des mesures métriques, ils étaient comparés avec les mesures relevées sur le logiciels et le résultat été approximativement le même. Le taux d'erreur constaté été de 2 %, un taux d'erreur que nous avons estimé d'acceptable.

Le redressement d'image avant photomodélisation porte un intérêt majeur dans la préservation des mesures.

Nous avons réussi à relever les pathologies choisies d'une manière simple, facile et rapide.

Par contre, nous avons pu relever des mesures dans la partie basse de la façade, et cela a permis de confirmer les résultats obtenus par photomodélisation. Mais malheureusement ce n'est pas le cas pour la partie haute où nous n'avons accès et donc nos résultats de relevés par photomodélisation restent à prouver. Par contre dans la partie haute nous ne disposons pas d'informations sur le taux d'erreur causé par le logiciel vu que nous n'avons pas pu mesurer cette partie.

Nous avons commencé par cette première expérience sur une partie de la façade du 15, Arezki Temani et nous passant maintenant à un autre cas d'étude où nous allons utiliser le logiciel Sketch Up pour la photomodélisation d'une façade plus complexe mais sur laquelle nous disposant déjà de la documentation concernant les relevés (plans, façade et coupes).

Chapitre 3 :
Application de la
photomodélisation sur le 12 des
Frères Racim, Casbah d'Alger

1. Cas d'étude de la façade du 12 frères Racim, Casbah d'Alger

1.1. Description du cas d'étude

Dans un second temps nous avons choisi la maison du 12 des frères Racim, comme cas de notre étude pour l'application de l'outil de photomodélisation, ce choix est dû, vu la disposition de la documentation élaborée dans le cadre de la réhabilitation de la Casbah d'Alger.

La maison se situe dans la partie haute de la Casbah d'Alger **Figure 48**. Une maison à patio dont nous avons pu avoir son plan de rez-de-chaussée, **Figure 49** qui nous renseigne sur une partie des mesures et le relevé de la façade **Figure 51**

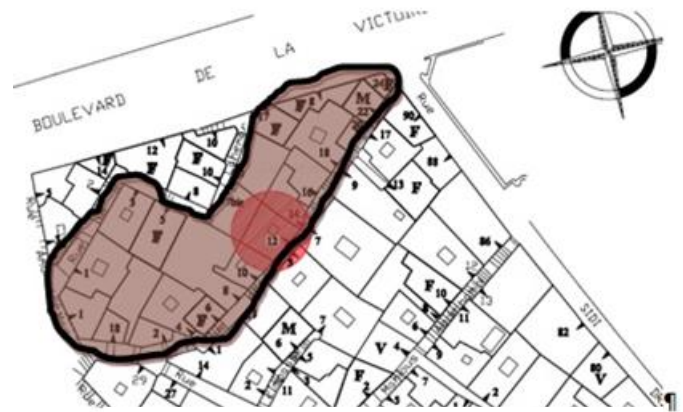


Figure 48 : Situation du cas d'étude par rapport au boulevard de la Victoire

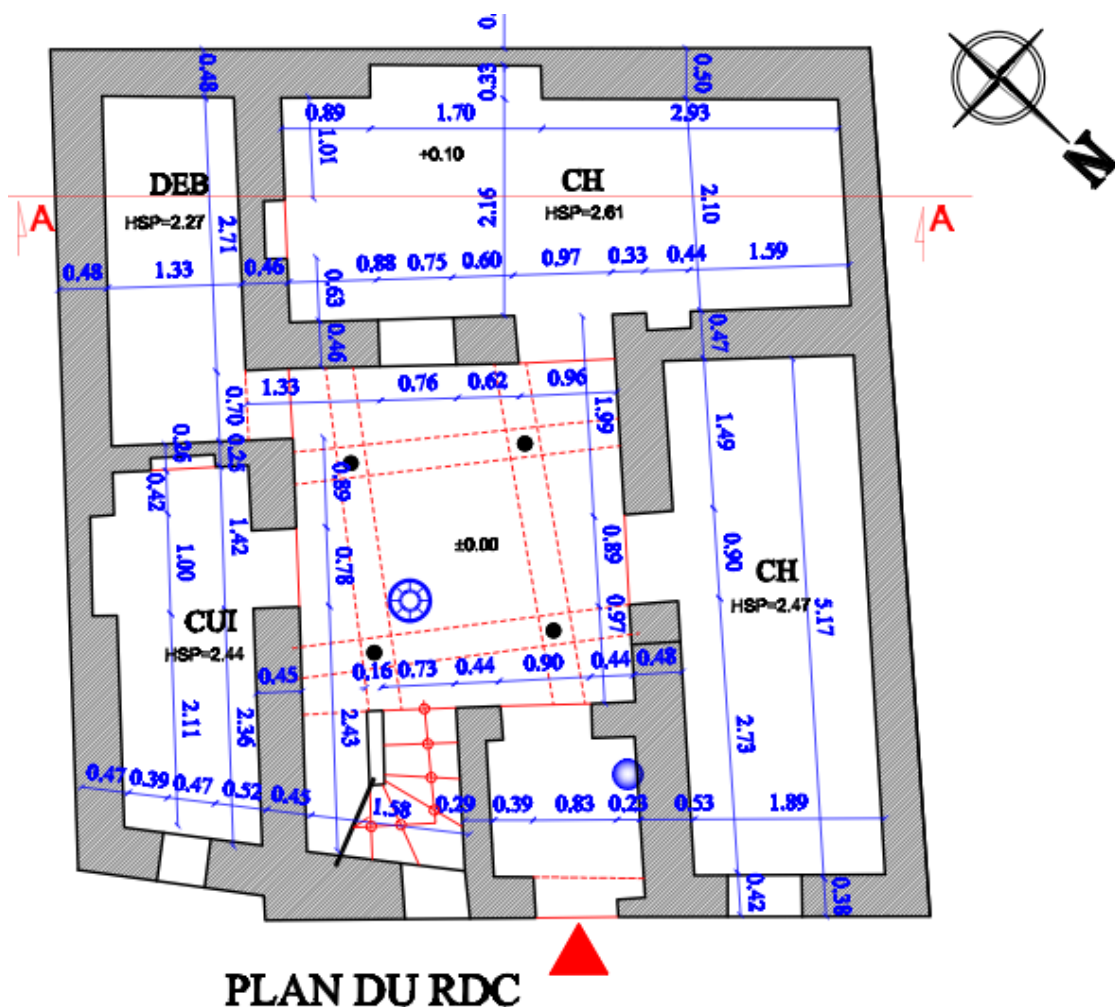


Figure 49 : Plan du RDC

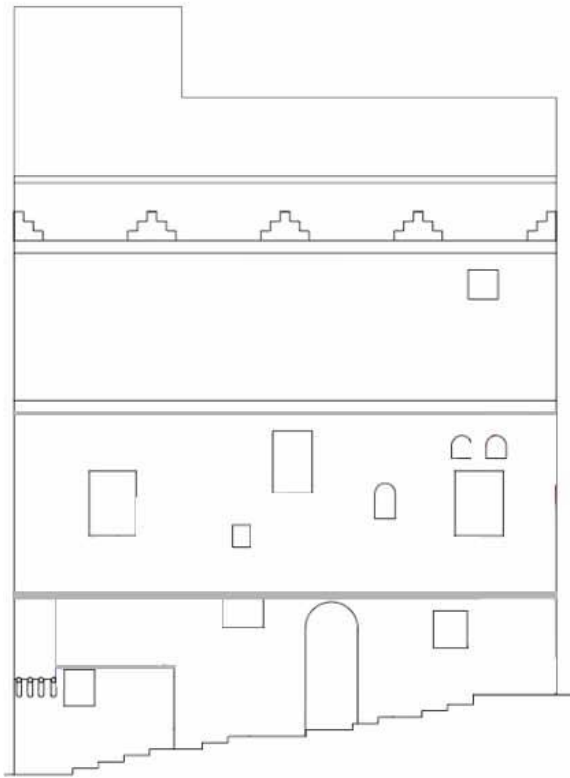


Figure 51 : Relevé de la Façade du cas d'étude

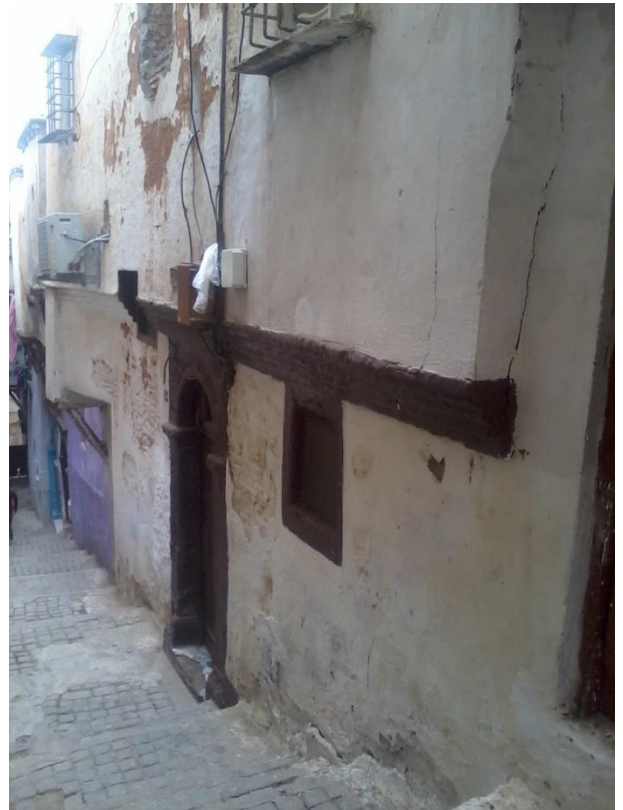


Figure 50 : Photo de la Façade du cas d'étude (Auteur)

En comparant la façade relevée **Figure 51** et la façade sur photo **Figure 50**, nous constatons un manque de relevé des pathologies qui sont nettement visibles sur la photo, chose qui va faire l'objet de notre travail de restitution, où nous allons relever la façade avec ses pathologies.

La façade du **12, frères Racim**, une façade d'une maison à patio de R+2, qui présente l'entrée principale de la maison situant dans l'axe central de la façade avec trois petites ouvertures, hautes et de dimensions réduites.

La maison dans son premier étage expose trois grandes fenêtres et une toute petite au niveau du 2em étage.

La partie supérieure de la maison est en sailli et un encorbellement marque sa partie gauche avec un petit décrochement au niveau rez-de-chaussée.

1.2. Etapes de l'application de la photomodélisation sur le cas d'étude

1.2.1. La prise de Photos

Vu l'étroitesse de la voie sur laquelle donne notre façade, (1.4 m coté limite droite de la façade et 1.98 m coté limite gauche de la façade par rapport à une hauteur de) de nous n'avons pas pu regrouper la façade dans une seule photo, ce qui nous a induit à prendre la façade en plusieurs parties de photos afin de reconstituer son panorama en séries de photographies horizontales et verticales. **Figure 52.** Ces photos ont été prises en suivant les mêmes recommandations exigées dans l'application de notre première tentative, dans le chapitre précédent.



Figure 52 : Une série de photos regroupant la façade du cas d'étude

1.2.2. Le redressement des photos

Chaque photo va suivre ces étapes sur le logiciel Photoshop :

1.2.2.1. Importation de la photo sur Photoshop

Cliquez Glissez de la photo dans l'interface de Photoshop

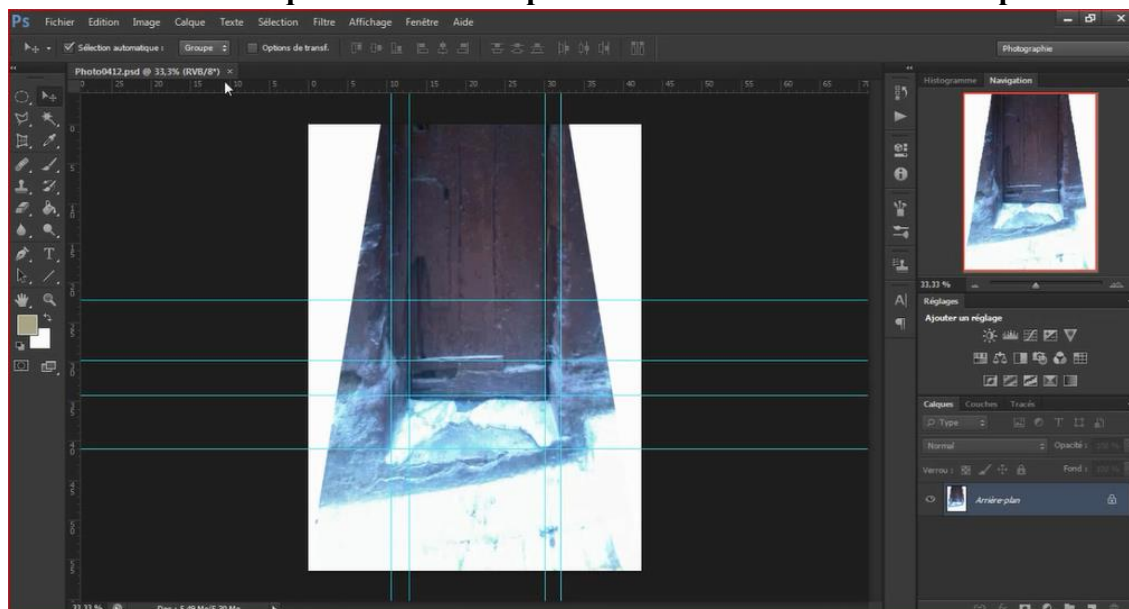


Figure 53 : Redressement d'image

1.2.2.2. Redressement de la photo

Sélectionner l'image = édition = transformation manuelle

Et avec la touche de **CTRL** nous glissant les sommets de l'image afin de la redresser suivant la ligne de référence. **Figure 53**

1.2.2.3. Enregistrement de la photo

Fichier = Enregistrer

1.2.3. La reconstitution de panorama

Une fois que toutes les photos sont traitées, nous passons à la restitution du panorama.

1.2.3.1. Importation des photos

Selon le même principe dans les phases précédentes nous faisons importer deux photos sur l'interface de Photoshop.

1.2.3.2. Alignement des photos

Nous alignons les images l'une avec l'autre et nous validant la sélection. Et pour cela nous arrangeons l'opacité d'une des deux photos de sorte que nous pouvons superposer deux photos en alignant leurs points de convergences. **Figure 54**

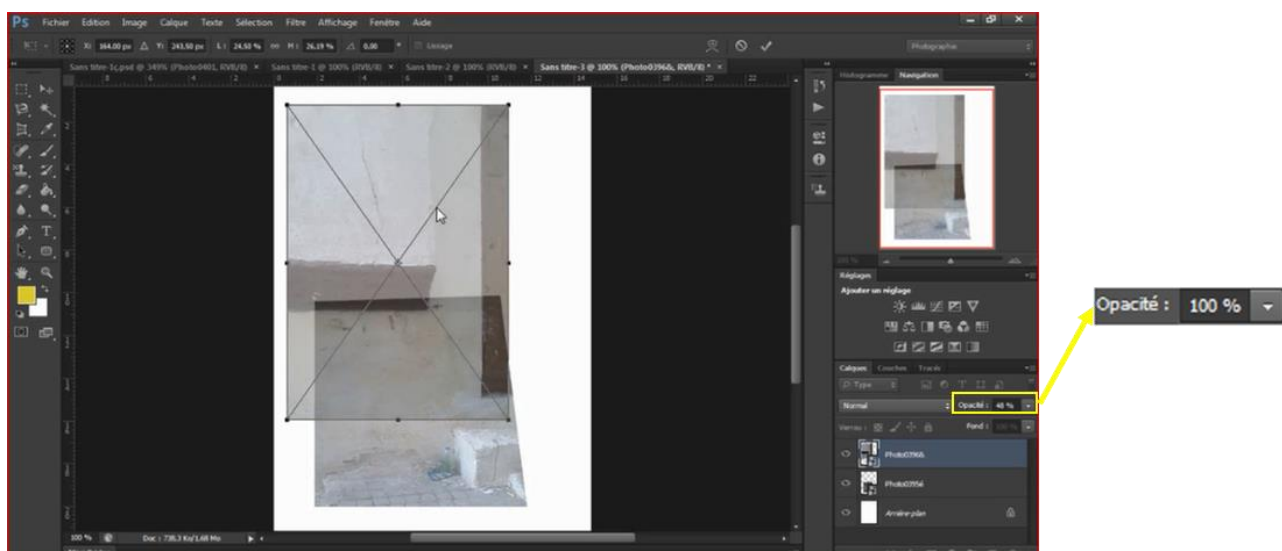


Figure 54 : Alignement de deux photos

***Nous faisons le même principe avec toutes les photos jusqu'à la reconstitution du panorama**
Figure 55

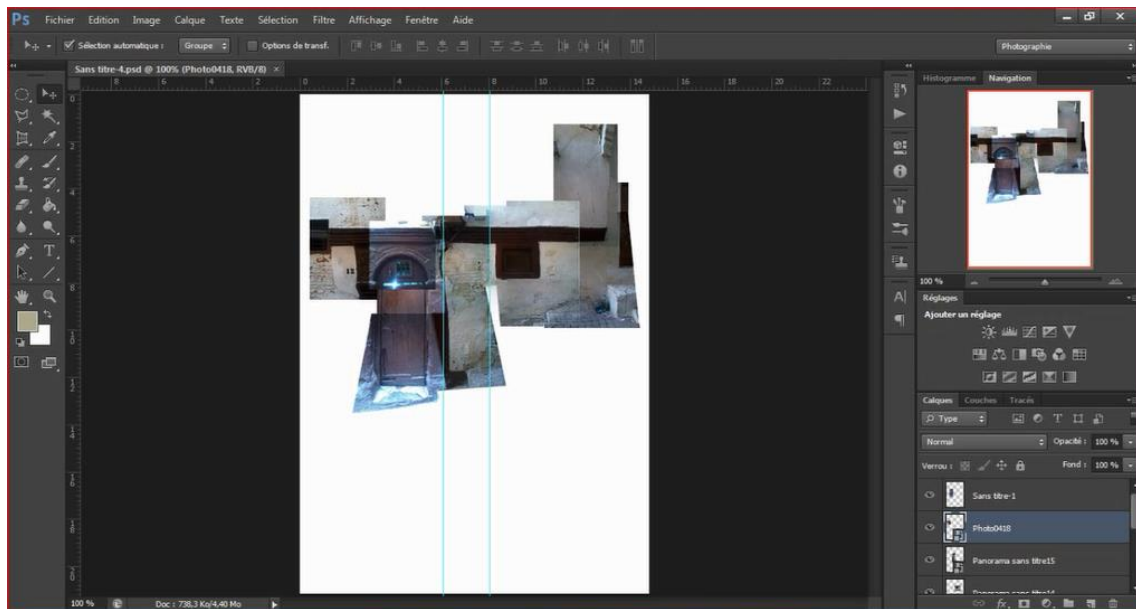


Figure 55 : Panorama Obtenu

1.2.4. Comparaison entre la façade reconstituée par panorama et la façade technique du PPSMVSS

Après la superposition de la façade reconstituée par panorama et la façade relevée disponible dans le PPSMVSS, le résultat n'était pas satisfaisant après avoir remarqué la déformation verticale des photos utilisées. Ce qui faussera les mesures que nous souhaiterons relever.



Figure 56 : Comparaison de la façade reconstituée par panorama et la façade technique du PPSMVSS

1.3.Conclusion

L'étroitesse de la ruelle a fait que le recul présenté pour les prises de photos n'été pas suffisant, d'où la solution de prises de plusieurs séries de photographies horizontales et verticales pour la reconstitution de la façade à travers une mosaïque de photos par l'outil de Photoshop.

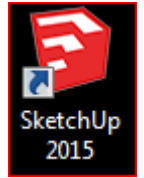
Cette technique a permis de reconstituer la façade dans la partie du rez-de-chaussée vu la grande déformation présentée au niveau des étages supérieurs (toujours à cause du recul non suffisant).

De même, cette restitution a causé une grande déformation au niveau des proportions relatives à chaque photo.

Dans ce cadre nous avons été appelé à utiliser une autre méthode de photomodélisation pour la conservation des proportions, une méthode qui elle puisse restituer toute la façade dans sa globalité.

Nous devons utiliser une photo d'angle, à ce niveau nous pouvons disposer d'une image par étage ou par partie et la photomodélisation va être réalisée par l'outil d'adaptation de photo de Sketch Up.

2. La photomodélisation de la façade du 12, frères Racim par Sketch Up



2.1.1. La prise de vue

Afin de répondre aux exigences de l'outil Match photo de Sketch Up et réussir notre restitution, la photo prise doit être une photo d'angle. En redressant l'appareil photographique de sorte que les lignes verticales restent conservées.

Un maximum de recul est nécessaire pour recouvrir le maximum de la façade.



Figure 57 : La prise de photo de la façade

2.1.2. La prise de mesure

La seconde étape est de prendre une mesure de référence que nous allons utiliser pour le dimensionnement de la façade dessinée à la photomodélisation.



Figure 58 : La prise de mesure

2.1.3. Adaptation de la façade par Match Photo de Sketch Up

Nous allons procéder de la même manière dans les chapitres précédents afin d'adapter la photo de la façade sur Sketch Up.

2.1.4. L'importation de la photo sur Sketch Up

1. Caméra = Adapter une nouvelle photo Figure 59

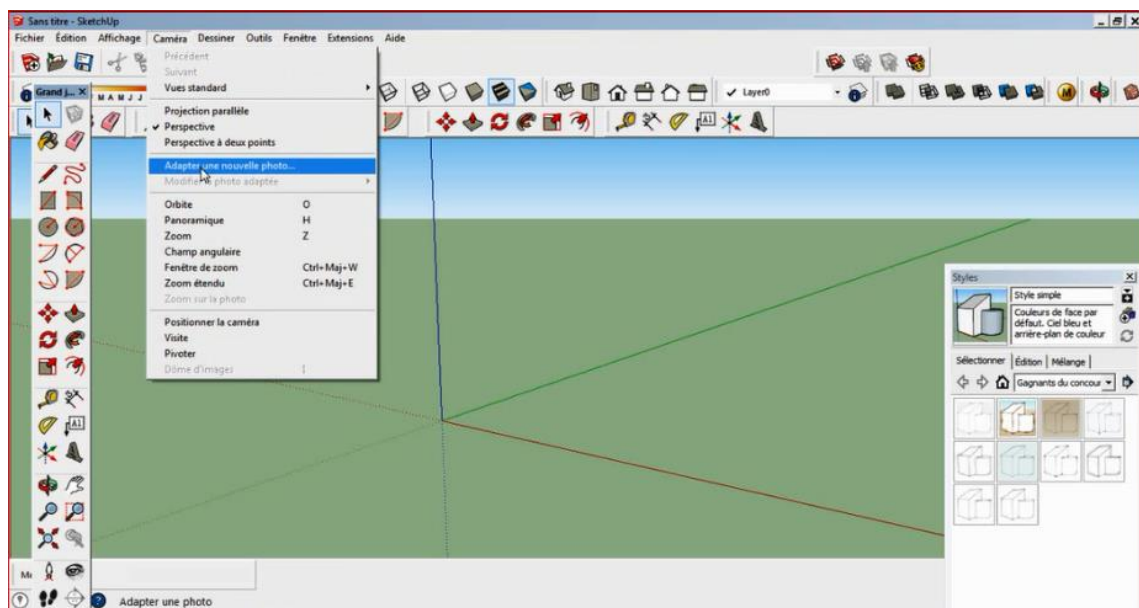


Figure 59 : Importation de la photo

2. Choisir la photo = Ouvrir . Figure 60

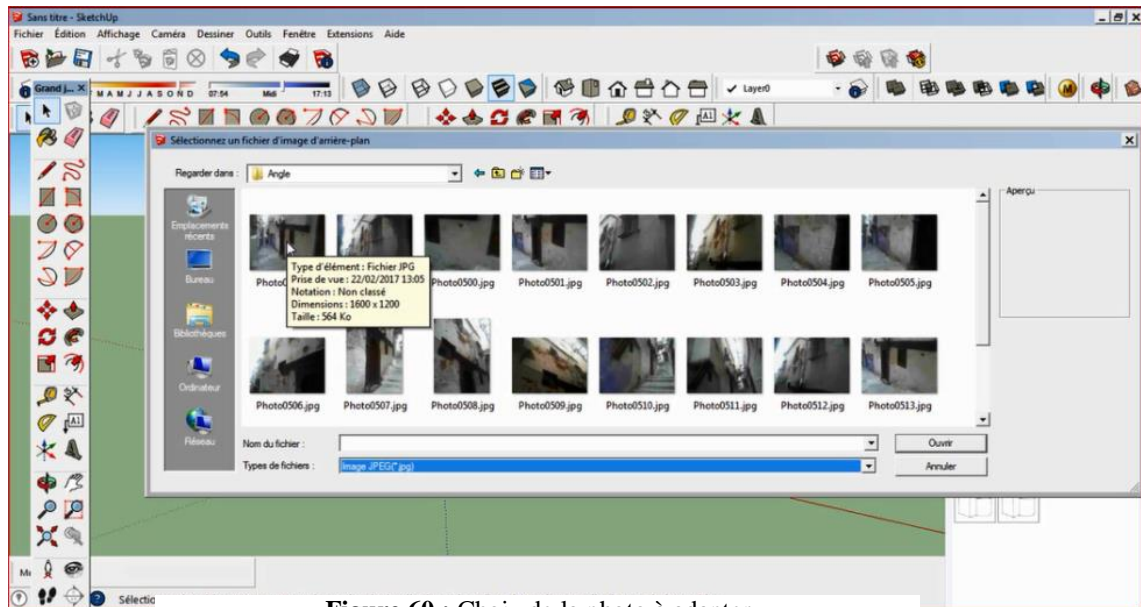


Figure 60 : Choix de la photo à adapter

La photo s'ouvre avec l'apparition d'axes de repères (1) et deux couples de segments rouges (2) et verts (3). Figure 61

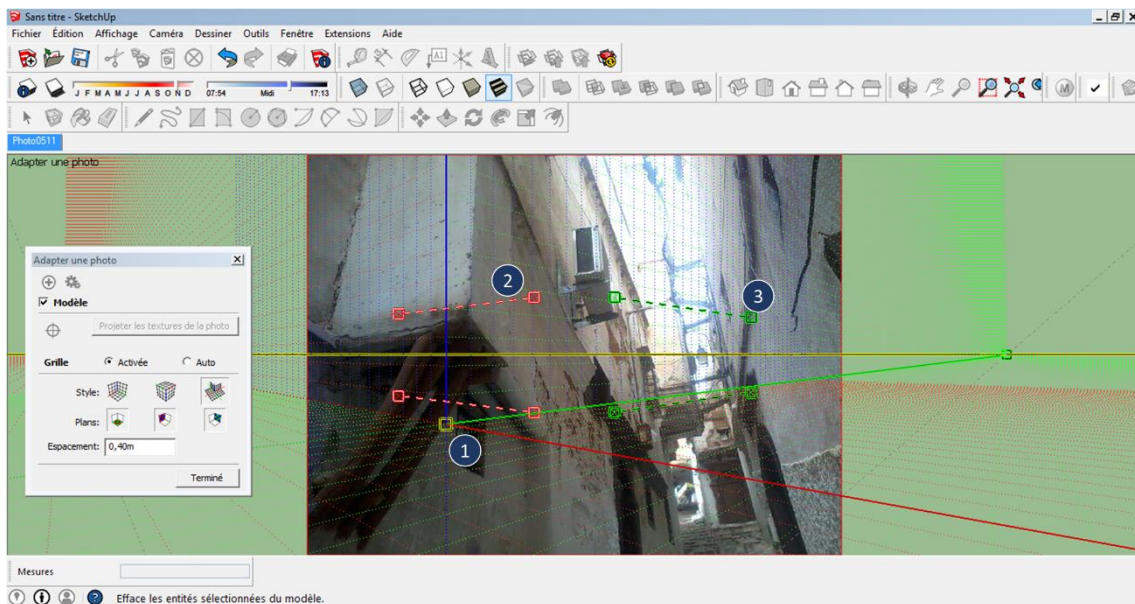


Figure 61 : Interface de Sketch Up fenêtre de l'adaptation d'une nouvelle image

2.1.5. Alignement des axes

Nous aurons à placer notre repère dans l'angle (1) et déterminer par les segments rouges (2) et verts (3) l'axe X et Y (une fois les repères placés, l'axe bleu indiquera (4) l'axe Z) Figure 62

Click sur **Terminer**

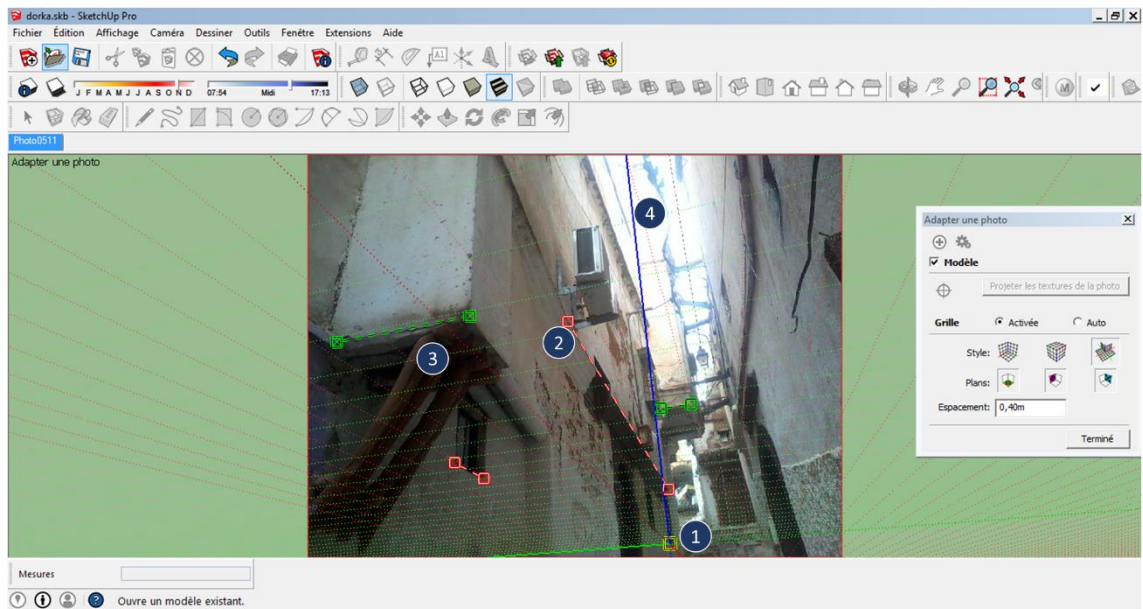



Figure 62 : Alignement des Axes

2.2.Modélisation

2.2.1.Le relevé de la façade

Commencer le dessin avec l'outil LIGNE  dans la barre du dessin pour relever toutes les éléments de la façade. L'utilisation de l'outil ligne est due au caractère rectiligne de la façade à restituer ainsi aux éléments architecturaux qui la constituent.

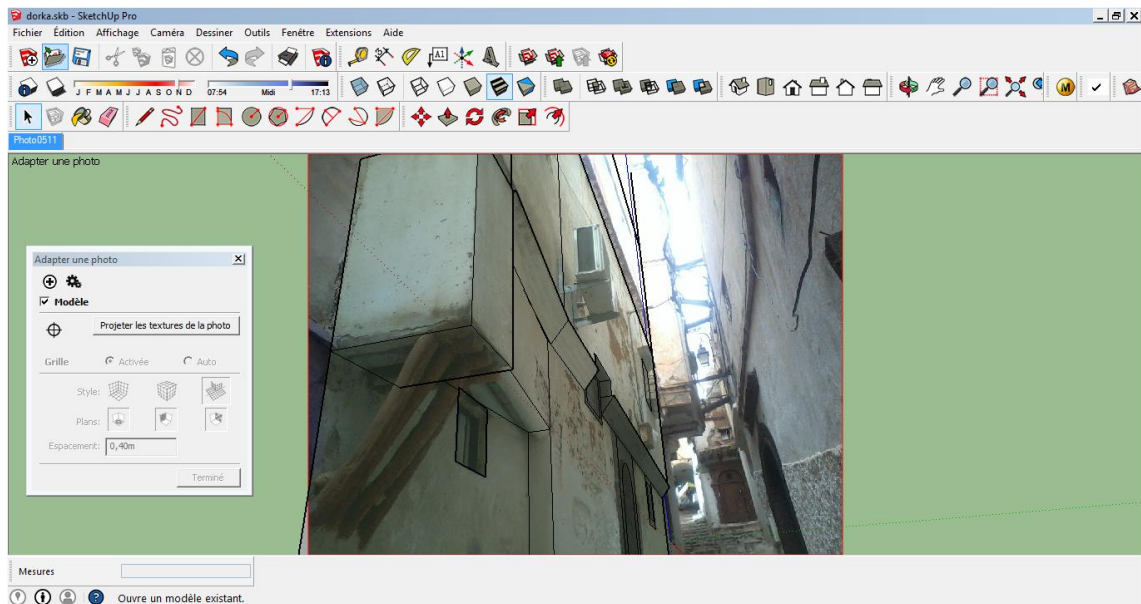



Figure 63 : Modélisation de la façade

2.2.2. Le relevé des pathologies de la façade

Commencer le dessin avec l'outil Main Levée  dans la barre du dessin pour relever toutes les pathologies existantes sur la façade. L'utilisation de l'outil Main Levée est due au caractère curviligne des contours des pathologies manifestants sur la façade.

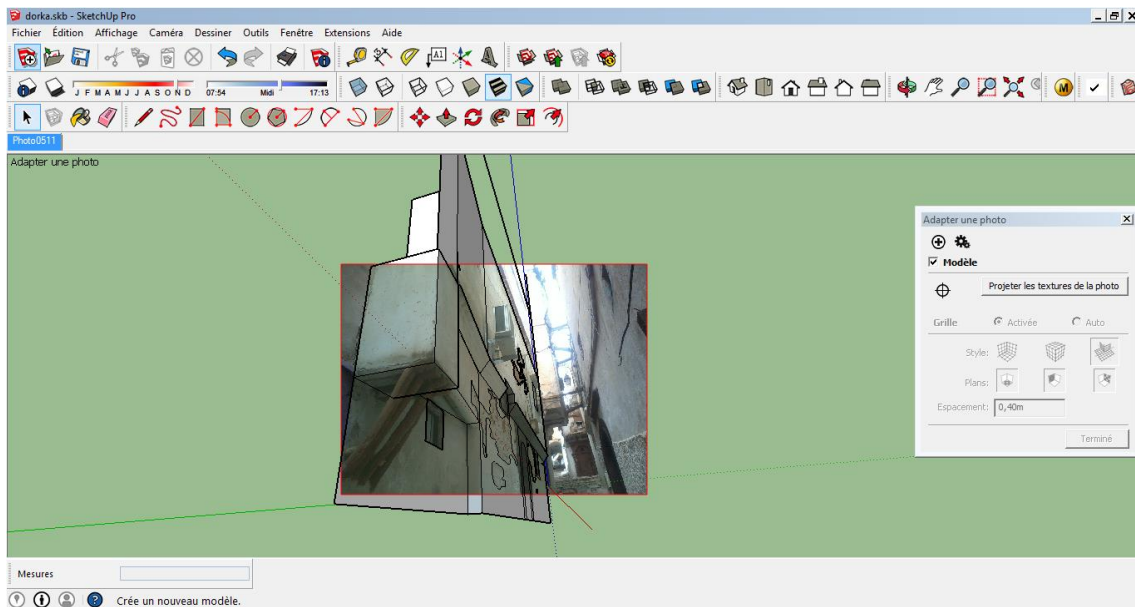


Figure 64 : Modélisation des pathologies

2.2.3. Redimensionnement de la photo



Dans un second lieu, nous aurons à redimensionner la photo avec l'OUTIL METRE selon une dimension de référence que nous avons mesurée sur site : cliquant sur le segment à redimensionner et nous faisons entrer la nouvelle dimension.

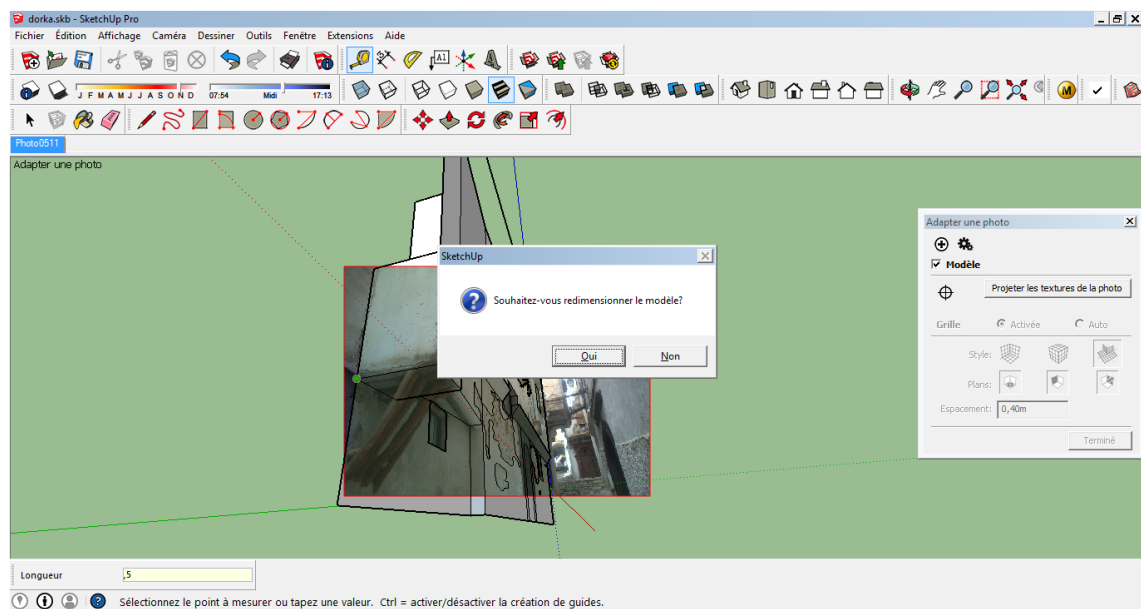


Figure 65 : Redimensionnement de la photo

Cliquant sur OUI Figure 65

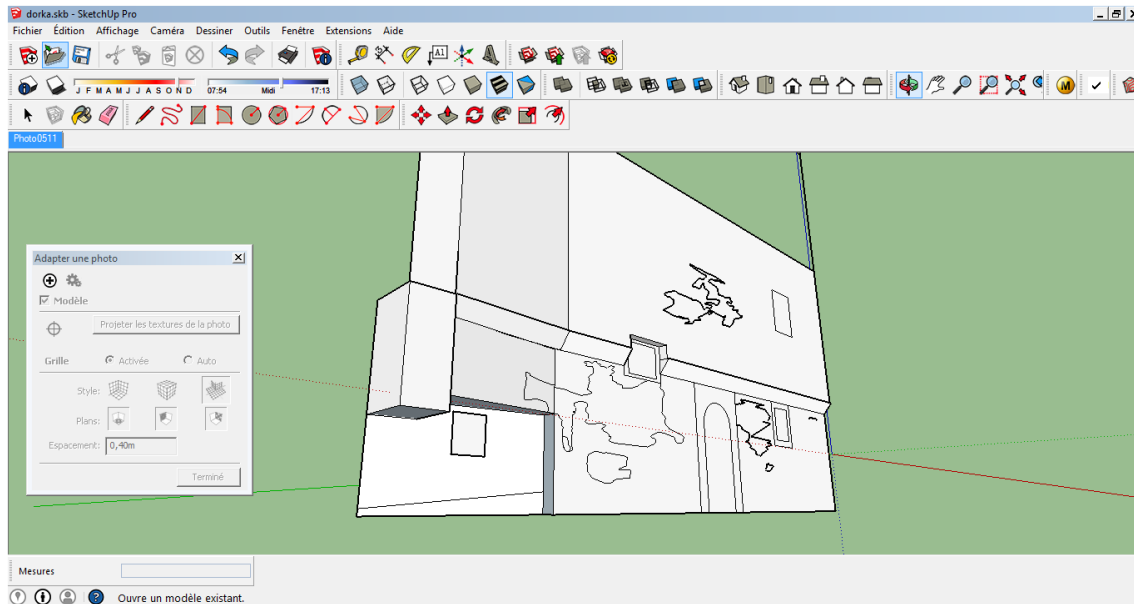


Figure 66 : Résultat de l'adaptation de la photo 1 et reconstitution de la façade avec ses pathologies

Le résultat de la restitution de la première photo a permis de relever le niveau rez-de-chaussée et une partie du niveau 1. **Figure 66**

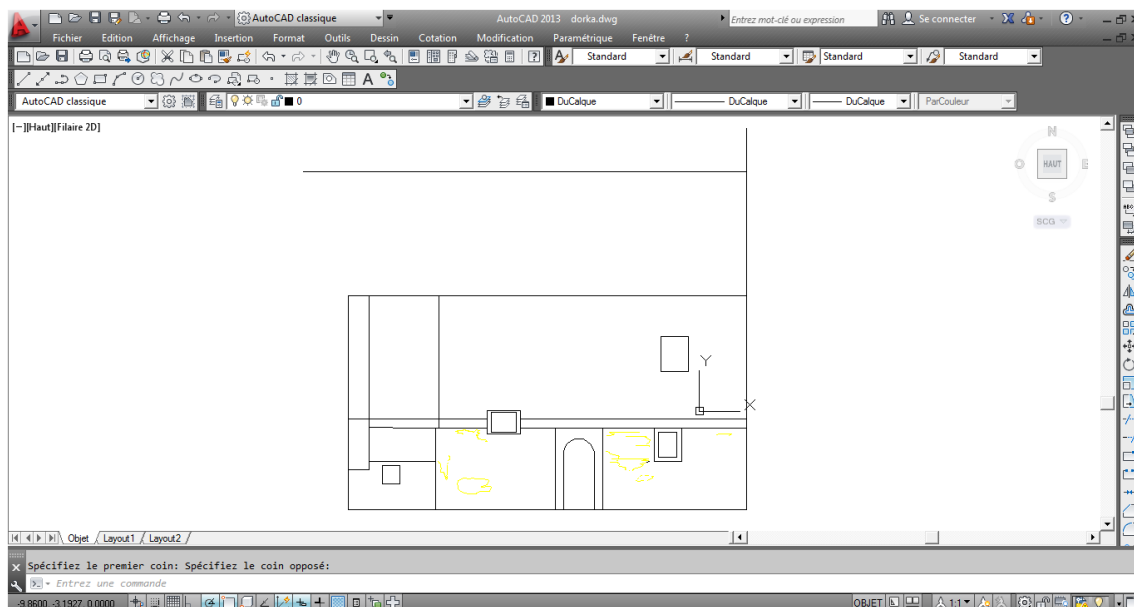


Figure 67 : Relevé de la façade 1

Les mesures situées dans la perspective de la photo figurent légèrement déformées **Figure 67**

*Nous répétons les mêmes étapes pour adapter un maximum de photos afin de recouvrir toute la façade de notre cas d'étude. En complétant les parties manquantes de la façade par l'adaptation de d'autres photos.

Nous avons pu reconstituer les deux premiers niveaux à partir de cinq différentes photos :

2.3.La restitution des photos

2.3.1.Deuxième photo

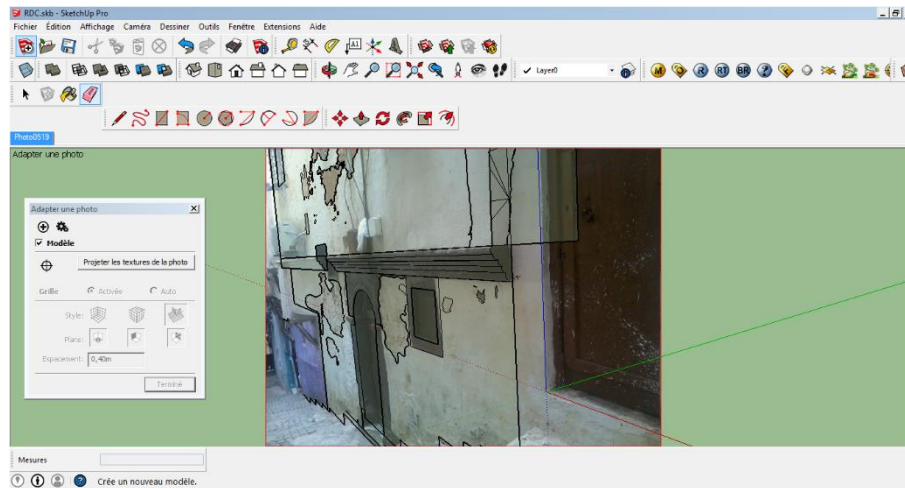


Figure 68 : Adaptation de la photo 2 et reconstitution de la façade avec ses pathologies

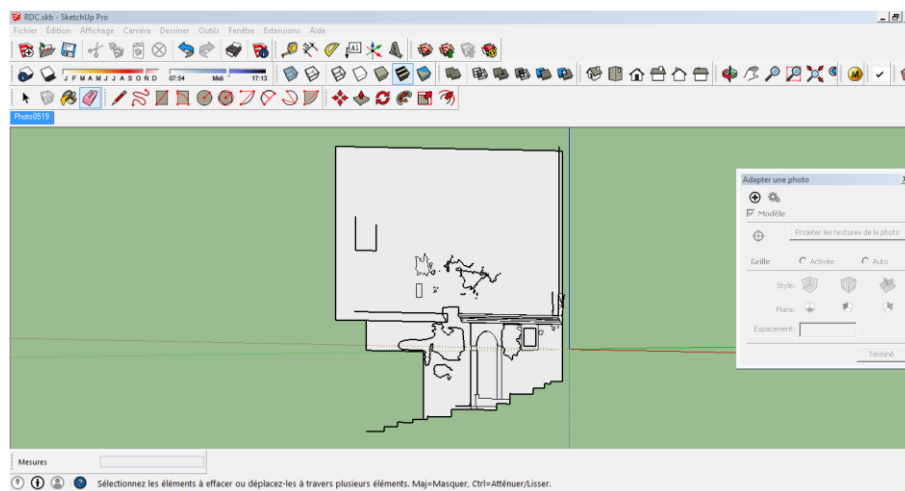


Figure 69 : Résultat du relevé de la façade 2

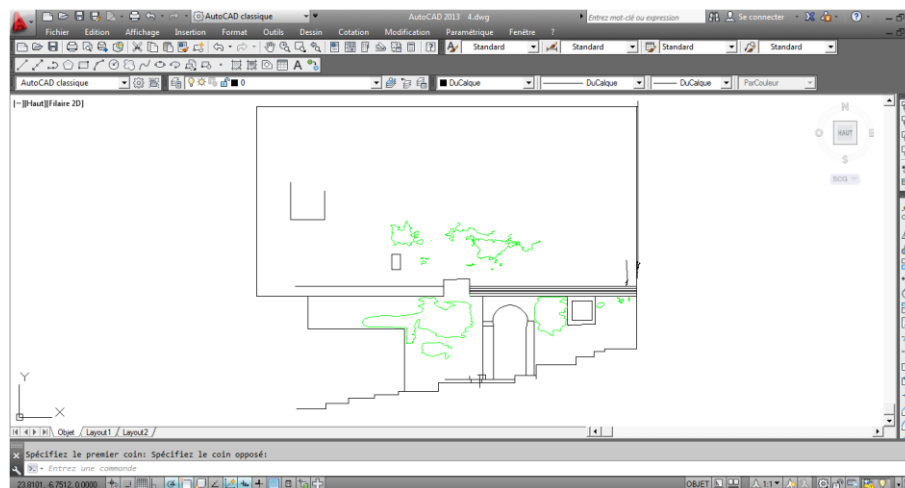


Figure 70 : Relevé de la façade 2

Le résultat de la restitution à permis de relevé une partie du rez-de-chaussée et une partie du 1^{er} niveau

2.3.2. Troisième photo

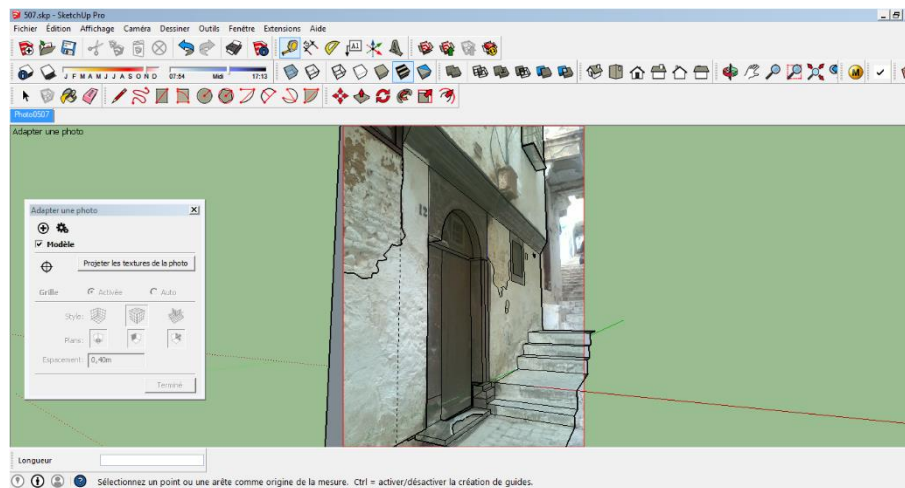


Figure 71 : Adaptation de la photo 3 et reconstitution de la façade avec ses pathologies

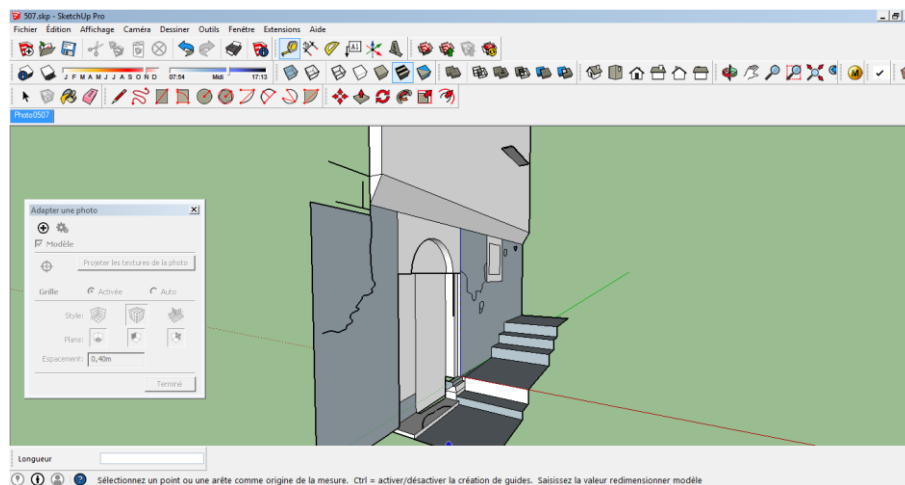


Figure 72 : Résultat du relevé de la façade 3

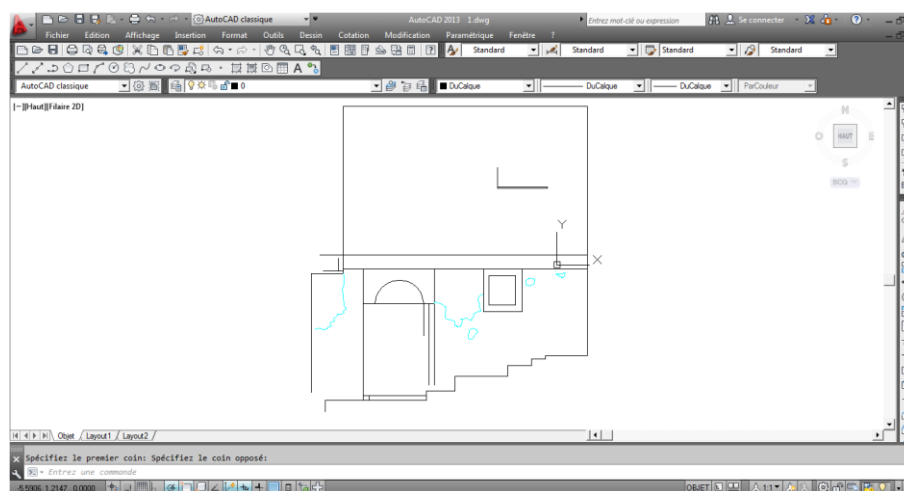


Figure 73 : Relevé de la façade 3

Malgré que la restitution a permis de relever la porte de la maison et la fenêtre mais la restitution ne relève pas suffisamment de pathologies.

2.3.3. Quatrième photo

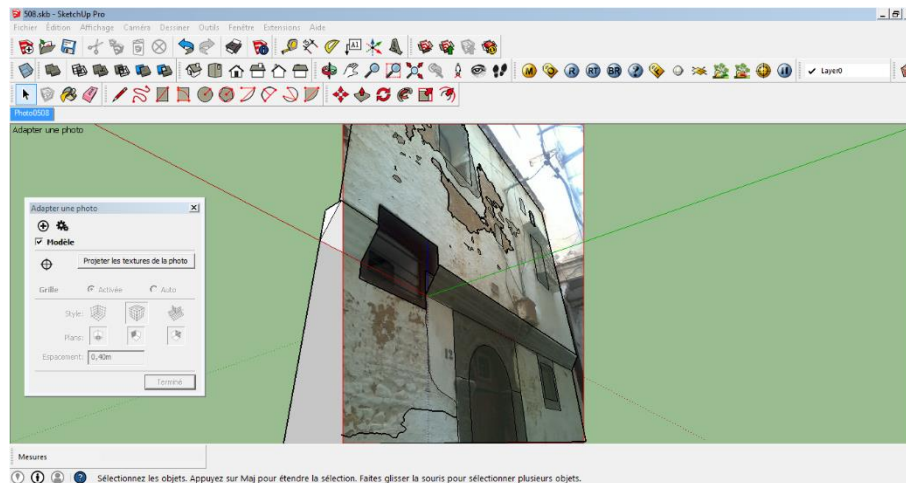


Figure 74 : Adaptation de la photo 4 et reconstitution de la façade avec ses pathologies

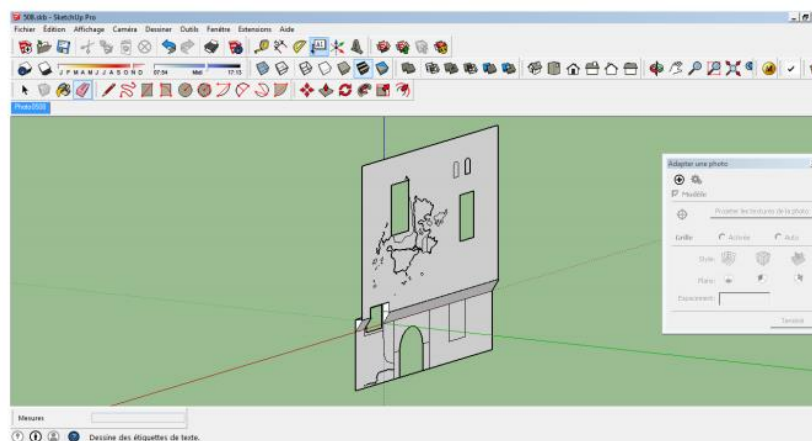


Figure 75 : Résultat du relevé de la façade 4

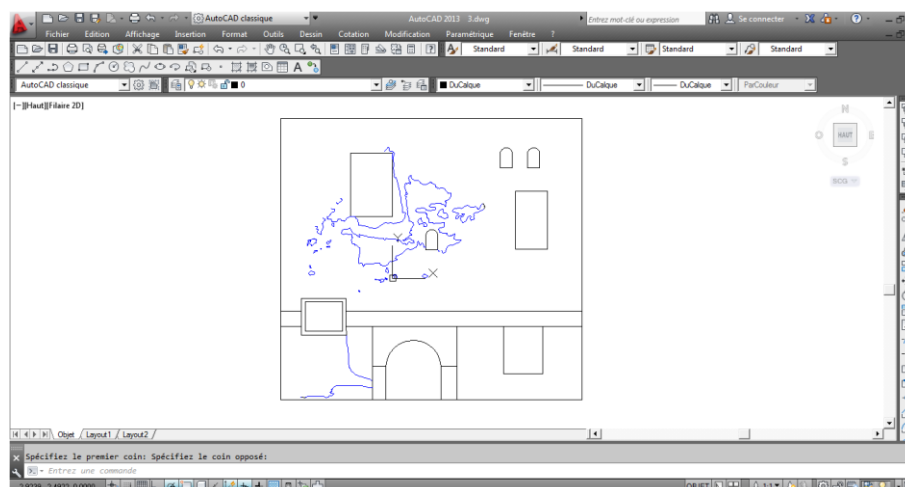


Figure 76 : Relevé des pathologies de la façade 4

Nous avons restitué la façade 4 à partir de la photo de base, en relevant les pathologies apparentes dans la photo.

2.3.4. Cinquième photo

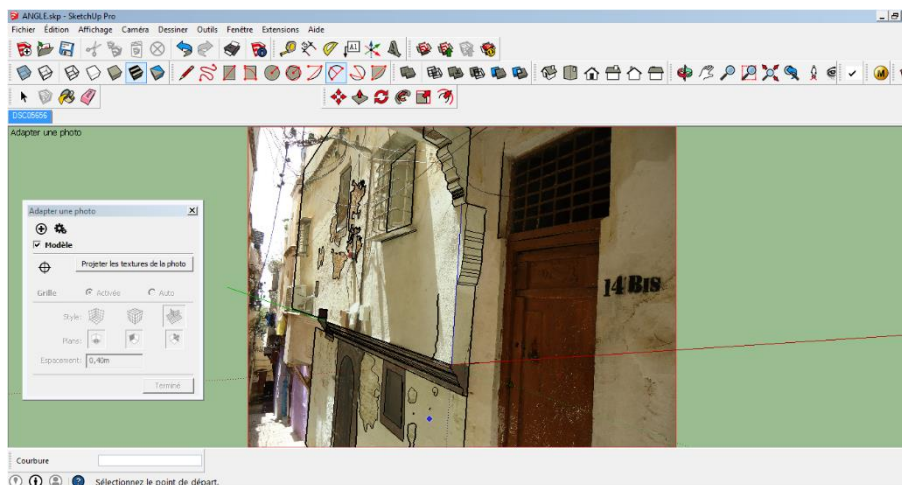


Figure 77 : Adaptation de la photo 3 et reconstitution de la façade avec ses pathologies

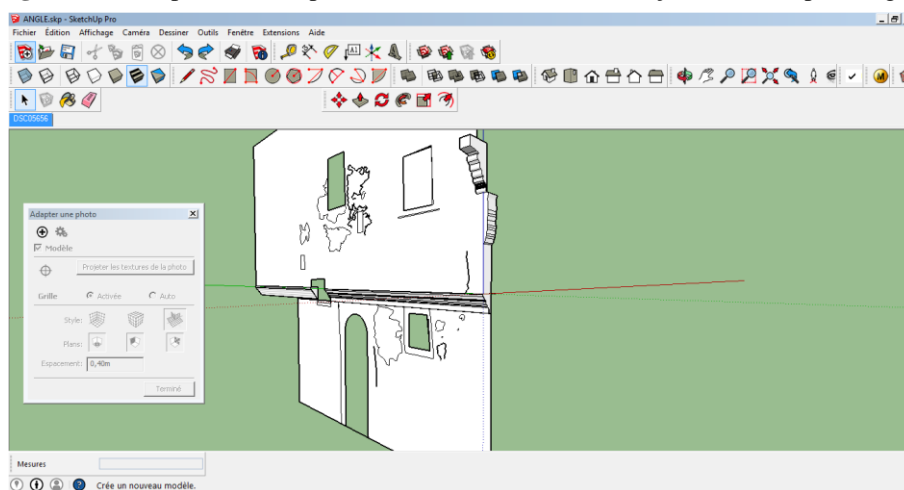


Figure 78 : Résultat du relevé de la façade 5

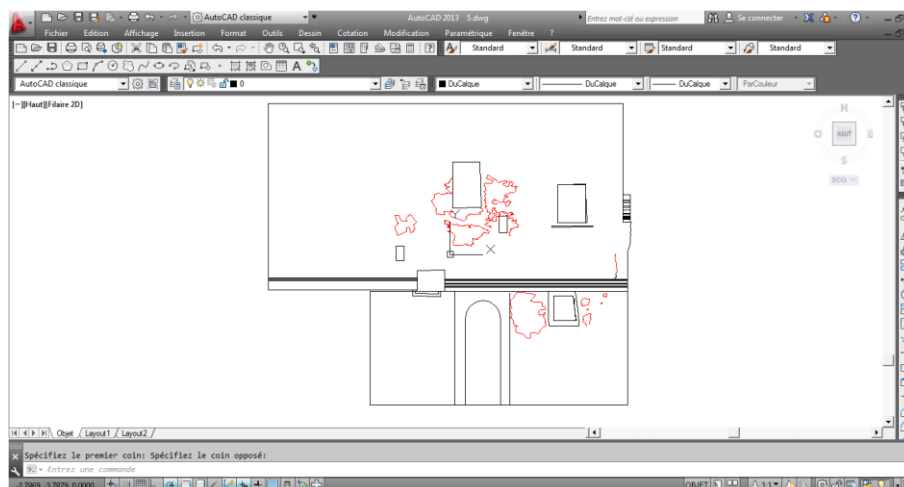


Figure 79 : Relevé de la façade 5

Le relevé de la façade a permis de restituer et les éléments de la façade et ses pathologies.

2.4.Chargement sur Autocad

Afin de rassembler ces cinq restitutions de partie de la façade, chaque modèle va être importé sur le logiciel Autocad pour arriver à les superposer et reconstituer la façade dans sa totalité.

2.5.Assemblage des différentes parties du relevé

Les restitutions de façades effectuées sur les cinq photos choisies, et après leurs assemblages le résultat fourni est présenté dans la figure .assez complète sur le relevé de la façade de notre étude. Les pathologies de fissuration sont représentées par la couleur bleue ainsi que les désordres du revêtement sont représentés en rouge.

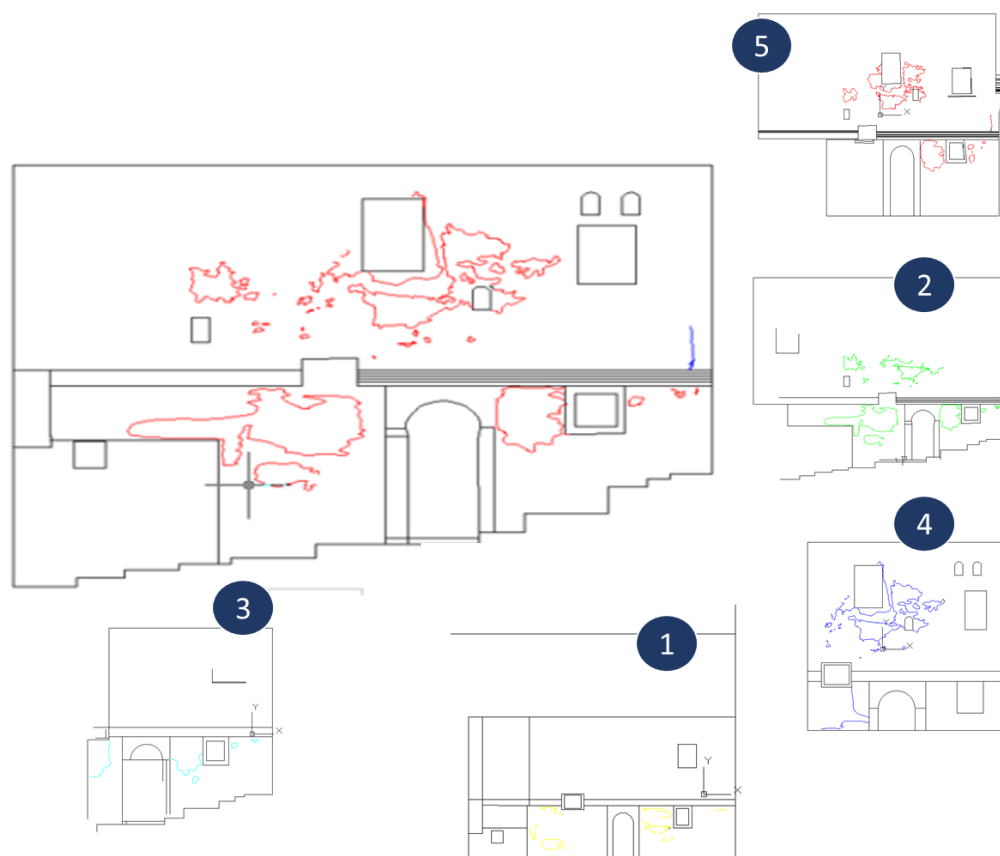


Figure 80 : Assemblage des différentes parties du relevé

2.6. Comparaison du relevé réalisé par la restitution de la façade à travers l'outil de photomodélisation réalisé avec le relevé du PPSMVSS

Afin d'en tirer nos conclusions, une comparaison doit être effectuée entre les différents relevés fournis de la façade du **12 frères Racim** avec les pathologies existantes sur cette dernière. La comparaison se fera entre le résultat obtenu par relevé métrique et fourni par le PPSMVSS et le résultat obtenu à l'aide de l'outil de photomodélisation à travers le logiciel Sketch Up et l'option d'adaptation des photos.

Figure 82 : Photo de la façade du cas d'étude montrant les pathologies existantes

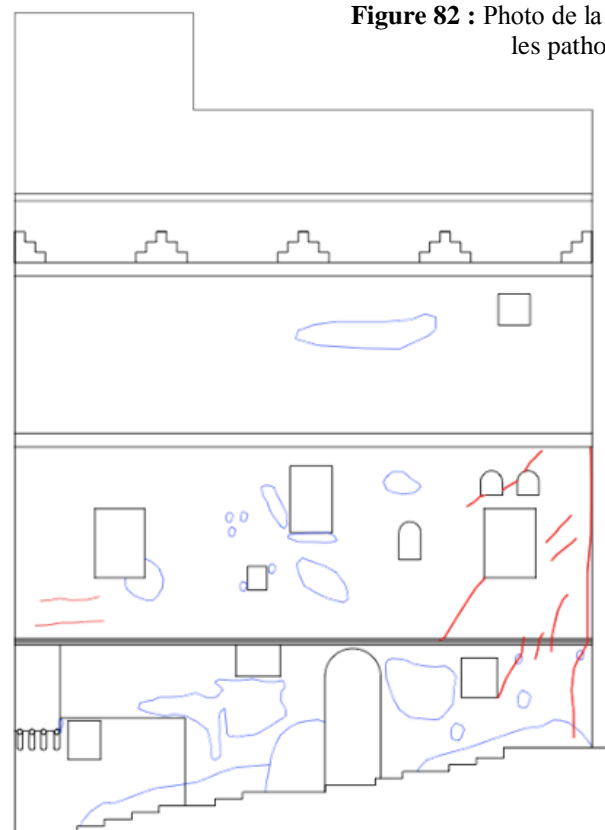


Figure 81 : Photo de la façade du cas d'étude restituée par photomodélisation



Après notre restitution de la façade et de ses pathologies à travers plusieurs photos de partie de façade, nous avons pu récolter des informations sur les mesures de la partie rez-de-chaussée et 1^{er} étage, sauf les mesures du rez-de-chaussée sont comparées, vu que la partie du 1^{er} étage n'est pas accessible par rapport à notre taille humaine

Contrairement le reste des niveaux, les photos prises n'ont pas permis la restitution de la façade dans ces niveaux vu le faible recul de 1,5m qui à empêcher d'avoir des photos lisibles au niveau supérieur de la façade. Le contour de la façade, les éléments architecturaux ainsi les pathologies qui l'affectent n'apparaissent pas dans les photos que nous avons prises

Après avoir rassemblé les deux relevés à savoir le relevé métrique et le relevé par photomodélisation, nous avons superposé les deux résultats **Figure 83** et nous allons dresser un tableau afin de comparer les mesures résultantes par les deux relevés. Nous déduirons par la fin le pourcentage d'erreur engendré par notre modélisation du cas d'étude à travers le logiciel Sketch Up.

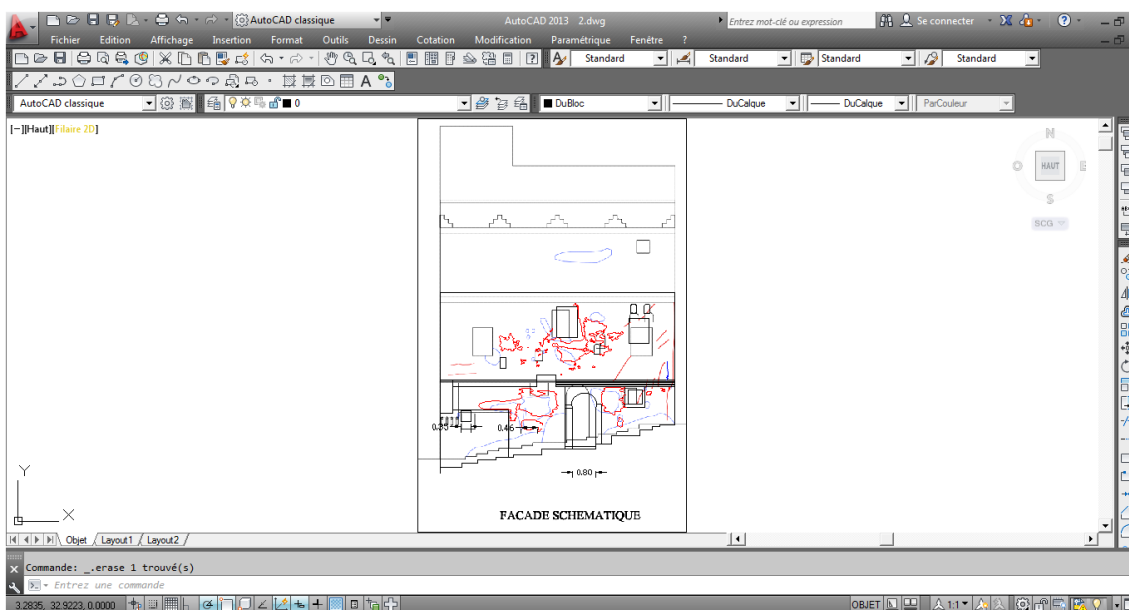


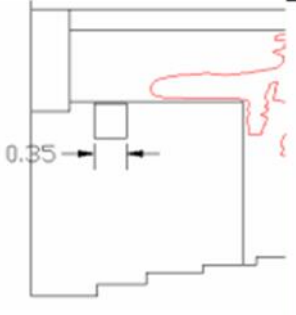


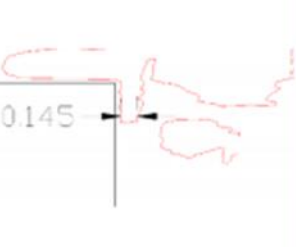


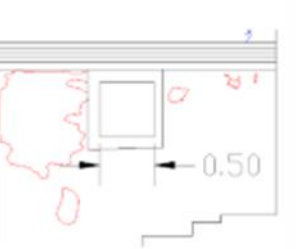





Figure 83 : Superposition du relevé métrique avec le relevé restitué par photomodélisation

2.7. Tableau Comparatif des pathologies relevées

Façade	Mesure prise sur site	Mesure prise après restitution	Pourcentage d'erreur
	<p>40 cm</p>		<p>2.5 %</p>

	<p>36 cm</p> 		<p>2.77 %</p>
	 <p>15 cm</p>		<p>3.33 %</p>
	 <p>50 cm</p>		<p>0 %</p>
	 <p>83 cm</p>		<p>3.6 %</p>



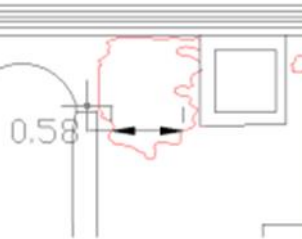


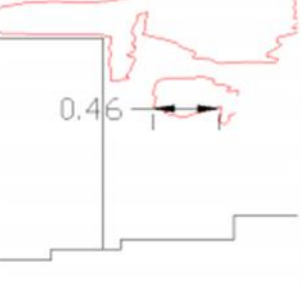


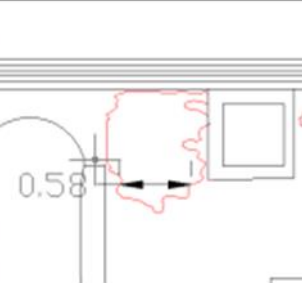


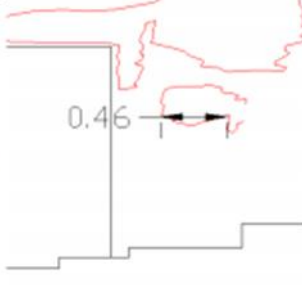
	 <p>60 cm</p>	 <p>0.58</p>	<p>3.33 %</p>
	 <p>44 cm</p>	 <p>0.46</p>	<p>4.5 %</p>
	 <p>60 cm</p>	 <p>0.58</p>	<p>3.33 %</p>
	 <p>44 cm</p>	 <p>0.46</p>	<p>4.5 %</p>

Tableau 6 : Tableau Comparatif des pathologies relevées

3. Recommandations

Sous-estimer l'importance de l'étape de prise de photos est certainement une erreur, une collection incomplète exclut la possibilité d'avancer dans les phases ultérieures de restitution de façades, tandis que la qualité de l'image peut garantir vers le résultat final, la fiabilité maximale du relevé.

La présence d'ombres sur le bâtiment peut constituer un obstacle pour un relevé exact et précis, de même la prise des photos dans une journée non ensoleillée ou pluviale, peut causer les mêmes problèmes, vu que ces énoncés figurant sur la façade du bâtiment. Indépendamment de cela, il est préférable, si possible, de compléter en une seule journée l'ensemble des clichés photographiques, afin d'éviter ou de minimiser les différences inévitables entre des parties de Photos utilisées.

Les maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger présentent plusieurs irrégularités au niveau des agencements des murs, il est connu que les règles de symétrie et d'orthogonalité ne sont pas appliquées, d'où la difficulté d'appliquer l'outil de photomodélisation. Cette difficulté nous a conduit à s'appuyer sur de la documentation déjà existante. Et nous avons utilisé les plans fournis de la maison pour le calcul des angles. Nous devons tout de même, s'adapter à l'outil afin de répondre à nos besoins et chercher des solutions relatives aux obstacles rencontrés.

Le moment des prises de photos il faut réfléchir à l'outil avec lequel nous voulons développer notre modélisation, une étape qui va nous aider à choisir judicieusement la manière de ces prises de photos, vu que chaque logiciel possède ses propres exigences et protocole.

Ces informations complémentaires pourront ensuite être exploitées à la fois pour introduire une unité de mesure à la scène photomodélisée, pour imposer des contraintes en phase de calibration des caméras ainsi que pour en vérifier les résultats

Ceci impose la prise en compte de préoccupations d'ordre méthodologique en phase de prise de vue. Par rapport aux méthodes de relevé topographique classique, cela augmente de façon considérable le nombre d'informations spatiales enregistrables sur le terrain. Il s'agit d'informations extrêmement importantes pour la documentation de l'état actuel d'un édifice notamment en ce qui concerne l'analyse des matériaux et leur conservation. En ce qui concerne la phase de reconstitution 3D, une limite importante de la photomodélisation concerne la difficulté à reproduire les formes qui ne présentent pas des discontinuités évidentes, par exemple les sculptures et les bas-reliefs. Malgré ses limites, le progrès continu dans la production d'appareils photographiques numériques, permet aujourd'hui de considérer la photomodélisation comme une solution économique et efficace pour plusieurs applications qui concernent l'analyse et la documentation graphique tridimensionnelle d'édifices.

4. Conclusion Générale

L'application de l'outil photomodélisation nous a permis d'examiner plusieurs logiciels et définir les contraintes liées à chacun.

Le logiciel Sketch Up permet de reproduire le relevé quel que soit sa complexité. Par contre, cette reproduction est basée sur un effort fourni par l'œil humain, si l'image n'est pas visible cela impacte sur la qualité du relevé et une marge d'erreur est estimée.

La photomodélisation est un outil d'aide au relevé des pathologies quoique, même cet outil a ses propres limites. Dans le contexte de la Casbah d'Alger, l'étroitesse des ruelles nous a causé un véritable problème pour l'obtention des photographies nécessaires à la restitution de la façade.

Les relevés faits dans le cadre du PPSMVSS, nous ont beaucoup servis à guider notre processus de photomodélisation, en s'appuyant sur un support fiable déjà existant.

L'outil de photomodélisation a fait preuve d'un relevé de pathologies fourni à base de simples moyens demandés. N'importe qu'elle appareil photo peut servir pour l'étape de prise de photos même si nous sommes conscient que l'utilisation d'Reflex donnerait des résultats plus précis.

Concernant notre travail pour l'élaboration qui a consisté à faire le relevé des pathologies à travers l'outil de photomodélisation, les résultats ont été beaucoup plus proches de la réalité. Ce qui nous amène à dire que la photomodélisation peut constituer un outil d'aide au relevé des pathologies du patrimoine.

Un outil parmi les plus efficaces et rapides pour les besoins de secours et le retour du patrimoine architectural, malgré que le potentiel de tels logiciels est encore sous-évalué.

L'outil de photomodélisation exige un recul assez suffisant pour que la façade apparaisse entièrement et sans présente d'obstacle entre le récepteur et l'émetteur l'heure de la prise des photos et avec un niveau de luminosité rigoureux qui permet une vision claire, sans relief ou ombrage.

La sauvegarde numérique s'installe d'abord en tant que solution préventive pour atténuer les menaces comme pour compléter les soutiens d'un patrimoine en devenir. Et de Faire passer de la dégradation à un état le plus proche possible de l'original

Afin de remplir le vide ou le manque des relevés engendrer par l'outil de photomodélisation, d'autres outils peuvent prendre place tel que le lasergrammétrie. Un processus de combinaison d'outils peut de faire pour rattraper les limites de chaque'un.

En effet, l'information contenue dans les photos peut être extraite à différents niveaux de détail par rapport aux finalités de la restitution et à la complexité de l'objet à reconstruire. Certes, il est toujours important de prendre en considération la possibilité d'associer à la prise de vue photographique le relevé (même manuel) de certaines coordonnées et/ou distances de référence.

Malgré si le lasergrammétrie semble être plus exacte à travers les exemples que nous avons consultés dans le premier chapitre, il a ses propres limites, par rapport au surcout du matériel utilisés et le dégagement dans l'environnement du bâtiment qui est demandé.

La photographie est un document d'une grande fiabilité dans le temps et facilement disponible à tout moment pour des mesures complémentaires.

5. Perspectives

Au cours de cette recherche, nous avons essayé de me mettre en relation avec cette expérience des critiques constructives en essayant de tester les points forts ainsi que les faiblesses ou les limites des logiciels par rapport à notre contexte de la Casbah. Ces évaluations peuvent être utiles afin d'améliorer les modifications aux versions ultérieures.

Nous voyons que cette expérience peut nous servir dans notre vie professionnelle, un jour si on est confronté aux projets de la restauration de la Casbah, même dans un autre contexte qui nécessite un relevé par restitution 3D.

Nous espérons pouvoir poursuivre notre recherche après l'obtention du diplôme master, et d'enrichir notre champ d'expérimentation en testant d'autres logiciels ou outil de restitution 3D.

6. Liste des figures

Figure 1 : Le cloître avec son vivier au premier plan	17
Figure 2 : Nuages de points produits lors de la campagne de relevé à l'aide d'un laser 3D	17
Figure 3 : Restitution numérique 3D de l'état actuel	17
Figure 4 : la maison des esclaves à Gorée.....	18
Figure 5 : Document photogrammétrique fournis.....	18
Figure 6 : Ruines du transept sud de l'abbatiale de Villers.....	19
Figure 7 : 3D - d'hypothèses de restitution des galeries du cloître à l'empreinte numérique photogrammétrique de l'objet.....	19
Figure 8 : Une planche d'analyse sémantique sur base d'une acquisition de données par photomodélisation.	20
Figure 9 : Une empreinte numérique photogrammétrique par nuage de points, générée suivant le protocole d'acquisition.....	20
Figure 10 : La prise de la maison en photo	21
Figure 11 : calibration des photos par Image Modeler	21
Figure 12 : Restitution de la maison	21
Figure 13 : Le château de Chambord	22
Figure 14 : Modèle 3D de la tour réalisé par photomodélisation.....	22
Figure 15 : Combinaison de la lasergrammétrie et la photomodélisation.....	22
Figure 16 : Photo sur la Façade principale du Lycée Emir	23
Figure 17 : Panoramique de la façade principale du lycée Emir.....	23
Figure 18 : Dessin de la façade principale du Bloc E : essai de restitution avec la logique de la façade.	23
Figure 19 : La Phase de modélisation avec Image Modeler	26
Figure 20 : La photomodélisation par Image Modeler (Auteur).....	27
Figure 21 : Importation des photos sur 123D Catch	28
Figure 22 : Résultat de la photomodélisation.....	28
Figure 23 : La vue sur la fenêtre de Match Photo	29
Figure 24 : Alignement des axes.....	30
Figure 25 : Reconstitution de la façade.....	30
Figure 26 : Photos panoramiques prises par appareil photo (Auteur).....	31
Figure 27 : Configuration de l'assemblage du Panorama avec Photomerge	32
Figure 28 : Photos rassemblées pour la création d'un panorama vertical.....	32
Figure 29 : Panorama crée par Photomerge	33
Figure 30 : La sélection des Photos.....	34
Figure 31 : Assemblage des Photos.....	34
Figure 32 : Assemblage de Photographies par Stitcher (source auteur)	34
Figure 33 : Limites du secteur sauvegarde de la Casbah d'Alger. (PPSMVSS).....	37
Figure 34 : La Situation de la maison par rapport au tissu de la Casbah d'Alger (PPSMVSS)	49
Figure 35 : La Position de la maison par rapport aux voies d'accès (PPSMVSS).....	49
Figure 36 : La façade prise en photo (Auteur)	49
Figure 37 : Etalement de la façade.....	50
Figure 38 : La Prise de mesure Référentielle	50
Figure 39 : L'interface de Photoshop.....	51
Figure 40 : Désignation des lignes de repères sur Photoshop.....	51
Figure 41 : Redressement de l'image sur Photoshop	52
Figure 42 : Relevé de la façade et de ses éléments architecturaux	53
Figure 43 : Relevé des pathologies de la façade	53
Figure 44 : Reconstitution de la façade 2D depuis la modélisation 3D	54
Figure 45 : Prise de mesure et vérification.....	54
Figure 46 : Résultat de la restitution de la façade après une période d'un an.....	56

Figure 47 : Superposition de la première et la deuxième restitution de la façade	57
Figure 48 : Situation du cas d'étude par rapport au boulevard de la Victoire	60
Figure 49 : Plan du RDC	60
Figure 50 : Photo de la Façade du cas d'étude (Auteur)	61
Figure 51 : Relevé de la Façade du cas d'étude	61
Figure 52 : Une série de photos regroupant la façade du cas d'étude	62
Figure 53 : Redressement d'image	62
Figure 54 : Alignement de deux photos	63
Figure 55 : Panorama Obtenu	64
Figure 56 : Comparaison de la façade reconstituée par panorama et la façade technique du PPSMVSS	64
Figure 57 : La prise de photo de la façade	66
Figure 58 : La prise de mesure	67
Figure 59 : Importation de la photo	67
Figure 60 : Choix de la photo à adapter	68
Figure 61 : Interface de Sketch Up fenêtre de l'adaptation d'une nouvelle image	68
Figure 62 : Alignement des Axes	69
Figure 63 : Modélisation de la façade	69
Figure 64 : Modélisation des pathologies	70
Figure 65 : Redimensionnement de la photo	70
Figure 66 : Résultat de l'adaptation de la photo 1 et reconstitution de la façade avec ses pathologies	71
Figure 67 : Relevé de la façade 1	71
Figure 68 : Adaptation de la photo 2 et reconstitution de la façade avec ses pathologies	72
Figure 69 : Résultat du relevé de la façade 2	72
Figure 70 : Relevé de la façade 2	72
Figure 71 : Adaptation de la photo 3 et reconstitution de la façade avec ses pathologies	73
Figure 72 : Résultat du relevé de la façade 3	73
Figure 73 : Relevé de la façade 3	73
Figure 74 : Adaptation de la photo 4 et reconstitution de la façade avec ses pathologies	74
Figure 75 : Résultat du relevé de la façade 4	74
Figure 76 : Relevé des pathologies de la façade 4	74
Figure 77 : Adaptation de la photo 3 et reconstitution de la façade avec ses pathologies	75
Figure 78 : Résultat du relevé de la façade 5	75
Figure 79 : Relevé de la façade 5	75
Figure 80 : Assemblage des différentes parties du relevé	76
Figure 81 : Photo de la façade du cas d'étude	77
Figure 82 : Photo de la façade du cas d'étude montrant les pathologies existantes	77
Figure 83 : Superposition du relevé métrique avec le relevé restitué par photomodélisation	78

7. Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification générale des pathologies liées au bâtiment	40
Tableau 2 : Illustration des différentes pathologies existantes à la Casbah d'Alger	43
Tableau 3 : Tableau des types de fissures et leurs causes	48
Tableau 4 : Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation	55
Tableau 5 : Comparaison des mesures entre relevé métrique et relevé par photomodélisation	58
Tableau 6 : Tableau Comparatif des pathologies relevées	80

8. Références Bibliographiques

Site Web

- www.map.archi.fr
- <http://www.eyrolles.com/>
- <http://www.icomos.org/>
- www.qualiteconstruction.com
- www.groupe-sma.fr
- <http://www.map.archi.fr.php>
- <http://www.whc.unesco.org/fr/>
- <http://www.alice.fr>
- <http://www.Exp-VanDongen.html>
- <http://www.autodesk.fr>
- http://www.3dvh.com/modules/publish/_1374_1.html
- <http://www.123DCatch-Modélisation3Dàpartirdephotos-VillageBIM.html>
- [http://www.memoireonline.com/07/12/6023/m_Rehabilitation-des-ouvrages-en-beton-
arme4.html](http://www.memoireonline.com/07/12/6023/m_Rehabilitation-des-ouvrages-en-beton-
arme4.html)
- <http://www.etcb-midi.fr/>
- <http://www.lamy-expertise.fr/>
- <http://www.groupe-sma.fr/>
- [https://www.guide-photo-panoramique.com/logiciels-panoramiques-assemblage-
panorama.html](https://www.guide-photo-panoramique.com/logiciels-panoramiques-assemblage-
panorama.html)
- http://www.Commentfaireunephotopanoramique_.html
- http://www.TutorielPTGui_Assemblerunpanorama.html
- https://microapp.com/logiciel_photo_stitcher_11590.html
- <http://www.techniques-ingenieur.fr/>
- <http://soutien67.free.fr/>
- <https://www.weber.fr/>
- <https://www.batirama.com/>
- <http://www.concretecorrosion.net/>
- <http://www.lebouedec-couverture.fr/>
- <https://encryptedtbn0.gstatic.com/>
- <http://www.qualiteconstruction.com/fiche/203>
- <http://www.ravalement-pro.fr/>

Ouvrage

- DE LUCA Livio, Relevés et Multi-représentations du patrimoine architectural, ESAM Aix en Provence, (2006).
- DE LUCA Livio, La photomodélisation architecturale/Relevé, modélisation et représentation d'édifices à partir de photographie ;Eyrolles ;264 pages,18/06/2009
- Dicobat (dictionnaire général du bâtiment)-Ed. Arcatures
- Méthode Réhabimed,
http://www.rehabimed.net/Publicacions/Metode_Rehabimed/II.Rehabilitacio_Ledifici/FR/2epartie.Outil4.pdf

Thèses et Mémoires

- JANVIER-BADOSA, Sarah. Le carnet de santé d'un monument. Application au château de Chambord. Orléans, école doctorale. Energie matériaux sciences de la terre et de l'univers, 2012, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00843649/file/sarah.badosa_2619.pdf
- LAÇRI Ikhlassa, (2016), Comparaison entre des logiciels de modélisation 3d orientés BIM (Building Information Modeling) GRAPHISOFT ARCHICAD 19 et AUTODESK REVIT 16 : application à la façade principale de Lycée L'Emir Abdelkader, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme.
- S. Soukane, M. Dahli. La Réhabilitation du patrimoine colonial 19ème 20ème dans le contexte du développement durable. Université de Tizi-Ouzou, Département d'architecture, Algérie. http://www.ummtto.dz/IMG/pdf/communication_rouen_soukane.pdf
- BRUNA, Robin. Modélisation 3D de la chapelle Saint-Laurent et de la place du Château (Secteur 3) pour extraction de données Archéologiques et visite virtuelle. Strasbourg, Institut National des Sciences Appliquées de STRASBOURG, 2014, http://eprints2.insa-strasbourg.fr/1777/1/Bruna_Robin_Memoire.pdf

Cours

- Cours technique du relevé architectural, Maoui Meriem-Belarbi Samia, gri6Djenane Sahar-Maduniversité Mohamed Khider Biskra, département d'architecture 2001-2012
- La photomodélisation appliquée à l'architecture, Kacher Sabrina, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, 2016

Article

- http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/laffb/mediatheque/batimetiers.html?ID_ARTICLE=1802
- <https://help.sketchup.com/fr/article/3000115>

Guide

- CAUSSARIEU, Alexandre. GAUMART, Thomas. Guide pratique de la rénovation de façades Pierre, béton, brique, Eyrolles, 2005,
- Guide fissure et microfissure, signes et causes, <https://www.forumconstruire.com/guides/guide-fissure-microfissure/signes-causes-fissures-maisons.php>
- Rapport de Présentation du PPSMVSS- Plan Permanent de Mise en Valeur des Secteurs Sauvegardés- de la Casbah d'Alger.