

PROCESSUS ET CREATION DE NUAGES DE POINTS PAR CORRELATION D'IMAGES

PFE présenté par : **Hugo Rose**
Société d'accueil : *Art Graphique et Patrimoine*
Directeur de PFE : *Gaël Hamon*
Correcteurs : *Pierre Grussenmeyer*
Emmanuel Alby



1. Introduction

Depuis quelques années, de nombreux progrès concernant la photographie numérique et la puissance de calcul des ordinateurs croissante ont permis de grandes avancées dans les domaines de la vision par ordinateur et de la photogrammétrie. Plusieurs solutions sous forme de logiciels libres ont vu le jour. Dans une période où la lasergrammétrie semblait dorénavant s'imposer dans la plupart des opérations de relevé architectural, la photogrammétrie se trouve soudainement revalorisée aux yeux des professionnels.

Ce projet de fin d'études a été réalisé au sein de la société **Art Graphique et Patrimoine** (AGP) située en région parisienne. AGP s'inscrit dans plusieurs programmes de recherche et de valorisation du patrimoine. Ce projet de fin d'études a été proposé dans le but de tester, analyser et exploiter les nouvelles techniques photogrammétriques de modélisation automatique de scène. Deux logiciels ont été retenus pour ce projet puisqu'ils s'inscrivent dans des projets de recherche auxquels AGP participe activement.

Les objectifs de ce PFE sont les suivants :

- établir si la méthode se justifie au cas par cas et dans quelles conditions,
- caractériser l'influence sur les résultats de différents paramètres autant intrinsèques (relatifs à l'appareil photo) qu'extrinsèques (liés à l'environnement) et ainsi optimiser la phase d'acquisition,
- produire une documentation pour le suivi de l'acquisition et du traitement,
- répondre au problème de l'orientation absolue,
- intégrer les résultats à la chaîne de traitement d'AGP.

Ces techniques photogrammétriques ont été testées sur des projets concrets de modélisation. Des modèles de statues, de façades ou d'objets de petite taille ont été modélisés afin de valider la méthode. Une chaîne d'opérations permettant l'intégration et la valorisation de la méthode dans un contexte de production a aussi été mise en place.

2. Les outils mis en place

Les nombreuses innovations dans les domaines de la vision par ordinateur combinées aux nouvelles avancées photogrammétriques ont permis la mise en place de la modélisation automatique de scène à partir de photographies. Pour cela, trois défis majeurs ont été résolus :

- Tout d'abord, il a fallu solutionner le problème de la détection automatique des points de liaison entre des images se recouvrant partiellement ;
- Le second défi était de résoudre l'orientation automatique d'un groupe d'images les unes par rapport aux autres en utilisant uniquement les points de jonction (détecteurs de Harris, le Scale Invariant Feature Transform) ;
- Enfin, la dernière étape consistait à générer un nuage de points dense en se basant sur les algorithmes de corrélation automatique. Ces dix dernières années, plusieurs algorithmes sont apparus.

Deux solutions logicielles ont été retenues pour ce projet. Elles utilisent les dernières techniques de corrélation épipolaire dense (CED). La première se base sur la technique dite « *patch-based* » et la seconde sur les « *cartes de profondeur* ». Les grandes étapes de ces deux outils sont illustrées par la figure 1.

Ces deux outils ont été évalués afin de vérifier s'ils répondaient aux besoins d'utilisation par des professionnels de la conservation du patrimoine.

L'étude de l'influence des paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra permet d'identifier certaines sources d'erreurs :

- En effet, il faut veiller à soigner la phase de calibration de la caméra car elle influe directement sur la qualité du nuage de points. Or suivant le logiciel utilisé, les modèles de calibration sont plus ou moins perfectionnés.
- Le rapport base sur éloignement est également un paramètre non négligeable et il doit être de 5 à 30% afin d'éviter au maximum les parties cachées et les déformations liées à la perspective.
- Un réglage adapté de la sensibilité ISO permet de limiter le bruit des nuages.
- Des tests ont également été faits sur différents matériaux (bronze, pierre, dorure, vitraux, marbre, bois...) et aussi sur différents types d'appareils photo (Nikon D300 - 12 millions de pixels ; Nikon D3X - 24 millions de pixels ; PhaseOne P40+ - 40 millions de pixels).

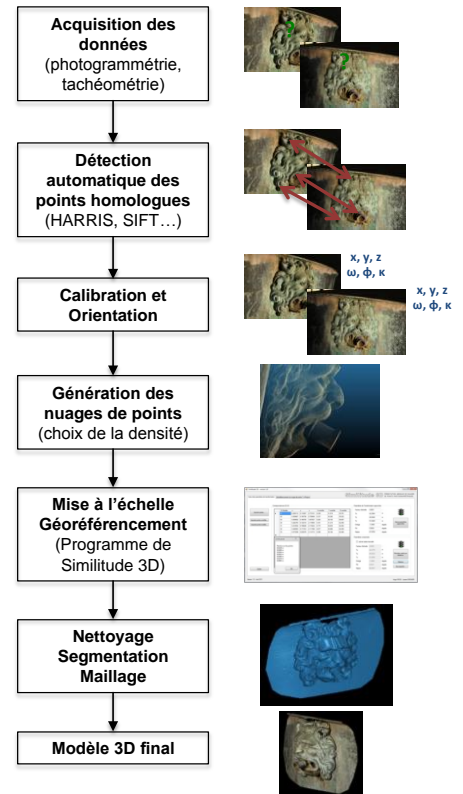


Figure 1 – Etapes de la méthode photogrammétrique

L'un des inconvénients de ces deux méthodes photogrammétriques est que les nuages de points générés ne sont ni à l'échelle, ni orientés, ce qui les rend inexploitable par l'entreprise AGP. Dans le but de répondre à cette problématique, nous avons donc développé un programme de mise à l'échelle et de géoréférencement tout en conservant la donnée colorimétrique de chacun des points.

3. Mise en place de stratégies de relevé

Suivant le projet, la phase d'acquisition doit-être précédée de la mise en place rigoureuse d'une stratégie de relevé qui s'appuie sur l'observation de la morphologie de l'objet ou de la scène à modéliser. Un travail de classification et de décomposition doit être fait avant de passer à l'acquisition des données. De plus, selon le cahier des charges imposé, l'acquisition devra tenir compte des exigences de rendu au client. En effet, le mode de prise de vues pour réaliser l'orientation relative ne pourra pas être le même entre une façade à relever (mode parallèle à privilégier) et une statue à modéliser (mode convergent). Le tableau 1 synthétise la procédure à suivre selon la nature du projet à réaliser.

Type d'objet / scène	Mode de prise de vues	Mise à l'échelle / géoréférencement
<u>Petite taille</u> ($x < 50$ cm) <i>objet archéologique</i>	Convergent (avec trépied)	Cote (avec un pied à coulisse \pm 0,02 mm)
<u>Taille moyenne</u> ($50\text{cm} < x < 2\text{m}$) <i>statue, fresque, chapiteau</i>	Convergent Parallèle (avec ou sans trépied)	Tachéomètre Cote
<u>Grande taille</u> ($> 2\text{m}$) <i>édifice, façade</i>	Convergent Parallèle Divergent (avec ou sans trépied)	Tachéomètre Ruban

Tableau 1 – Synthèse de la technique photogrammétrique

4. Les objets d'études

Nous avons appliqué ces méthodes à des travaux de grande échelle. Deux missions nous ont permis d'appliquer la photogrammétrie sur des relevés de façade :

- Une première s'est déroulée au château de Theizé à proximité de Villefranche-sur-Saône où la quasi-totalité du pourtour du château a été modélisé ;
- Une seconde concerne l'Institut de France à Paris.

La souplesse des méthodes photogrammétriques fait qu'il est possible de densifier uniquement certaines zones d'un même projet. Il suffit simplement de photographier les éléments à densifier et de les intégrer dans un projet global. La figure 2 montre des façades comportant peu de détails apparents, une résolution faible suffit pour pouvoir ensuite créer des plans au 1/50^e. Sur le projet de l'Institut de France nous avons densifié des chapiteaux dans le but d'avoir une résolution maximale permettant de les représenter le plus fidèlement.

Chacun de ces projets a été mis à l'échelle et géoréférencé grâce à l'interface *Similitude3D* développé lors de ce projet de fin d'études.



Figure 2– Assemblage des nuages de points du château de Theizé (gauche) – Nuages de points de l'Institut de France (droite)

Afin de quantifier la qualité des nuages de points fournis par photogrammétrie et valider la méthodologie mise en place, nous avons comparé nos résultats avec un nuage de points réalisé par un scanner laser sur l'Institut de France (90% des écarts < 1 cm). La résolution pour ces types de relevé varie entre 3 à 5 mm et la tolérance après recalage global des nuages de points est de l'ordre du centimètre, ce qui est satisfaisant pour réaliser des plans au 1/50^e.

La photogrammétrie s'impose également lorsque l'accès aux objets à modéliser n'est pas favorable à une acquisition par scanner. Suivant les cahiers des charges de certaines missions, il n'est pas permis d'utiliser des trépieds, rendant l'utilisation des scanners impossible. C'est dans ce contexte que nous avons modélisé des chapiteaux et des sculptures du cloître Saint Trophime de l'ancienne cathédrale d'Arles, mais également un modèle de statue d'Hercule dans le jardin du château de Versailles. Ces travaux sont illustrés dans la figure 3.



Figure 3– Nuage de points d'un chapiteau du cloître de Saint Trophime (gauche) – Nuage de points de la statue d'Hercule (milieu) – Modèle maillé de la statue d'Hercule (droite)



Nous nous sommes également penchés sur la modélisation d'objets de petite taille (<10cm). Nous avons réalisé une étude de précision sur une reconstitution miniature du chapiteau *Les quatre vents* de VEZELAY dont la largeur ne dépasse pas les 6,5 centimètres. Pour cela une comparaison a été faite avec une autre technique d'acquisition, le bras FARO.

Figure 4 – Nuage de points d'un modèle réduit du chapiteau *Les quatre Vents* de VEZELAY

5. La Photogrammétrie face à la Lasergrammétrie

Afin d'orienter le choix de la technique à privilégier, nous avons confronté la photogrammétrie à d'autres techniques utilisables par la société AGP dans le cadre d'une mission type.

En photogrammétrie, l'acquisition des données est très souple et s'adapte à n'importe quel type de chantier du fait de l'encombrement réduit et à la portabilité d'un appareil photo. Par contre, l'opérateur doit suivre rigoureusement une certaine procédure quant aux prises de vues.

Ce que l'on remarque, c'est que les techniques utilisées tendent à être de plus en plus simplifiées afin d'être exploitables par des personnes n'ayant pas forcément des connaissances accrues en photogrammétrie. Toutefois, bien que le degré d'automatisation des techniques photogrammétriques soit relativement important à ce jour, il est indispensable de consacrer un temps important au post-traitement avant d'obtenir un nuage de points dense. Pour le moment, la photogrammétrie reste dépendante de la topographie puisqu'elle est nécessaire au géoréférencement des nuages de points et pour contrôler la précision finale. Le coût d'investissement reste cependant bien inférieur par rapport au scanner laser.

Les dernières évolutions dans le domaine du scanner laser terrestre ont permis, non seulement de réduire considérablement les temps d'acquisition, mais aussi de simplifier cette phase. Par exemple, pour le scanner laser FARO FOCUS 3D, le temps d'acquisition pour un scan est de moins de 10 minutes pour une résolution de 3 millimètres à 10 mètres. De plus, il n'est plus nécessaire d'utiliser un ordinateur pour piloter le scanner et le modèle est directement exploitable avec le logiciel d'exploitation du constructeur. En lasergrammétrie, la topographie n'est pas un outil indispensable puisque les données sont directement à l'échelle, mais elle est nécessaire en cas de géoréférencement des scans. Le défaut majeur reste le prix d'un tel équipement.

6. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer une marche à suivre concernant l'acquisition des données et des traitements à effectuer pour obtenir des nuages de points denses grâce aux dernières techniques photogrammétriques. Une étude approfondie sur plusieurs chantiers types (relevés de façade, de statue, de petits objets) offre ainsi une aide à la décision et justifie la faisabilité de projets par photogrammétrie.

Les dernières innovations concernant les algorithmes de corrélation d'images permettent dorénavant de combiner simultanément plusieurs photographies (plus de deux) dans le but d'améliorer la contrainte géométrique pour obtenir un nuage de points le plus fidèle possible à la réalité. Les prises de vues peuvent être effectuées sans connaissances photogrammétriques particulières, quelques recommandations suffisent.

La photogrammétrie n'a pas pour objectif de se substituer à la lasergrammétrie. En revanche, elle peut être perçue comme un moyen de complément efficace. Pour de nombreux projets, l'emploi d'une approche multi-technique est une solution optimale pour optimiser à la fois le temps et la qualité du travail.

Pour le moment, le temps imparti au post-traitement demeure important par rapport à la phase d'acquisition des données, mais l'arrivée des technologies type GPUs (calcul déportés sur les cartes graphiques des ordinateurs) devrait considérablement réduire les temps de calcul.