

Rapport de Projet Pluridisciplinaire 2^{ème} année du Cycle des Ingénieurs diplômés de l'ENSG

Étude préalable aux relevés architecturaux par photogrammétrie de l'Alexandrie du XIX^e et XX^e siècle



Figure 1: Bourse d'Alexandrie et bâtiment de V. Erlanger.

Mehdi DAAKIR

Le 10 septembre 2012

✓ Non confidentiel Confidentiel IGN Confidentiel Industrie

Jury

Président du jury

Christine SALGÉ, directrice adjointe ENSG

Commanditaire :

Jean-Yves EMPEREUR

Centre d'Études Alexandrines (CEAlex/USR3134 du CNRS)

50, Rue Soliman Yousri, Alexandrie, Égypte

Encadrement de stage :

Jean-Yves EMPEREUR, CEAlex, maître de stage

Raphaële HENO, DIAS, ENSG/IGN, rapporteur principal

Cécile SHAALAN, CEAlex

Laurent BOREL, CEAlex

Responsable pédagogique du cycle Ingénieur : Serge BOTTON,

Tuteur du stage pluridisciplinaire : Patricia PARISI, DE/DFI

© ENSG

Stage du 03 juin au 26 août

Diffusion Web : Internet Intranet ENSG

Situation du document : Rapport de stage pluridisciplinaire présenté en fin de 2^{ème} année du cycle des Ingénieurs

Nombre de pages : 47 dont 3 d'annexes

Système hôte : Libre Office Writer

Parce que l'on n'en finit jamais d'apprendre.

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Jean-Yves Empereur, mon maître de stage, qui m'a offert l'opportunité de vivre une expérience professionnelle riche et dans des conditions excellentes.

Mes remerciements vont ensuite à Raphaële Héno, mon professeur référent à l'ENSG, pour la confiance qu'elle m'a accordé lors de la réalisation de ce travail.

Je remercie également Cécile Shaalan, encadrante du stage, pour son aide, son implication et son suivi tout au long de cette période.

Je n'oublie pas de remercier particulièrement M. Pierrot-Deseilligny pour ses réponses efficaces et sa disponibilité incroyable.

Je remercie Charlotte Deweerd pour les échanges et tout l'intérêt qu'elle a porté à mon travail.

Finalement, je tiens à exprimer toute ma gratitude à l'égard du personnel du CEALex pour son accueil chaleureux et cet environnement de travail agréable dont j'ai bénéficié.

Résumé

L'étude du bâti remarquable d'Alexandrie est une étape nécessaire pour sa préservation et sa mise en valeur. Le Centre d'Études Alexandrines fait appel notamment aux techniques de relevés photogrammétriques afin de documenter ce patrimoine du centre ville. Un protocole d'acquisition et une chaîne de traitement ont été élaborés au cours de mon stage. Ils sont présentés dans ce rapport en retenant le cas des façades principales des bâtiments sélectionnés, et cela, tout en faisant état des contraintes du terrain.

Mots-clés :

architecture ; photogrammétrie ; patrimoine ; sauvegarde ; Alexandrie ; redressement ; ortho-image ; stéréorestitution ;

Abstract

The study of Alexandria's remarkable infrastructure is not only necessary for reasons of conservation but also because of the need for its valorization. The Centre d'Études Alexandrines has used photogrammetric samples to document the infrastructure. This report focuses on the facade of these notable buildings. Thus, it recommends a plan of action for the creation of a record as well as a processing procedure aimed at the production of a documentation of Alexandria's infrastructure while acknowledging the challenges posed by the environment.

Keywords:

architecture; photogrammetry; heritage; Alexandria; ortho-image; stereoplotting;

Table des matières

Introduction.....	12
I - Présentation générale.....	13
1 - Le Centre d'Études Alexandrines :.....	13
2 - « La photogrammétrie au service des archéologues et des architectes » :.....	14
3 - Contexte urbain et architectural d'Alexandrie :.....	15
II - État de l'art des relevés en photogrammétrie architecturale.....	16
1 - Techniques de relevés :.....	16
2 - Exemple d'un chantier de photogrammétrie architecturale : la Mosquée de Sanaa....	17
3 - Le relevé à grande échelle :.....	18
4 – Bilan :.....	19
III - Reconnaissance terrain et premiers tests.....	20
1 - Classification des bâtiments :.....	21
2 - Chaîne de traitement :.....	22
a) Contraintes d'acquisition :.....	22
b) Règles de prise de vue :.....	23
c) Calibration de l'appareil :.....	25
d) Traitement des données : la chaîne PASTIS-APERO-MICMAC :.....	26
3 - Exemples de façades relevées :.....	27
a) La villa Cicurel :.....	27
Contexte historique :.....	27
Acquisition sur le terrain :.....	28
b) Le bâtiment Victor Erlanger :.....	28
Contexte historique :.....	28
Acquisition sur le terrain :.....	29
4 - Produits photogrammétriques :.....	29
a) Les photos : calcul des points de fuites.....	29
b) Le redressement :.....	30

c) Le nuage de points 3D :	31
d) L'ortho-image :	32
e) Modèle 3D filaire :	35
5 – Cas de figures plus complexes :	36
a) - Le Métropole Hôtel :	36
b) - Bâtiment rue Fouad :	38
IV – Transfert de compétences.....	39
1 - Redressement de la mosaïque nilotique de Shallalat :.....	39
2 - Modèle 3D d'un sondage de fouille archéologique :.....	40
V – Premières solutions avant le SIG.....	41
Conclusion.....	43
Bibliographie Sélective.....	44
Architecture alexandrine :	44
Photogrammétrie architecturale :	44
Annexes.....	45
Théorème de Chasles-Steiner:.....	45
Guide d'installation de la suite PASTIS-APERO-MICMAC :.....	46
Plans de localisation :	47
La villa Cicurel :	47
Le bâtiment V. Erlanger :	47

Liste des figures

Figure 1: Bourse d'Alexandrie et bâtiment de V. Erlanger.....	1
Figure 2: Modèle tridimensionnel de la citerne El-Nabih. L. Borel © CEAlex.....	13
Figure 3 : À gauche, vue du modèle 3D obtenu par corrélation dense du théâtre romain de Kôm El-Dikka.	14
Figure 4: Véhicule instrumenté Stéréopolis équipé de différents capteurs.....	18
Figure 5 : Carte de Goad, planche numéro 32, quartier de Mancheya avec la place centrale Mohamed Ali en 1905.....	20
Figure 6 : Masque de végétation sur la façade d'un bâtiment place Mohamed Ali, Mancheya.	23
Figure 7: Redressement de la façade du Métropole Hôtel. Texture de la façade très homogène, lampadaires et panneau publicitaire figurent sur le mosaïque final.....	23
Figure 8 : Schéma décrivant le protocole de prise de vue d'une façade en axes parallèles. © DIAS.....	25
Figure 9: Prise de vue en forme de croix pour l'auto-calibration de la caméra.....	26
Figure 10 : Prise de vue en axes parallèles de la façade de la villa Cicurel.....	28
Figure 11: Gravure sur la façade du bâtiment V. Erlanger rue Salah-Salem.....	28
Figure 12 : Prise de vue en axes parallèles du bâtiment V. Erlanger.....	29
Figure 13: Résultat de l'algorithme sur une image de scène urbaine (reconstruction automatique). © M. Kalantari.....	30
Figure 14: Redressement de la façade de la villa Cicurel.....	30
Figure 15: Redressement de la façade du bâtiment V. Erlanger.....	31
Figure 16: Vue du nuage de points 3D de la façade du bâtiment V. Erlanger.....	32
Figure 17: Ortho-image de la façade de la villa Cicurel.....	33
Figure 18: Ortho-image de la façade du bâtiment V. Erlanger.....	33
Figure 19: Image de corrélation de la façade de la villa Cicurel.....	34
Figure 20: Calcul du relief estompé sur la façade du bâtiment V. Erlanger.....	35
Figure 21 : Modèle filaire 3D en l'air de la façade du bâtiment V. Erlanger par stéréorestitution.....	36
Figure 22: Image qui montre le caractère homogène de la texture de la façade du Métropole Hôtel.....	37
Figure 23: Superposition de l'ortho-image et de l'image de corrélation pour la façade du Métropole Hôtel.....	37

Figure 24 : Vue du nuage de points 3D de la façade. Plusieurs zones non restituées à cause du relief.....	38
Figure 25 : Ortho-image de la mosaïque nilotique de Shallalat.....	39
Figure 26 : Vue d'ensemble du nuage de points 3D	40
Figure 27 : Zoom sur une portion de l'unité stratigraphique gauche	40
Figure 28 : Vue de la table « Bâtiments ». Il est possible de visualiser les résultats des traitements dans une autre fenêtre.....	41
Figure 29 : Vue de la table « Prises de vue » qui reprend les information figurant sur la fiche terrain.....	42
Figure 30 : Illustration graphique du théorème Chasles-Steiner.....	45
Figure 31 : Plan de situation de la villa Cicurel.....	47
Figure 32 : Plan de situation du bâtiment V. Erlanger.....	47

Sigles utiles

CIPA	The International Committee for Documentation of Cultural Heritage
ISPRS	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
SFPT	Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection
DIAS	Département d'Imagerie Aérienne et Spatiale
MATIS	Méthodes d'Analyses pour le Traitement d'Images et la Stéréorestitution
IGN	Institut National de l'information Géographique et forestière
SYMPA	SYstèmes de collectes, Mise à jour et restitution PArticipative
GPS	Global Positioning System
INS	Inertial Navigation System
MAP-GAMSAU	Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine
SIG	Système d'Information Géographique

INTRODUCTION

Ce rapport est le fruit du travail que j'ai réalisé au sein du Centre d'Études Alexandrines (CEAlex) en Égypte durant la période de juin à août 2012. Le stage consiste dans la réalisation d'une étude du bâti remarquable d'Alexandrie (du XIX^e et XX^e siècle) par photogrammétrie.

Dans un premier temps, le cadre du stage est présenté : le Centre d'Études Alexandrines et l'école d'été qui s'y est tenue durant les 2 premières semaines du mois de juin. Puis un éclairage est apporté sur le contexte urbain et architectural du terrain alexandrin.

La seconde partie s'articule autour de deux points principaux : une présentation des différentes techniques utilisées dans le cadre de travaux en photogrammétrie architecturale et une description de ma procédure de travail en situation.

C'est dans la troisième partie de ce rapport que le travail de terrain et les résultats issus des traitements photogrammétriques sont exposés. Afin de présenter la chaîne de traitement adoptée, j'ai retenu trois exemples de bâtiments qui sont des cas d'étude différents et qui illustrent un éventail de solutions distinctes.

À la fin, une solution pour le géoréférencement, l'archivage et la consultation des données est proposée dans une perspective de recours à une plate-forme de type SIG dans l'avenir pour l'accueil des résultats des relevés.

I - PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1 - Le Centre d'Études Alexandrines :

Le CEAlex (Centre d'Études Alexandrines), unité de Service et de Recherche (USR) au sein du Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) est un centre, créé par Jean-Yves Empereur en 1990, implanté à Alexandrie (Égypte). Il consacre ses travaux à la sauvegarde et à la mise en valeur du patrimoine de cette ville. Les premières missions du CEAlex furent des fouilles de sauvetage archéologiques. Cependant, depuis plusieurs années, le centre se consacre aussi à l'étude du patrimoine bâti de la ville en faisant en sorte de diffuser en amont des valeurs pérennes de conservation et transmission du patrimoine, ce qui le conduit notamment à recourir aux méthodes de la photogrammétrie. Certains projets ont déjà utilisé cette technique, le projet de la citerne El-Nabih en témoigne largement¹. Ayant saisi le potentiel de la photogrammétrie à contribuer à la sauvegarde et à la préservation du patrimoine architectural, le CEAlex au travers de son initiative d'organiser une école d'été en photogrammétrie se tourne résolument vers cette technique.

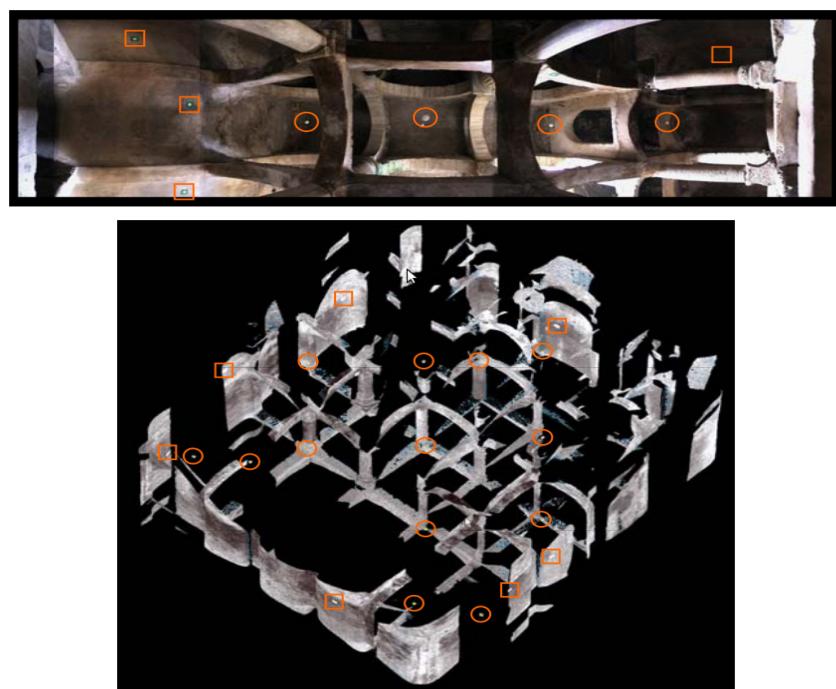


Figure 2: Modèle tridimensionnel de la citerne El-Nabih. L. Borel © CEAlex.

¹L. Borel, M. Cabarrou, S. Dubourg, Y. Egels. Restitution 3D, lasergrammétrie et photogrammétrie : le cas de la citerne el-Nabih à Alexandrie. *D'X,Y à X,Y,Z, Virtual Retrospect, Collection Archéovision*, Volume 4, novembre 2009.

2 - « La photogrammétrie au service des archéologues et des architectes » :

Mon stage débute le 02 juin 2012 par une formation intitulée « La photogrammétrie au service des archéologues et des architectes ». Sous forme d'école d'été, elle est conjointement organisée par le CEALex, l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG), l'Institut National de l'information Géographique et forestière (IGN) et l'Institut Français d'Archéologie Orientale (IFAO). Les stagiaires ayant pris part à cette formation viennent de milieux professionnels différents : photographes, archéologues, architectes, topographes, inspecteurs du Conseil Suprême des Antiquités égyptien. Ainsi, cela a été une occasion pour moi d'échanger avec différents professionnels, de porter une attention particulière à leurs besoins et attentes respectifs vis-à-vis de la photogrammétrie. La formation avait pour but d'apporter les connaissances théoriques initiales des techniques de relevés faisant appel à la photogrammétrie, et de mettre en pratique ces techniques sur le site archéologique du théâtre romain de Kôm el-Dikka. Les stagiaires ont donc été initiés à différents ateliers pratiques : redressement, ortho-rectification, stéréo-restitution, Micmac, PMVS, etc. Chaque atelier a été l'objet d'un cours théorique relatif aux principes techniques, puis à une acquisition sur le terrain ainsi qu'au traitement des données acquises au bureau. La formation a été encadrée par Yves Egels (Ingénieur-IGN), Raphaële Héno (Ingénieur-IGN), Marc Pierrot-Deseilligny (Directeur de Recherche IGN), Laurent Borel (Architecte-CNRS), Gaël Pollin (Photographe-IFAO) et Emmanuel Laroze (Architecte-CNRS).

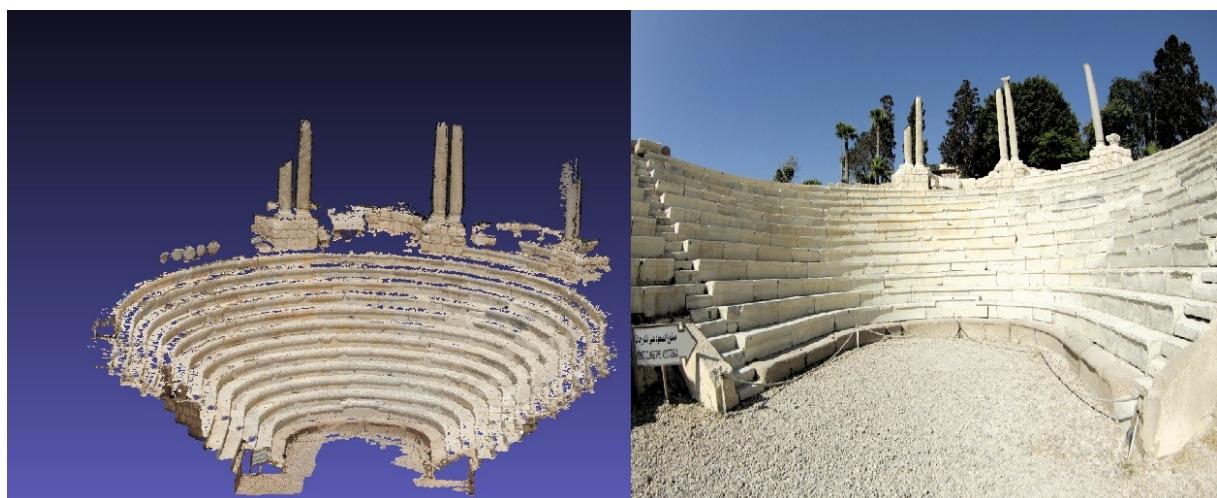


Figure 3 : À gauche, vue du modèle 3D obtenu par corrélation dense du théâtre romain de Kôm El-Dikka.

3 - Contexte urbain et architectural d'Alexandrie :

La ville d'Alexandrie a connu un développement urbain extraordinaire au cours des deux derniers siècles, d'une modeste bourgade d'une quinzaine de milliers d'habitants elle est

devenue l'un des grands ports méditerranéens. La ville s'est imposée comme la deuxième capitale du pays et elle est à présent une mégalopole à la croissance démographique galopante. Alexandrie offre un double visage du point de vue urbanistique. Elle possède à la fois une très forte stratification historique de par son ancrage sur le site de la ville de fondation antique, mais son développement au cours du XX^e siècle s'est réalisé sur une très large surface de part et d'autre de la vieille ville, le long de la côte, en adoptant une forme étirée sur plusieurs kilomètres.

L'intérêt architectural se porte naturellement sur la partie du bâti urbain qui possède une valeur historique et esthétique la plus forte. L'ancienne ville turque et les premiers quartiers urbanisés, à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle et jusqu'au milieu du XX^e siècle, sont les secteurs de la ville qui sont prioritairement concernés par un travail de sauvegarde patrimoniale. De manière générale, l'histoire architecturale de l'Égypte moderne demeure peu étudiée et largement méconnue, mais depuis plusieurs années, elle suscite un intérêt croissant.

À l'heure actuelle, nous pouvons dire que l'opération patrimoniale s'oriente dans deux directions principales : d'une part, le prolongement de la recherche sur le patrimoine le mieux connu dit « cosmopolite » (produit par les communautés actives dans la fabrique urbaine, principalement italienne et grecque) et son ouverture aux périodes antérieures et postérieures (ottomane du XIX^e siècle et égyptienne postérieure aux années 1920-1930), d'autre part, il importe d'augmenter la capacité d'action, en renforçant l'expertise et le pilotage des opérations patrimoniales, ce qui doit permettre de dépasser l'action ponctuelle de « sauvetage » et d'instaurer une politique durable d'intérêt général.

II - ÉTAT DE L'ART DES RELEVÉS EN PHOTOGRAMMÉTRIE ARCHITECTURALE

Le travail en amont de ce stage consiste tout d'abord à comprendre le besoin manifesté par le commanditaire en la personne de Jean-Yves Empereur lui-même faisant état des besoins de son équipe pluridisciplinaire. Cet intérêt se porte prioritairement sur la documentation du bâti remarquable d'Alexandrie du XIX^e et XX^e siècles et exclusivement sur les façades principales des bâtiments. Pour répondre à cette demande, il a fallu établir une étude bibliographique des techniques de relevés utilisées dans le domaine de la photogrammétrie architecturale, afin de mettre en exergue les différents outils qui interfèrent avec un chantier de ce type. Puis en fonction des contraintes matérielles du contexte de la ville d'Alexandrie, identifier les techniques qui sont les plus accessibles pour ensuite adopter une méthode de procédure définitive. Mes recherches se sont naturellement tournées vers les publications de différentes organisations parmi lesquelles : la CIPA, l'ISPRS, l'ICOMOS et la SFPT mais aussi les travaux réalisés au sein du DIAS par les élèves de l'ENSG et les travaux de recherches du laboratoire MATIS.

Afin de restituer cette procédure avec le plus de clarté, ci-après sont exposées les différentes techniques avec la prise en compte de trois critères principaux :

- le coût
- la qualité du rendu : précision et aspect
- le temps de mise en œuvre

Ces critères sont qualifiés de manière à donner au lecteur un ordre de grandeur significatif.

Il est important de souligner que dans le cadre précis du relevé alexandrin, une contrainte spécifique s'ajoute de par les conditions de relevé dans la ville. En effet, cette étape requiert à la fois temps et visibilité ce que la vie urbaine locale ne rend pas toujours aisément. Il ressort ainsi de mon expérience sur le terrain que la prise de vue est plus favorable à certains moments de la journée, par exemple, le vendredi matin, premier jour de week-end, où l'activité économique est relativement en suspens.

1 - Techniques de relevés :

Les techniques de relevés diffèrent selon les produits que l'opérateur souhaite obtenir. Un relevé étant le report des formes tridimensionnelles d'un objet établies à partir de mesures exactes. La mesure peut donc être réalisée à l'aide d'un simple double-mètre jusqu'à l'utilisation d'appareils beaucoup plus sophistiqués.

Il ressort ainsi de ma documentation qu'il est possible de classer les techniques de relevés selon 4 grandes familles en fonction des moyens techniques utilisés. En général, le choix de la technique à adopter dépend du degré de difficulté de l'objet à relever. Le tableau ci-dessous présente la genèse de cette classification :

Technique de relevé	Matériel utilisé	Qualité du rendu	Coût et accessibilité	Temps d'acquisition	Produits visés
Acquisition manuelle	double-mètre, ruban-mètre, distance-mètre, boussole, inclinomètre, fil à plomb, niveau,	généralement une restitution en 2D complétée par des mesures de hauteurs, technique limitée pour les objets de géométrie compliquée, mesures réalistes précision 5-10 cm	bon marché, accessible aux opérateurs non-experts	rapide, augmente en fonction du niveau de détail souhaité	documentation simple, représentations planes, coupes
Acquisition par topométrie/géodésie	niveau optique/automatique, station totale, prismes/rélecteurs, mires, trépieds, récepteurs et antennes GPS,	après traitement des mesures on obtient des points en coordonnées 3D, plans de détails à grande échelle, précision : 0,5-2 cm	coûteux, nécessite un opérateur qualifié	généralement très long	plans détaillés à grande échelle
Acquisition par photogrammétrie	caméras numériques, objectifs optiques, caméras embarquées (ballon, cerf-volant, ULM), cibles, matériel topométrique si géoréférencement	produits objectifs valables dans de nombreux cas de figure, évaluation tridimensionnelle de l'objet, adaptée à la documentation et l'archivage, précision : dépend de la précision du canevas de points réalisé par topométrie (de l'ordre de 1 cm)	variable, accessible au public non-expert légèrement sensibilisé aux principes de la technique	rapide	documentation riche : photos, redressement, ortho-image, nuages de points 3D, coupes, dessin filaire 3D, coupes, sections, élévations, panoramas
Acquisition par lasergrammétrie	scanner laser, ordinateur portable, trépieds, cibles, sphères,	des nuages de points de bonne qualité géométrique, la radiométrie est généralement apportée par des images externes, précision : dépend de la précision du canevas de points réalisé par topométrie (de l'ordre de 1 cm)	coûteux	important	nuages de points 3D, coupes, sections, élévations

2 - Exemple d'un chantier de photogrammétrie architecturale : la Mosquée de Sanaa

Les travaux des élèves ingénieurs de l'ENSG sur la mosquée de Sanaa, au Yémen en 2004, représentent un exemple concret d'un chantier de photogrammétrie où les moyens de relevés sont tout aussi importants que divers. Le but est de relever un monument historique dans sa totalité en produisant une documentation complète et précise. Les techniques employées vont de la topométrie, la lasergrammétrie terrestre ainsi que la photographie intérieure et extérieure du bâti. Les moyens mis-en-œuvre pour ce travail sont : des stations totales, un scanner laser, des caméras numériques pour ne citer que cela. Ce chantier montre en effet que produire une documentation de qualité nécessite une densité d'informations qui n'est acquise que par combinaison des différentes techniques de relevés. Cette complémentarité des techniques est le point fort du processus de traitement qui permet d'obtenir des produits satisfaisants. Le traitement des données acquises s'est déroulé en partie dans les locaux de l'ENSG compte tenu du volume conséquent. Voici quelques chiffres relatifs à ce relevé :

- la précision du système de coordonnées local mis en place : 0.5 – 1 cm
- le temps d'acquisition nécessaire pour les relevés du scanner laser : 100 h

- la résolution spatiale des images acquises : 3 – 5 mm
- le nombre de personnes que le travail a nécessité : 4 professeurs ENSG accompagnés de 6 élèves-ingénieurs

3 - Le relevé à grande échelle :

Alexandrie fait partie des villes ayant connu un âge d'or de l'architecture contemporaine. Certains quartiers, comme celui de Mancheya, sont susceptibles de faire l'objet d'un relevé complet des bâtiments d'une valeur patrimoniale importante. Dans ce contexte de préservation à grande échelle, le relevé ponctuel par photogrammétrie peut montrer certaines limites en termes de production. Mes recherches dans ce sens se sont tournées vers les travaux du laboratoire de recherche MATIS au sein de l'IGN, plus particulièrement l'action de recherche SYMPA qui s'articule autour de systèmes de collectes d'informations terrestres, de leur mise à jour et leur restitution participative sur le web.

La partie acquisition en milieu urbain se fait grâce au véhicule instrumenté Stéréopolis développé par le MATIS. Ce véhicule équipé de différents capteurs (plusieurs caméras, scanner laser et un système GPS-INS) permet d'obtenir des images orientées à très haute définition, une vue en 360° en n'importe quel point et une modélisation fine des façades depuis le sol. Le couplage du laser avec les images permet d'obtenir des données de géométrie et radiométrie de qualité très fine, ainsi l'extraction de l'information se fait avec une grande précision.



Figure 4: Véhicule instrumenté Stéréopolis équipé de différents capteurs.

4 – Bilan :

Les techniques d'acquisition diffèrent selon le relevé souhaité. La complémentarité des différentes techniques est un atout considérable pour la production de supports de documentation de bonne qualité. Dans le cadre de mon stage, les relevés de terrain sont exclusivement effectués par photogrammétrie, à savoir, par l'utilisation d'un appareil photo numérique. En effet, le stage représente une première approche pour les relevés des bâtiments alexandrins et les moyens mis à disposition se veulent simples et accessibles à tout le monde. Par ailleurs, dans le cas de l'Égypte, il n'est pas envisageable, ou exceptionnellement et exclusivement avec l'accord des autorités, d'effectuer des relevés lourds nécessitant du matériel important. La méthode qui m'est accessible a pour limite principale de ne pouvoir mesurer les parties invisibles des bâtiments sur les images acquises. Les images sont toujours prises à partir du sol selon un mode opératoire que nous allons décrire plus tard.

III - RECONNAISSANCE TERRAIN ET PREMIERS TESTS

Une première réunion avec Jean-Yves Empereur a été organisée pour identifier le besoin mais aussi afin d'avoir des informations sur les bâtiments à relever. Les quartiers d'intérêts sont ceux situés au centre de la ville (place centrale du quartier Mancheya). Une série de cartes d'un grand intérêt historique et couvrant une partie de la ville, établis par un architecte anglais, Goad, datant de 1905, ont servi de documentation de référence. Ils permettent d'identifier les bâtiments qui datent du XIX^e et début XX^e siècle. Parmi ces bâtiments figure une liste préétablie par une doctorante, Charlotte Deweerd, qui s'intéresse dans le cadre de sa thèse plus particulièrement aux bâtiments d'assurances implantés à Alexandrie durant cette même période. Dans ce contexte nous avons donc décidé de travailler en collaboration et de programmer les journées de terrain en même temps. Cela a été une occasion intéressante de collaborer avec une personne d'un milieu de recherche différent et de voir dans quelle mesure la photogrammétrie pouvait être un outil complémentaire dans la discipline de l'histoire urbaine.



Figure 5 : Carte de Goad, planche numéro 32, quartier de Mancheya avec la place centrale Mohamed Ali en 1905.

1 - Classification des bâtiments :

La première étape du travail a été de procéder à des reconnaissances sur le terrain. Une première vérification consiste alors à identifier quels sont les bâtiments figurant sur les plans de Goad et toujours présents sur le terrain. Ensuite, au fur et à mesure de ces reconnaissances, il est possible d'établir différentes classes de critères afin de pouvoir répertorier les bâtiments à relever après cela. L'enjeu est ainsi d'établir une base de données qui permet, selon un critère spécifique, d'identifier les bâtiments souhaités. Le tableau ci-dessous présente la fiche-type élaborée lors de cette étape. Elle comprend 3 séries de critères : des informations générales ; des informations de type architectural établies avec le concours de Kathrin Machinek, architecte au CEAlex. Enfin des informations strictement photogrammétriques. Certaines de ces informations sont collectées sur le terrain et d'autres au bureau notamment en se basant sur une collection de cartes d'Alexandrie dont dispose le CEAlex et qui, entre 1995 et 1998, a procédé à la digitalisation des planches cadastrales réalisées par le « Survey of Egypte » (série 1/500^e, 1933-1948), soit plus de 50.000 parcelles digitalisées et géoréférencées.

Informations générales	Identifiant
	Numéro
	Nom de la rue
	Nom du quartier
	Ville
	Nom usuel du bâtiment
	Emprise au sol (en m ²)
	Nombre étages
	Coordonnées WGS 84
	Coordonnées dans le système local
Informations architecturales	Architecte
	Date de construction
	Fonction du bâtiment
	Nombre d'entrées
	Inscription sur la façade
	Nombre d'appartements par étage
	État de conservation
	Court intérieure
	Style architectural
	Façade relevée
Informations de PDV*	Nombre de façades relevées
	Accès
	Hauteur estimée (m)
	Recul maximum (m)
	Relief sur la façade
	Possibilité de relevé depuis un bâtiment adjacent
	Texture de la façade

Tableau 1: Fiche de renseignement par bâtiment.

* prise de vue

2 - Chaîne de traitement :

La chaîne de traitement proposée ci-après est issue des diverses recherches effectuées tout au long du stage qui s'appuient notamment sur les travaux du laboratoire de recherches MAP-GAMSAU et l'enseignement reçu dans le cadre de l'école d'été à laquelle j'ai participé au début du stage. Cette chaîne de traitement représente un protocole pour relever les façades des bâtiments d'Alexandrie en plusieurs étapes détaillées ci-dessous. Ce protocole a pour objectif de permettre à un utilisateur légèrement sensibilisé aux techniques de la photogrammétrie de reproduire un travail correct et d'effectuer une campagne d'acquisition des façades en suivant toutes les étapes et en respectant toutes les recommandations. Le but étant ici de ne pas présenter le processus comme un système sophistiqué et complexe mais comme une technique abordable pour un public non-expert.

a) Contraintes d'acquisition :

En général, pour une prise de vue en milieu urbain, des contraintes peuvent apparaître rendant le relevé encore plus difficile. La densité de la circulation urbaine rendent délicate l'acquisition d'une façade en plus du peu recul dont on dispose pour la prise de vue, en général une dizaine de mètres. Ce fait accentue considérablement les parties cachées dans les photos et a pour résultat que l'ortho-image finale contient des zones qui ne sont pas restituées. Ce phénomène s'accroît lorsque les bâtiments contiennent des reliefs conséquents tels que des balcons. Avec ces deux contraintes, combinées à la hauteur des bâtiments relativement notable, trois ou quatre étages, il est plutôt rare de pouvoir prendre les photos de manière à avoir l'axe de l'objectif perpendiculaire à la façade sauf lorsqu'on dispose d'un objectif de type Fish-Eye².

Par ailleurs, lors de l'acquisition, la prise de vue peut aussi être gênée par d'autres contraintes comme par exemple la végétation qui crée des masques sur une partie de l'information que l'on souhaite restituer. Différents obstacles peuvent aussi apparaître sur les images (voitures, passants, lampadaires, affiches publicitaires, etc) et peuvent donc figurer lors de l'étape finale de mosaïquage de la façade.

² Objectif photographique disposant d'une longueur focale très courte et donc d'un angle de champ très grand.



Figure 6 : Masque de végétation sur la façade d'un bâtiment place Mohamed Ali, Mancheya.

Enfin, la texture des bâtiments, lorsqu'elle est trop homogène ou contient des formes répétitives perturbe l'étape de détection des points homologues lors du traitement.



Figure 7: Redressement de la façade du Métropole Hôtel. Texture de la façade très homogène, lampadaires et panneau publicitaire figurent sur le mosaïquage final.

b) Règles de prise de vue :

Avant l'acquisition des données, il est préférable d'organiser préalablement la campagne de relevés dans un souci de rigueur.

À l'image des « fiches terrain » qui sont d'une importance primordiale en topométrie et en géodésie sur chaque chantier, j'ai décidé, en m'inspirant des travaux du MAP-GAUMSAU, d'adopter une fiche de terrain pour les acquisitions photogrammétriques.

Infos générales	Opérateur	
	Date	
	Photos	
	Id du bâtiment	
Objet à relever	Façade relevée	
	Localisation	
	Nombre de bandes	
	Conditions PDV	Luminosité :
		Recul (m):
		Masques :
		Relief :
Matériel utilisé	Relevé avec points d'appui	
	Boîtier	
	ISO	
	Focale (mm)	
	Objectif	
	Diaphragme	
PDV spécifique	Temps de pause	
	Calibration	
	Orientation globale	
	Site de corrélation	

Tableau 2: Fiche à remplir par l'opérateur lors d'une acquisition sur le terrain.

En général, il convient pour procéder à une campagne de relevés de disposer d'un appareil de type Reflex. Il permet de procéder aux réglages suivants de façon manuelle :

- garder la même longueur focale pour toutes les photos de l'acquisition
- choisir une valeur d'ouverture raisonnable comprise entre 8 et 16. Une grande valeur d'ouverture peu engendrer des images floues
- opter pour un temps d'exposition long engendre des images floues si on ne dispose pas d'un pied
- effectuer une mise au point qui permette d'obtenir des images nettes. En général, une première mise au point se fait en autofocus, puis on bascule en manuel
- prendre les photos en mode manuel pour avoir des images lisibles, de bonne qualité et de radiométrie homogène
- utiliser la sensibilité ISO la plus faible pour minimiser le bruit dans les photos et éviter une perte de la qualité de l'image
- enregistrer les images au format .RAW (.NEF). Le format constructeur permet d'enregistrer la totalité de l'information originale, il est ensuite possible de régler la balance des blancs avec un logiciel de traitement d'images type Photoshop

- régler la taille de l'image de sortie au format « Large » qui correspond à la taille maximale du capteur

Pour le protocole de prise de vue en stéréoscopie, il faut veiller à délimiter la zone d'intérêt. Maintenir un rapport B/H raisonnable (B étant la base, la distance entre les sommets de prise de vue et H l'éloignement entre la caméra et la scène), en général une valeur comprise entre 1/6 et 1/2 et prendre les images de manière à ce que l'axe de visée soit perpendiculaire à la façade. Le recouvrement devra être d'au moins 60% pour garantir qu'un détail soit visible sur 2 images. Le schéma ci-dessous montre le procédé à suivre :

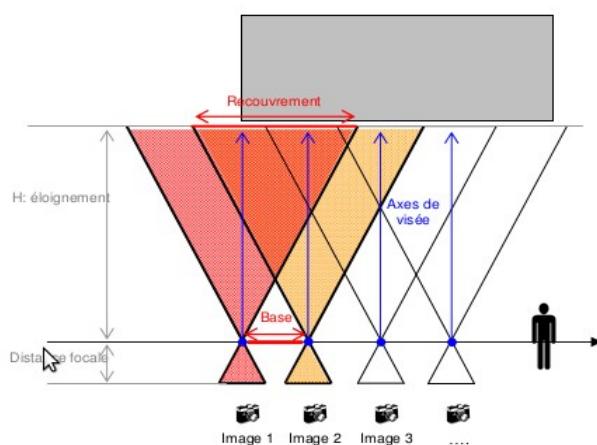


Figure 8 : Schéma décrivant le protocole de prise de vue d'une façade en axes parallèles. © DIAS.

c) Calibration de l'appareil :

Avant toute prise de vue, il faut s'assurer que l'appareil que l'on utilise soit calibré. C'est-à-dire que les paramètres internes de la caméra sont connus, à savoir les coordonnées du centre optique, la distance principale, les coordonnées du centre de symétrie de la distorsion et les coefficients du polynôme de distorsion. Le procédé classique pour calibrer un appareil est de disposer d'un banc d'étalonnage et d'utiliser un logiciel spécifique pour calculer toutes ces inconnues. Toutefois, avec une prise de vue particulière il est possible avec la suite PASTIS-APERO-MICMAC de calculer le fichier d'étalonnage de la caméra en mode Auto-calibration en même temps que le géoréférencement des images.

La prise de vue pour la calibration est sous forme de 5 images convergentes. Une image maîtresse et quatre images filles. Les images filles sont prises de façon à avoir une stéréoscopie horizontale et verticale par rapport à l'image maîtresse. L'objet photographié devra présenter au moins 3 niveaux de profondeur. L'angle d'un mur est un exemple typique car il vérifie toutes ces conditions. Le recouvrement entre les cinq images doit être de l'ordre

de 90%. Pour chaque jeu d'images, c'est-à-dire pour chaque longueur focale lors d'un relevé, une prise de vue pour la calibration est nécessaire.

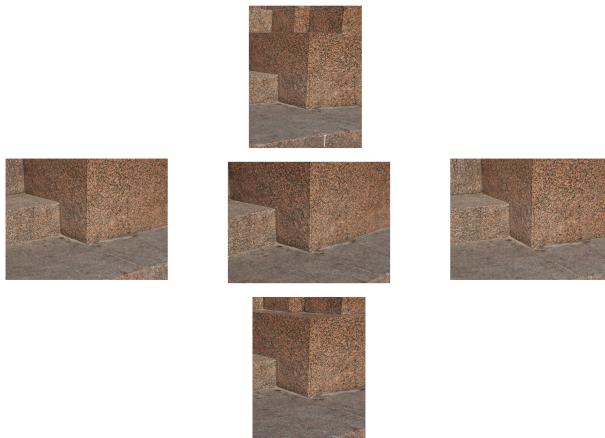


Figure 9: Prise de vue en forme de croix pour l'autocalibration de la caméra.

d) Traitement des données : la chaîne PASTIS-APERO-MICMAC :

Le traitement des données issues des différentes campagnes de relevés s'est exclusivement fait sous la suite PASTIS-APERO-MICMAC. Ce choix est motivé par le contrôle qu'offre cette chaîne sur tous les paramètres de traitement et aussi par sa capacité à traiter de nombreux cas de figures. D'autres solutions logicielles, notamment de corrélation dense, ont été expérimentées durant l'école d'été. L'aspect du « tout automatique » de ces logiciels ne laisse aucun contrôle pour l'opérateur, ce qui ne s'inscrit pas dans la logique de travail souhaitée.

La suite PASTIS-APERO-MICMAC est une chaîne de traitement photogrammétrique développée par Marc Pierrot-Deseilligny, directeur de recherche au sein de l'IGN. Cette chaîne se divise en 3 principaux modules, à savoir :

1. PASTIS : détection des points homologues sur les différentes images en utilisant l'algorithme SIFT
1. APERO : calibration des caméras et calcul des positions et orientations des sommets de prise de vue
2. MICMAC : constitution du nuage de points 3D de l'objet photographié à partir des images et des étapes précédentes

Tous les traitements ont été effectués sous le système d'exploitation libre de distribution Linux Ubuntu 12.04. Toutefois la suite PASTIS-APERO-MICMAC³ fonctionne sous d'autres

³En annexe un guide pour l'installation complète de la suite PASTIS-APERO-MICMAC

systèmes propriétaires tels que Windows et MAC OS et dispose aussi d'une interface utilisateur.

3 - Exemples de façades relevées :

Dans cette partie, je détaille la mise en application de la chaîne de traitement sur 2 types de bâtiments relevés. Le cas de la Villa Cicurel est un cas typique de façade avec peu de contraintes et beaucoup de recul. Les résultats sont satisfaisants. Le bâtiment de l'architecte Victor Erlanger est un cas plus complexe bien que le recul dont on dispose soit exceptionnel en plein centre d'Alexandrie. La partie « Cas de figures plus complexes » détaille les difficultés rencontrées sur différents bâtiments.

L'ensemble de ces tests permet de mettre en application le protocole de traitement mis en place préalablement tout en tenant compte des différentes contraintes. Le but ici est de constituer une base pour les relevés futurs qui pourraient être réalisés par un opérateur non-expert.

Le matériel utilisé pour cette expérimentation de relevé des façades est le Nikon D90. Cet appareil Reflex dispose d'un capteur APS-C (23.6 x 15.8 mm) et une résolution image de 4288 x 2848 pixels. J'ai utilisé un objectif Nikon à focale variable 18-105 mm, contrairement à ce qui est recommandé. En effet, il faut éviter les objectifs de type zoom et privilégier les objectifs à focale fixe. Si j'ai opté pour cet objectif, c'est à cause de la contrainte de recul qui, dans le cas du terrain alexandrin, impose d'utiliser des objectifs grands angles voire Fish-Eye. Ne disposant que d'un objectif à focale fixe au 28 mm, l'objectif de type zoom me permettait d'avoir un champ plus large avec la focale au 18 mm.

a) La villa Cicurel :

La villa Cicurel⁴ se situe au numéro 404 de la rue Abou-Qir, quartier de Mustafa Kamel à Alexandrie.

Contexte historique :

La villa Cicurel, construite en 1930 par les architectes français Léon Azéma et Jacques Hardy, est un bâtiment remarquable appartenant au style architectural art déco d'Alexandrie, peu commun en Égypte. Elle s'intègre dans la dernière période de l'architecture classique mais a fait l'objet d'un retrait de la liste du patrimoine à préserver de la part des autorités égyptiennes. La menace de détruire ce monument a provoqué plusieurs manifestations de la part des habitants d'Alexandrie. Nous bénéficions ainsi d'un délai qui exige une intervention ponctuelle utilisant la photogrammétrie. Malgré la décision de démolition, la villa Cicurel figure à nouveau sur la liste officielle du patrimoine d'Alexandrie.

⁴ Un plan de localisation de la villa Cicurel est joint en annexe

Acquisition sur le terrain :

La villa donne sur l'intersection des rues Abou-Qir et Khaleel El-Khayat. Seulement la façade principale a pu faire l'objet d'un relevé. La principale contrainte est la présence d'arbres qui masquent la façade latérale de la villa. Un terrain condamné par une clôture offre un recul de 45 m sur la façade. J'ai procédé à une prise de vue⁵ au 70 mm à axes parallèles avec 60% de recouvrement. Lors du traitement, dix photos issues de l'acquisition ont été utilisées afin de restituer la façade.



Figure 10 : Prise de vue en axes parallèles de la façade de la villa Cicurel.

b) Le bâtiment Victor Erlanger :

Le bâtiment Victor Erlanger⁶ est situé rue Saleh Salem dans le quartier de Mancheya d'Alexandrie.

Contexte historique :

Victor Erlanger est un architecte français actif en Égypte de 1907 jusqu'à 1930. Il réalise différents immeubles de rapport dans le style « Belle époque » à Alexandrie et au Caire.



Figure 11: Gravure sur la façade du bâtiment V. Erlanger rue Salah-Salem.

⁵ Certaines photos ont été omises afin de ne pas surcharger le mémoire

⁶ Un plan de localisation du bâtiment V. Erlanger est joint en annexe

Acquisition sur le terrain :

La façade principale du bâtiment donne sur la grande rue Salah Salem. Cet immeuble, ainsi que celui qui est adjacent, bénéficie d'un recul exceptionnel grâce à la largeur de la place Mohamed Ali. Ces deux bâtiments voisins ne présentent pas d'obstacles majeurs à la prise de vue contrairement à la majorité des bâtiments se situant sur la même place. J'ai procédé à une prise de vue au 35 mm. Rappelons que le choix de la focale est conditionné par le recul maximal et l'emprise de l'objet à restituer.



Figure 12 : Prise de vue en axes parallèles du bâtiment V. Erlanger.

4 - Produits photogrammétriques :

a) Les photos : calcul des points de fuites

La documentation de certains bâtiments à Alexandrie par des produits photogrammétriques tels que le redressement ou l'ortho-image s'avère difficile, en se restreignant à des prises de vues au sol, principalement à cause de la contrainte du recul. Néanmoins les photos « brutes » servent de support afin de réaliser des mesures. Dans le domaine de la vision par ordinateur, la détection des points de fuites dans les images permet l'extraction des certaines primitives, principalement des lignes horizontales et verticales. Ce procédé s'avère efficace, car très automatique, pour la reconstruction d'objet comme des façades.

Mahzad Kalantari, ancienne chercheuse au sein du laboratoire MATIS, a mis en place un algorithme⁷ de recherche de points de fuites en s'appuyant sur un théorème de géométrie projective. Le théorème de Chasles-Steiner⁸ permet de transformer le problème de détection

⁷ L'algorithme est disponible sur l'adresse suivante : mahzad.kalantari.free.fr/Recherche2.html

⁸ L'énoncé du théorème de Chasles-Steiner se trouve en annexe

de points de fuites en la recherche de cercles passant par un point fixe de l'image. Cela revient donc à calculer les paramètres d'un cercle.

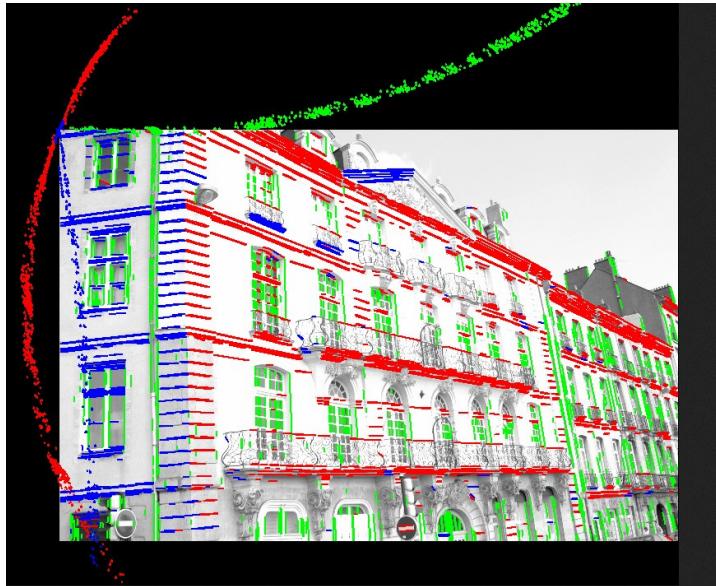


Figure 13: Résultat de l'algorithme sur une image de scène urbaine (reconstruction automatique). © M. Kalantari.

b) Le redressement :

Les façades des bâtiments peuvent être considérées comme des objets plans. Dans cette configuration un redressement est suffisant car on suppose que la forme de la surface de la façade est plane et donc nous n'avons pas besoin d'une description du relief. L'image redressée est une image métrique mais à différencier de l'ortho-image car le géoréférencement n'est plus valable hors du plan considéré.



Figure 14: Redressement de la façade de la villa Cicurel.



Figure 15: Redressement de la façade du bâtiment V. Erlanger.

Le redressement obtenu sur les deux façades peut-être qualifié selon les critères ci-dessous :

- la résolution spatiale est de 4 mm pour la villa Cicurel et 6 mm pour le bâtiment V. Erlanger
- dans les deux cas, l'emprise de la façade principale est bien restituée
- aucun problème de cisaillement ou de mosaïquage
- la qualité radiométrique est correcte même si la présence de quelques ombres portées est à noter
- le résidu moyen sur les points de liaison est dans la tolérance : 0.5 pixel pour les deux bâtiments
- les zones grisées représentent les parties hors plan de redressement. Pour la villa Cicurel, cette zone représente 19 % de la façade et pour le bâtiment V. Erlanger, les zones représentent 10 % de la façade

c) Le nuage de points 3D :

Le nuage de points 3D est un produit qui peut être obtenu par relevé au scanner laser, par stéréorestitution ou par des algorithmes de mise en correspondance. Ici, nous nous

intéressons aux modèles 3D réalisés à partir de redondances d'images en entrée, c'est-à-dire par corrélation dense. Ainsi, après les étapes de détections de points homologues et de calibration de la caméra, en utilisant un logiciel de corrélation automatique, type Micmac, il est possible de générer dans un repère des points ayant des coordonnées en 3 dimensions.

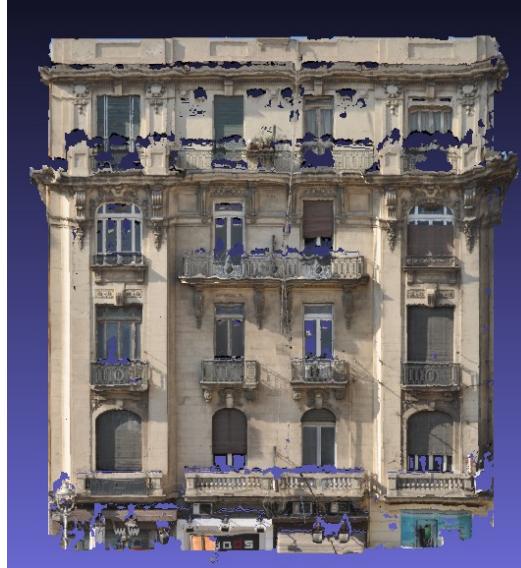


Figure 16: Vue du nuage de points 3D de la façade du bâtiment V. Erlanger.

Nous remarquons sur le nuage de point 3D de la façade du bâtiment V. Erlanger que quelques parties dans la zone supérieure de la façades ne sont pas restituées principalement à cause des parties cachées dans les images acquises sur le terrain. Il existe aussi quelques défauts de corrélation dans le coin droit de la façade.

d) L'ortho-image :

L'ortho-image est une image géoréférencée, elle nécessite une description du relief de la scène, tous ses pixels sont connus en coordonnées terrain et elle peut être utilisée comme une base de mesure. L'ortho-image est corrigée :

- du relief de la scène
- de la distorsion optique
- de l'inclinaison de l'axe de prise de vue



Figure 17: Ortho-image de la façade de la villa Cicurel.



Figure 18: Ortho-image de la façade du bâtiment V. Erlanger.

De la même façon, la qualité de l'ortho-image dépend de plusieurs critères :

- la résolution spatiale est de 4 mm pour la villa Cicurel et 6 mm pour le bâtiment V. Erlanger
- aucun problème de mosaïquage ou de cisaillement
- le résidu moyen sur les points de liaison est dans la tolérance : 0.5 pixel pour les deux bâtiments
- la qualité radiométrique est correcte même si la présence de quelques ombres portées est à noter
- l'emprise de la façade est restituée. Ici on retrouve le problème des parties cachées à cause du recul insuffisant pour avoir l'intégralité de la façade

Lors du traitement, un contrôle visuel est possible en calculant les images de corrélation et un estompage du relief.

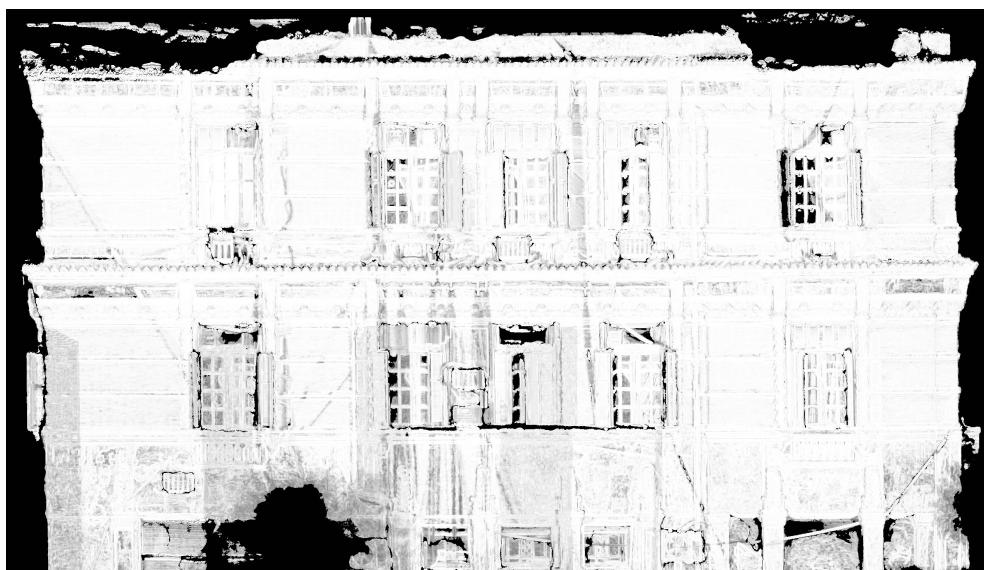


Figure 19: Image de corrélation de la façade de la villa Cicurel.

L'image de corrélation, qui contient la valeur normalisée du coefficient de corrélation, pour la façade de la villa Cicurel montre que, globalement, l'emprise de la façade est restituée. Le manque d'information concernant la partie inférieure gauche est dû à la présence de végétation dans cette zone. Quelques effets de bords sont aussi à noter dans les angles supérieurs.

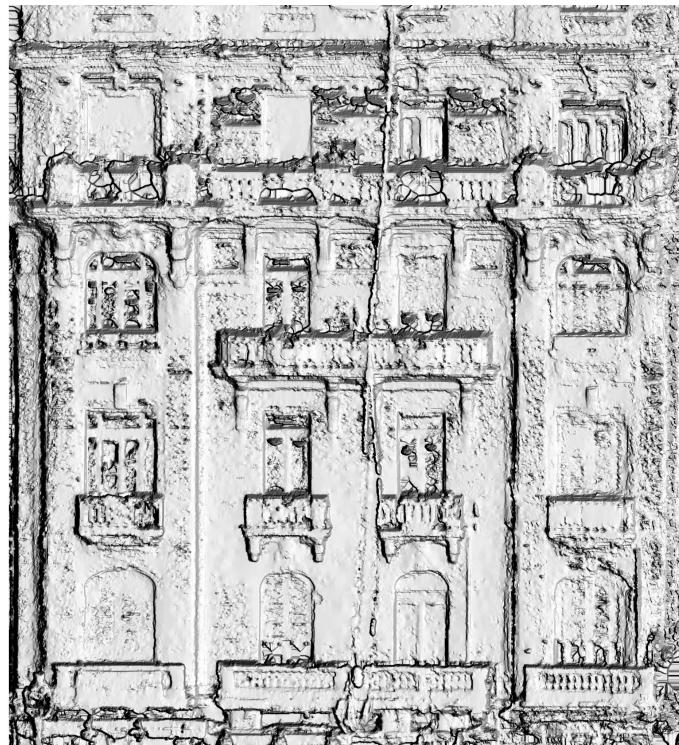


Figure 20: Calcul du relief estompé sur la façade du bâtiment
V. Erlanger.

Un utilitaire d'ombrage permet de juger de la qualité de la corrélation et de qualifier le résultat en sortie de Micmac. Pour le bâtiment de V. Erlanger, le calcul de corrélation est correct mais les bords sont souvent sujets aux défauts de corrélation. Ce problème est potentiellement causé par un poids très fort du paramètre de la régularisation « ZRegul » du fichier de paramètres Micmac. Différents traitements ont été réalisés sur le même jeu de données en faisant varier ces paramètres sans amélioration du rendu final de l'ortho-image.

En général, le résultat de l'ortho-image pour la bâtiment V. Erlanger n'est pas satisfaisant. Afin d'éviter ce genre de problème, il est nécessaire de pouvoir prendre des photos en hauteur pour limiter les parties cachées ou, le cas échéant, augmenter la distance d'éloignement entre la caméra et l'objet tout en compensant avec une plus longue focale.

e) Modèle 3D filaire :

Le dernier produit photogrammétrique réalisé est un modèle 3D filaire. Le but est de représenter une façade en dessinant les lignes caractéristiques qui la constituent. Ce procédé repose sur la technique de stéréorestitution (dessin en 3D). Le logiciel Poivilliers-F⁹ développé par Yves Egels, ingénieur général à l'IGN, permet de restituer des couples stéréoscopiques en disposant des données suivantes en entrée :

⁹ Le logiciel Poivilliers-F est un logiciel gratuit téléchargeable via le lien : www.yves.egels.free.fr

- Un couple d'images stéréoscopique
- Le fichier de calibration de la caméra
- Le fichier de points d'appui
- Un fichier de côtes pour le mode exploitation

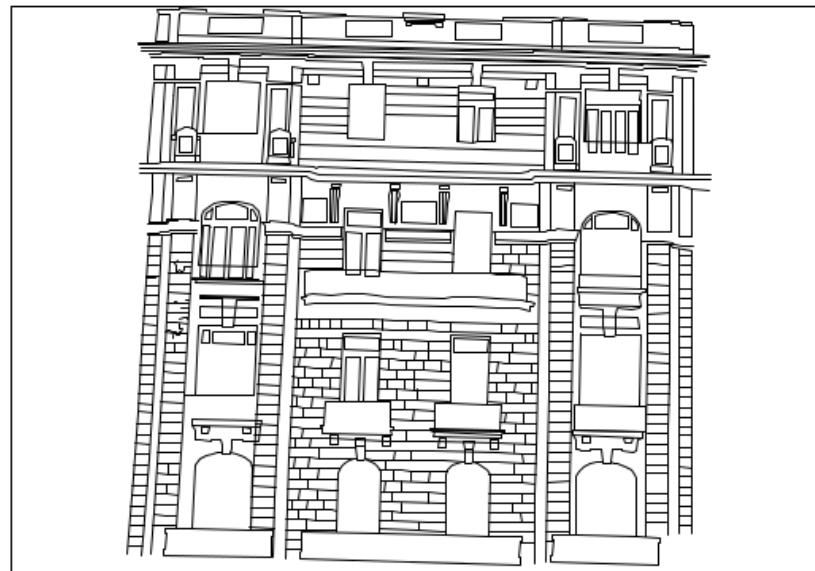


Figure 21 : Modèle filaire 3D en l'air de la façade du bâtiment V.

Erlanger par stéréorestitution.

5 – Cas de figures plus complexes :

Cette partie concerne le cas de deux bâtiments dont les contraintes sont plus considérables que les deux précédemment présentés. Le résultat obtenu, notamment pour l'ortho-image n'est pas satisfaisant. Le Métropole Hôtel à cause de la texture de la façade et le bâtiment rue Fouad principalement à cause du peu de recul et des parties cachées qui ne peuvent être restituées d'une prise de vue au sol.

a) - Le Métropole Hôtel :

Le Métropole Hôtel est situé rue Omar Lotfy donnant sur la place El-Raml Station. Ce bâtiment qui offre un recul de 40 m ne présente pas de difficulté importante lors de l'acquisition sur le terrain. Par contre, l'étape du traitement des données a mis en avant 2 difficultés principales. Premièrement, le résultat de la corrélation est imparfait. La superposition de l'image de corrélation avec l'ortho-image montre que plusieurs zones n'ont pas pu être restituées, bien que ces dernières soient visibles sur plusieurs images. La principale cause est que la surface de ce bâtiment est très homogène.



Figure 22: Image qui montre le caractère homogène de la texture de la façade du Métropole Hôtel.

Deuxièmement, la prise de vue comporte quelques obstacles qui figurent sur les images. Le mosaïquage final de la façade restitue ces obstacles. Lors du traitement sous Micmac, une solution a été testée qui consiste à saisir pour chaque image un masque de corrélation. Les résultats n'étaient pas très satisfaisants, car cette méthode n'est pas adaptée au contexte de production d'ortho-images.

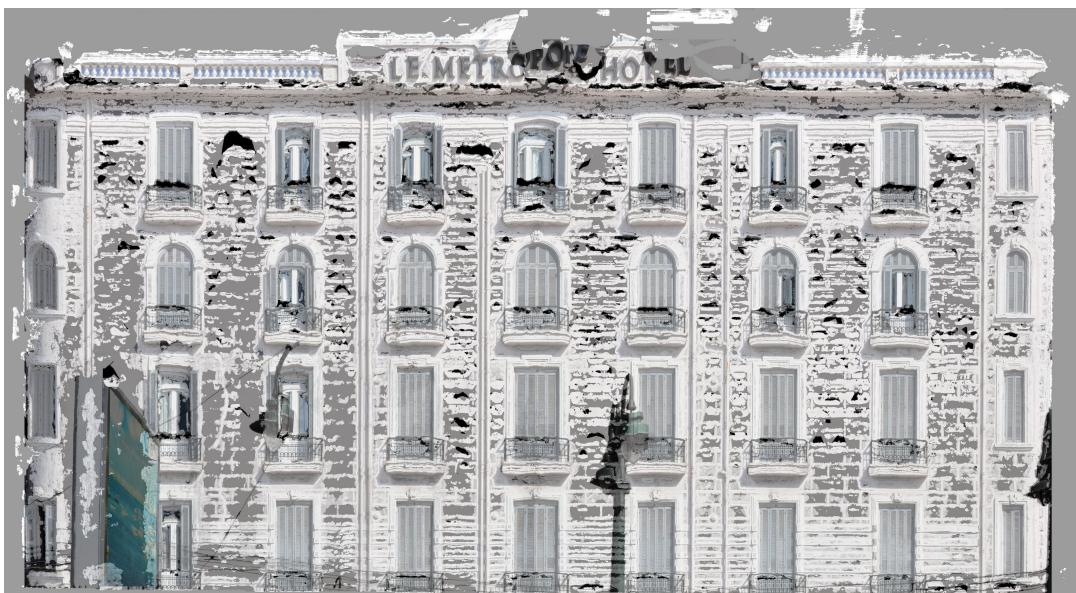


Figure 23: Superposition de l'ortho-image et de l'image de corrélation pour la façade du Métropole Hôtel.

b) - Bâtiment rue Fouad :

Un bâtiment se situant à l'intersection des rues Fouad et Salah-Salem a été relevé. Ce Bâtiment représente un cas où les conditions de relevés au sol ne sont pas optimales. Le recul maximal du bâtiment est de 7 m. Le résultat obtenu pour l'ortho-image n'est pas envisageable. La prise de vue contient beaucoup trop de parties cachées qui ne peuvent être restituées car la prise de vue est effectuée au niveau du sol avec très peu de recul. Le redressement de la façade a aussi présenté une difficulté qui est néanmoins spécifique à ce bâtiment. Ce dernier a la particularité d'être légèrement circulaire sur l'extrémité. Le plan principal est correctement redressé, mais la partie gauche du bâtiment qui n'est pas tout à fait plane et engendre des problèmes de mosaïquage et de cisaillements très importants.

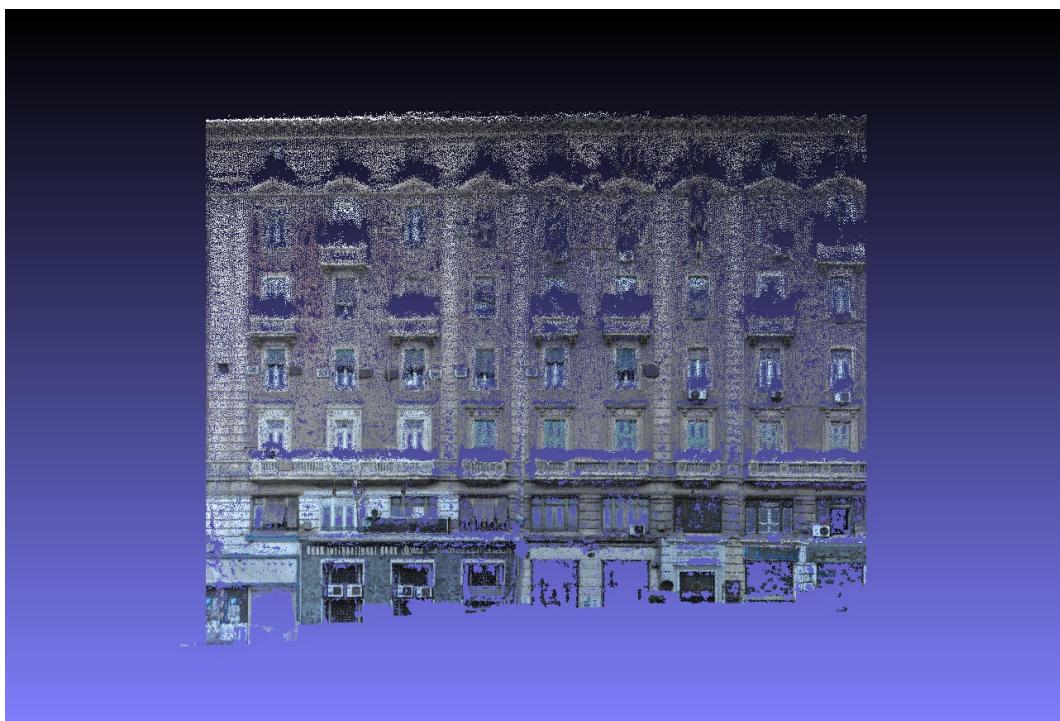


Figure 24 : Vue du nuage de points 3D de la façade. Plusieurs zones non restituées à cause du relief.

IV – TRANSFERT DE COMPÉTENCES

Dans le cadre de ce stage, j'ai été amené à collaborer avec des professionnels du CEAlex de différents milieux.

1 - Redressement de la mosaïque nilotique de Shallalat :

André Pelle, photographe au CNRS rattaché au CEAlex, m'a sollicité sur le relevé d'une mosaïque déposée au centre de dépôt de fouilles de Shallalat. La mosaïque de dimensions 3.88 m * 3.92 m devait faire l'objet d'un relevé photographique. Compte tenu des dimensions importantes et de l'endroit où elle était déposée, obtenir une photographie avec toute l'emprise de la mosaïque semble contraignant. Ici, la solution par photogrammétrie semble être appropriée et accessible.

Nous pouvons qualifier le résultat de l'ortho-image selon ces quelques critères :

- la résolution spatiale est de 1 mm
- l'emprise de la mosaïque est restituée
- aucun problème de cisaillement ou de mosaïquage
- la qualité radiométrique est correcte
- le résidu moyen sur les points de liaison est dans la tolérance : 0.3 pixel



Figure 25 : Ortho-image de la mosaïque nilotique de Shallalat.

2 - Modèle 3D d'un sondage de fouille archéologique :

Valérie Pichot, archéologue au CNRS rattachée au CEAlex, mène une fouille sur le site d'Akademia au sud-ouest d'Alexandrie près du lac Mariout. Elle m'a proposé de procéder au relevé du sondage du kôm principal et d'en produire un modèle 3D complet.

Sur le terrain, la prise de vue a présenté quelques difficultés. Le changement de luminosité sur chaque stratigraphie ainsi que des mouvements d'ombres sur les images. La prise de vue se décompose en 2 jeux d'images : une prise de vue avec une courte focale pour l'orientation globale du chantier, puis des sites de corrélation (1 image maîtresse et 4 images filles) avec une focale plus longue pour recouvrir la totalité de la surface du sondage. Finalement, le chantier aura nécessité 160 images dont 10 images pour l'auto-calibration. Lors du traitement, le raccord des nuages de points de la stratigraphie droite par rapport au reste du chantier n'a pas pu aboutir.



Figure 26 : Vue d'ensemble du nuage de points 3D



Figure 27 : Zoom sur une portion de l'unité stratigraphique gauche

V – PREMIÈRES SOLUTIONS AVANT LE SIG

À la fin du stage, une recherche autour des solutions SIG qui permettent la diffusion et la mise à disposition des documents produits a été ébauchée. La mise en valeur de ces documents, utiles à la préservation du patrimoine, passe préalablement par un processus de normalisation, d'archivage et d'accès à l'information.

Préalablement, le problème du géoréférencement des images a été évoqué. La solution qui a finalement été retenue est le géomarquage des photos. En effet, toutes les photos issues d'une prise de vue devront être géomarquées à l'aide d'un logiciel, comme Picasa. Il suffit de noter les coordonnées du centre d'un bâtiment pour ensuite les intégrer dans les métadonnées Exif des images.

Le CEAlex, en tant que groupe de travail, utilise un logiciel de gestion de base de données propriétaire, FileMaker Pro, ancré depuis plusieurs années dans le fonctionnement du centre. Dans ce sens, j'ai décidé, en coopération avec Cécile Shaalan, topographe CNRS rattachée au CEAlex, de créer une base de donnée qui regroupe toutes les informations jugées utiles de l'acquisition jusqu'aux résultats des traitements. Cette base de données représente un moyen simple de mettre à disposition de tous les utilisateurs du CEAlex, en un premier temps, des informations concernant les relevés effectuées ainsi qu'une visualisation des résultats des traitements dans un environnement ergonomique et intuitif.

La base de données contient deux tables. Premièrement, une table « Bâtiments » qui reprend la fiche des informations par bâtiment établie précédemment.

The screenshot shows the 'Bâtiments' table in FileMaker Pro. The interface is divided into several sections:

- Informations générales:** Includes fields for inventory number (1), usual name (Villa Cicurel), city (Alexandrie), quarter (Kafir Abdou), street number (404), street name (Abou Kir), land area (1637,472 m²), number of floors (2), coordinates (Latitude 31,2253 N, Longitude 29,9473 E), and construction date (1/1/1930).
- Informations architecturales:** Includes fields for architect (Léon Azéma et Jacques), function (Immeuble d'habitation), style (Art-déco), conservation status (correct), entrances (1), apartments per floor (Nb d'appartements par étage), inscription (aucune), and facade (sur la façade).
- Prises de Vue (PDV) réalisées:** A table showing one PDV entry: Facade 1, Bande 1, Non, 70, 45, fenêtres, Fiches.
- Plan Google Map:** An aerial map of the building's location.
- Résultats du traitement:** Includes a redressed image of the building and a comment field stating "aucune difficulté majeure".
- Ortho-image:** A corrected image of the building.
- Publication:** Includes a link to 'Archives' and a file named 'articles.rar'.

At the bottom, there are date fields: 'Date de création de la fiche' (24/09/2012) and 'Date de modification de la fiche' (25/09/2012).

Figure 28 : Vue de la table « Bâtiments ». Il est possible de visualiser les résultats des traitements dans une autre fenêtre.

Deuxièmement une table « prises de vue » qui contient les informations relatives à l'acquisition sur le terrain.

PRISES DE VUE		Bâtiment	Toutes les fiches	Nouvelle fiche
Num de fiche	1	Référence bâtiment	1	Sélection d'un bâtiment
Nom usuel du bâtiment Villa Cicurel				
Accès à la fiche du bâtiment				
Informations générales				
Opérateur	Mehdi Daakir			
Date	11/07/2012			
Photos	de DSC_0092.JPG à DSC_0132.JPG			
Objet à relever				
Façade relevée	Est			
Localisation	404, Abou Kir, Kafr Abdou, Alexandrie			
Nombre de bandes	1			
Conditions de PD	Luminosité	bonne		
	Recul	45 m		
	Masques	clôture, végétation		
	Relief	fenêtres, balcons, radiateurs		
Relevé avec des points d'appui	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non			
PDV spécifique				
Calibration	Oui			
Orientation globale	de DSC_0092.JPG à DSC_0132.JPG			
Site de corrélation	aucun			
Matériel utilisé				
Boîtier	Nikon D90			
ISO	200			
Focale	70 mm			
Objectif	Nikon 18-70 mm			
Diaphragme	f/10			
Temps de pause	1/220 s			
Date de création de la fiche	26/08/2012			
Date de modification	24/08/2012			

Figure 29 : Vue de la table « Prises de vue » qui reprend les information figurant sur la fiche terrain.

La base de données a été conçue de manière à ce qu'un maximum de champs possèdent des valeurs normalisées. L'utilisateur dispose d'une liste des bâtiments pré-enregistrés dans la base. Une façade peut faire l'objet de plusieurs relevés. Il est possible de visualiser les résultats des traitements (redressement ou ortho-image) dans le même environnement.

CONCLUSION

Ce stage de trois mois au sein du Centre d'Études Alexandrines m'a permis de prendre conscience d'un enjeu majeur, pas seulement spécifique à la ville d'Alexandrie, celui de la sauvegarde et de la mise en valeur du patrimoine mondial.

La continuité de ce travail est plus que jamais nécessaire afin de sauver une partie du patrimoine architectural de la ville d'Alexandrie qui, aujourd'hui, n'est pas soumis à une politique de préservation claire.

Dans ce contexte, la photogrammétrie arrive à se positionner comme une technique de relevé rapide et efficace. Toutefois, pour certains bâtiments remarquables, il faudra envisager des relevés en hauteurs afin de produire une documentation publiable.

Le travail que j'ai effectué durant cette période au CEAlex, ainsi que l'école d'été qui s'y est tenue, avaient aussi pour but d'introduire la photogrammétrie à des professionnels issus de milieux différents comme un processus simple et abordable.

Les domaines d'application de la photogrammétrie sont divers, en témoigne les différentes collaborations que j'ai réalisé tout au long de mon stage avec des : archéologues, photographes, architectes et topographes.

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

Architecture alexandrine :

DEWEERDT, Charlotte. Les formes de la propriété à Alexandrie à la fin du XIX siècle : éléments de méthode. Mémoire de Master 2 « Monde Arabe Musulman et Sémitique », 2008-2009, sous la direction de Ghislaine Alleaume, Bibliothèque de l'Université de Lettres d'Aix-en-Provence.

ILBERT, Robert, YANNAKAKIS, Ilios. *Alexandrie 1860-1960 un modèle éphémère de convivialité : communautés et identité cosmopolite*. Paris : Les éditions Autrement, 1992, 260 p.

LEGER, Laura. *La production architecturale cosmopolite à Alexandrie : le cas de l'immeuble de rapport*. Rapport de stage, CEALex, 102 p.

VOLAIT, Mercedes. *Architectes & Architecture de l'Egypte moderne : 1830-1950 genèse et essor d'une expertise locale*. Paris : Maisonneuve et Larose, 2005, 476 p.

Photogrammétrie architecturale :

IGN-Laboratoire MAP-GAMSA. Protocole pour les façades, TAPEnADe, en ligne, France, visité le 14 juin 2012, www.tapenade.gamsau.archi.fr

The ICOMOS & ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage. CIPA Heritage Documentation : Best practices and applications, en ligne, Grèce: Efstratios Stylianidis, Petros Patias, Mario Santana Quintero, Published by CIPA, Series 1, 2007 & 2009, 105 p, <http://cipa.icomos.org/>

ENSG-DIAS. *Photogrammétrie rapprochée pour l'architecture*, cours en version numérique, août 2011, 92 p.

L. Chandelier, B. Chazaly, Y. Egels, E. Laroze, D. Schelstraete. *Numérisation 3D et déroulé photographique des 134 colonnes de la Grande Salle Hypostyle de Karnak*. Revue XYZ, N° 120, troisième trimestre, 2009, 33-39 p.

ANNEXES

Théorème de Chasles-Steiner¹⁰:

« Une homographie entre deux faisceaux de droites définit une conique et réciproquement ».

Une "homographie entre faisceaux de droites" est définie par dualité à partir de l'homographie entre deux droites. En notant A^* et B^* les deux faisceaux passant par A et B, une application h transformant une droite d de A^* en une droite $d'=h(d)$ de B^* . Le théorème dit alors que le lieu de l'intersection de d et $h(d)$ est une conique si et seulement si h est une homographie.

Soit O le centre de l'homographie $A^* \rightarrow B^*$. La conique est alors tangente en A à OA et en B à OB.

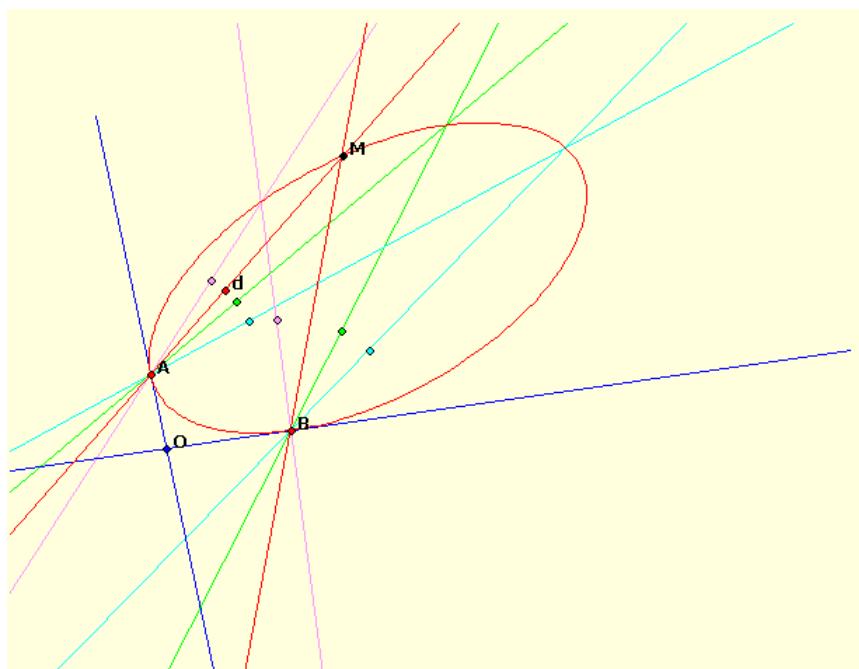


Figure 30 : Illustration graphique du théorème Chasles-Steiner

¹⁰ La source de l'énoncé du théorème provient du site : mathafou.free.fr/themes/conique5/

Guide d'installation de la suite PASTIS-APERO-MICMAC :

La suite fonctionne sous les trois principaux systèmes d'exploitation existants, à savoir : Windows, MAC OS et Linux. Toutefois, la suite est largement utilisée sous le système d'exploitation Linux et ce guide ne concerne que cette configuration.

Après l'installation d'une distribution du système d'exploitation Linux, par exemple la distribution UBUNTU¹¹, les commandes ci-dessous, à taper dans un terminal, sont nécessaires pour le bon fonctionnement de la chaîne de traitement.

- ❖ Mise à jour des packages et librairies des dépôts :
 - *apt-get update*
 - *apt-get upgrade*
- ❖ Installation de quelques fichiers sources nécessaires pour la compilation de la suite :
 - *apt-get install x11proto-core-dev libx11-dev*
- ❖ Installation du logiciel ImageMagick pour la gestion des images au format .JPG :
 - *apt-get install imagemagick*
- ❖ Installation du système de contrôle de version :
 - *apt-get install subversion*
- ❖ Téléchargement des sources de la suite :
 - *svn co <http://www.micmac.ign.fr/svn/micmac/trunk> <dossier de destination>*
 - *svn co http://www.micmac.ign.fr/svn/micmac_data/trunk <dossier de destination>*
- ❖ Compiler les sources téléchargées. Si le dossier de destination se trouve dans home :
 - *cd /home/dossier_destination*
 - *make clear*
 - *make install*

¹¹ UBUNTU est un système d'exploitation libre et gratuit téléchargeable via le lien : www.ubuntu.fr

Plans de localisation :

La villa Cicurel :

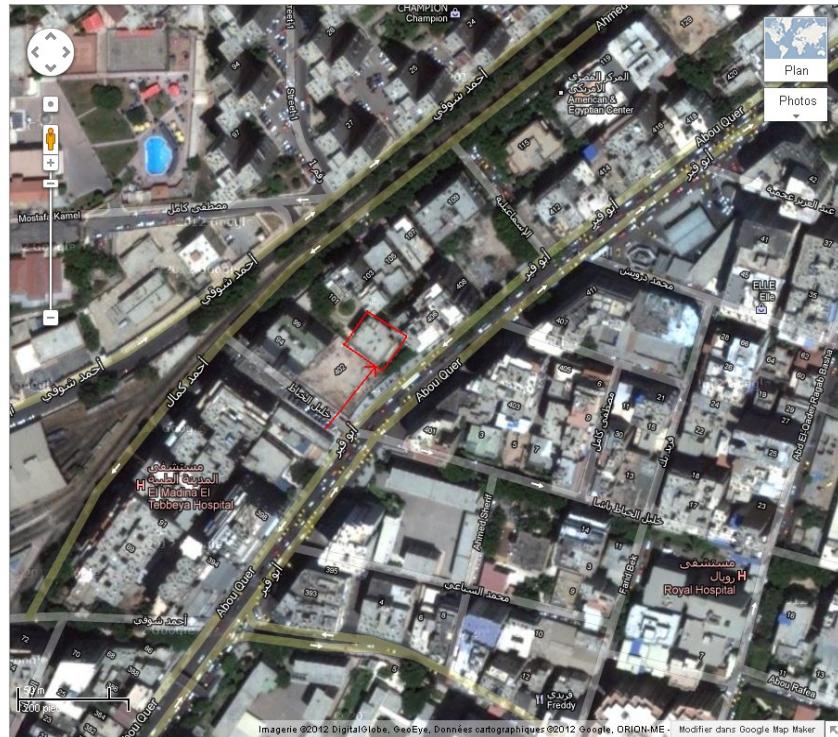


Figure 31 : Plan de situation de la villa Cicurel

Le bâtiment V. Erlanger :

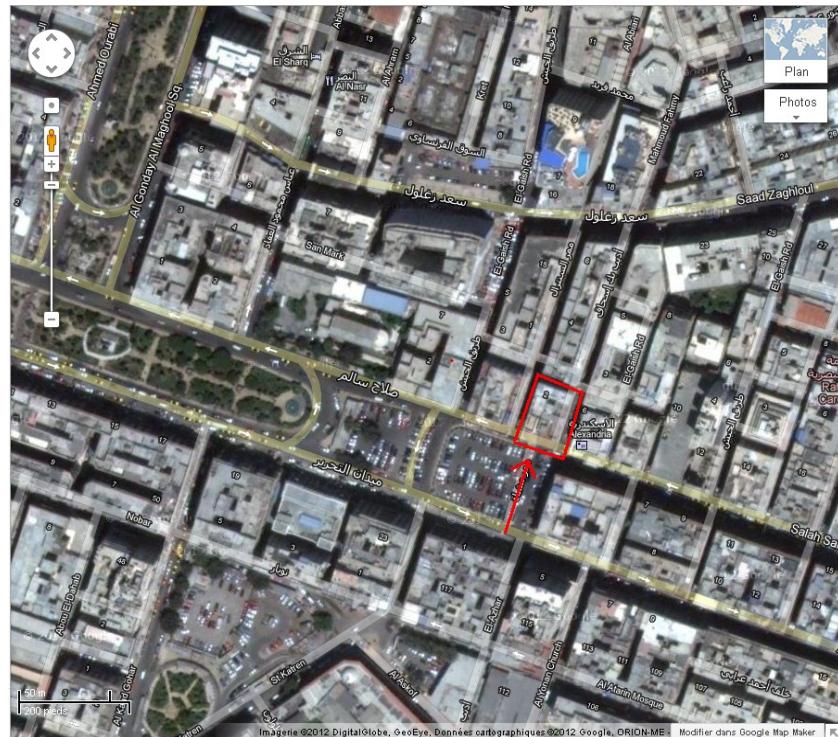


Figure 32 : Plan de situation du bâtiment V. Erlanger