

Mise en œuvre de méthodes photogrammétriques appliquées aux ouvrages d'art de la SNCF

Société d'accueil : SNCF
PFE présenté par : **Jean-Dominique FINA**
Directeur du PFE : Guy SAUVAGE
Correcteurs : Pierre GRUSSENMEYER
Emmanuel ALBY



1. Introduction

La Division des Ouvrages d'Art utilise majoritairement l'inspection visuelle pour la surveillance des ouvrages SNCF. Ceci implique que les désordres ne sont pas toujours localisés précisément sur des représentations graphiques. Les méthodes topographiques ne sont appliquées que pour les suivis de chantier et d'auscultation; et leurs utilisations ne sont pas adaptées pour la représentation des désordres. L'utilisation de la photogrammétrie terrestre pourrait apporter une nouvelle vision dans le domaine de la topographie ferroviaire. La visualisation et la représentation des désordres des Ouvrages d'Art par modélisation 3D permettrait d'améliorer le suivi, l'entretien et l'archivage. C'est ainsi que les Divisions de Topographie (IG-LG-ATT) et d'Ouvrages d'Art (IG-OA-EXT) cherchent à développer le domaine de la photogrammétrie, pour étudier les différentes applications et techniques dans le but de mieux contrôler et surveiller leurs ouvrages.

2. Objectifs

Les divers objectifs à atteindre, listés dès les premiers mois, concernent la comparaison des différents modes de calibration (polygone d'étalonnage et grille de PhotoModeler), l'étude des méthodes et moyens de prises de vues, ainsi que celle des différents outils de traitements (dont l'utilisation de cibles codées et de la méthode « Dense Matching » ou « Dense Surface Modeling » de PhotoModeler Scanner pour la création de nuages de points à partir de couples stéréoscopiques). Ces méthodes ont été utilisées pour détecter et représenter les avaries à travers la réalisation de modèles 3D d'ouvrages d'art (un mur de soutènement et un viaduc).

Une analyse des différents résultats obtenus, une étude de précision et la comparaison de ces techniques avec celles utilisées par la SNCF concluraient sur l'adaptabilité de la photogrammétrie terrestre aux ouvrages d'art.

3. Etat de l'Art

La géométrie et la position des ouvrages sont susceptibles d'évoluer sous l'action de certains phénomènes pouvant être irréversibles (variations de phénomènes naturels, tassements...). La surveillance et les opérations de maintenance sont nécessaires pour assurer le maintien des ouvrages d'art en maçonnerie. Elles permettent de prévenir toute dégradation dans le temps et d'assurer la sécurité des personnes et des transports. Les inspections détaillées, réalisées par les membres de la Division IG-OA-EXT, ont pour but de relever toutes les déficiences des structures. L'inspection visuelle, première des méthodes, est la plus simple et permet d'estimer le degré de détérioration et les causes majeures de dégradations. Un travail d'auscultation, sur un ouvrage présentant des défauts, peut être engagé en réalisant un examen approfondi qui consiste à établir un diagnostic en utilisant notamment des capteurs ou sondages carottés. Certains ouvrages à risques sont surveillés par

méthodes topographiques : réalisation d'un plan topographique, coupes et profils de l'ouvrage; mais aussi le calcul de déplacements longitudinaux et transversaux.

4. Photogrammétrie

La photogrammétrie est la technique permettant de déterminer et de représenter des objets à partir d'images numériques ou argentiques. Les avantages de la photogrammétrie sont nombreux; elle est notamment très utile dans les endroits inaccessibles ou difficiles d'accès. Dans notre cas, nous nous intéressons seulement à la photogrammétrie terrestre. Trois étapes préliminaires sont nécessaires à la mise en œuvre de cette technique:

- calibration de la caméra : détermination de la focale et correction des distorsions.
- réalisation de photos.
- orientation des clichés, création du modèle 3D et analyse des résidus.

Au cours de cette étude, un appareil photographique Nikon D80 a été utilisé. Le logiciel de photogrammétrie terrestre utilisé est PhotoModeler 6 en version basic. Cependant, des applications seront faites avec les options de PhotoModeler Scanner. Cette version permet la reconnaissance de cibles et l'utilisation de l'outil « Dense Matching » ou « Dense Surface Modeling ».

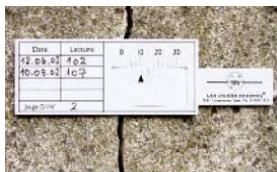


Figure 1 et Figure 2 : Fissuromètre (Jauge Saugnac) et appareil photo Nikon D80.

5. Méthodologie en photogrammétrie terrestre

Une méthodologie rigoureuse est à suivre afin de pouvoir réaliser un projet de photogrammétrie terrestre. La calibration permet de définir les caractéristiques intrinsèques de l'appareil photographique et de l'objectif. Elle peut être réalisée à partir :

- de la mire de PhotoModeler, de format A0 et composée de 96 points codés et de 4 cibles circulaires en codage code-barre permettant l'orientation des photos.
- du polygone d'étalonnage : objet connu dans les 3 dimensions, composé d'un ensemble de cibles codées disposées dans différents plans de façon régulière, et connues dans un système de coordonnées.

Des mesures topographiques permettent de mettre à l'échelle le modèle 3D. De plus, certaines règles de prises de vues doivent être respectées sur le terrain pour un bon rendu photogramétrique. Ainsi, on privilégie les photos convergentes pour l'orientation des clichés et celles prises de face pour la texture de l'objet.

L'outil « Dense Surface Modeling » de PhotoModeler Scanner nécessite un projet pré orienté et un couple de photos stéréoscopiques. Cet outil permet également de choisir des couples de photos en fonction du rapport base/éloignement (distance entre les deux prises de vues / distance d'éloignement) et de l'angle entre les 2 prises de vues.

6. Applications

Différentes expérimentations ont été effectuées à travers deux types d'ouvrages : un mur de soutènement (Mur de la Couronne : Martigues 13) et un viaduc (Viaduc de Saint-Ouen : 93). Ces derniers ont été modélisés à partir de plusieurs techniques de levé, en utilisant les objectifs de 20 et 70mm et les logiciels PhotoModeler classique et PhotoModeler Scanner.

Mur de la Couronne :

- 50 m de levé Objectif 20 mm → PhotoModeler Classique.
- 20 m de levé Objectif 20 mm → PhotoModeler Scanner.
- Zones à risques Objectif 20 mm → PhotoModeler Classique.
- Objectif 70 mm → PhotoModeler Scanner.



Figure 3 et Figure 4 : Modèle 3D de l'ouvrage et scan d'une zone à risques.

Parallèlement à cela des profils ont été réalisés en vue de les comparer avec ceux obtenus par méthode topographique (profils topographiques et laser scanner ELISE).

Viaduc de Saint-Ouen :

- Viaduc saint Ouen → scan sur 3 travées.
- Portion de mur → orientation automatique avec cibles codées.
- Fissures → cibles codées et couple stéréo.



Figure 5 et Figure 6 : Scan de l'ouvrage et vue 3D d'une fissure.

7. Analyse des résultats

La calibration :

Les résultats obtenus pour chaque méthode de calibration ont été comparés à l'aide de différentes méthodes. Pour cela, la grille de calibration de PhotoModeler (le module de calibration et l'outil « full field calibration ») et le polygone d'étalonnage de la SNCF (avec le logiciel Etalonnage de l'IGN) ont été utilisés. Ces comparaisons ont été réalisées avec le même objectif de 20 mm, utilisés avec des réglages identiques.

Il faut noter que l'impact d'une erreur sur la focale peut avoir des répercussions sur le modèle 3D créé sous PhotoModeler. Les focales obtenues à travers le polygone d'étalonnage et la grille plane de PhotoModeler sont différentes. Cet écart est essentiellement dû au fait que le polygone d'étalonnage 3D est plus proche de la réalité que la mire de PhotoModeler (grille plane). Il convient donc mieux pour la modélisation d'objets de grande taille.

Travaux Photogrammétriques

Les résultats sont analysés au travers de 3 axes principaux:

- Le modèle sans échelle réalisé sous PhotoModeler, calculé en coordonnées pixels. L'analyse se fait au travers des résidus en pixels sur chaque point.
- La mise à l'échelle par 3 points d'appui.
- La mise à l'échelle par un réseau de points d'appui. Dans notre cas, nous utilisons une similitude 3D par réseau de points d'appui à travers le logiciel TopoThésia.

Mur de La Couronne :

Les résultats obtenus, sans mise à l'échelle, sont inférieurs à 4 pixels, seuil limite fixé permettant d'obtenir un modèle géométrique correct pour les projets réalisés sous PhotoModeler classique. Pour les scans des zones à risques obtenus sous PhotoModeler Scanner, l'utilisation du 70 mm permet d'obtenir un semis plus dense et une texture plus appropriée. Cependant pour l'orientation manuelle et une mise à l'échelle du modèle, les points d'appui doivent être rapprochés et être présents en grand nombre. La qualité des clichés pose aussi problème pour la création de nuages de points (Mur de La Couronne par scan).

Les résultats d'analyses de mise à l'échelle nous permettent de constater que les écarts 3D les plus importants concernent les points mesurés sur les barbacanes. Ceux-ci ne sont pas aussi bien matérialisés que les cibles réfléchissantes et sont déterminés avec une précision moindre. Il est donc

primordial d'utiliser des points bien définis, répartis de façon homogène sur l'ouvrage et n'appartenant pas à un même plan. C'est pourquoi, la mise à l'échelle par réseau de points est à privilégier.

La comparaison Topo/Photo/ELISE à travers les profils permet d'affirmer qu'au regard des précisions attendues par les résultats obtenus, le système ELISE et la photogrammétrie nous donnent des résultats satisfaisants (de l'ordre de 4 à 5 cm), pour des profils moyens ne représentant que le relief caractéristique.

La photogrammétrie présente toutefois l'avantage d'avoir une visualisation directe de l'ouvrage et de ses désordres (modèle 3D, orthophotos, plans AutoCAD des avaries).

Viaduc de Saint-Ouen

Les scans créés avec un pas de 3 cm à partir d'un objectif de 20 mm, et la surface générée, donnent un aperçu de l'ouvrage. Le scan peut présenter du bruit et la surface quelques trous. Ceux-ci sont dus aux paramètres des nuages, à l'orientation manuelle (seuil de 1 à 2 pixels difficilement atteint), au nombre et à la répartition des points. Le rapport B/H (Base/ Eloignement) doit être proche de $1/10^\circ$ et les photos doivent être prises dans de bonnes conditions.

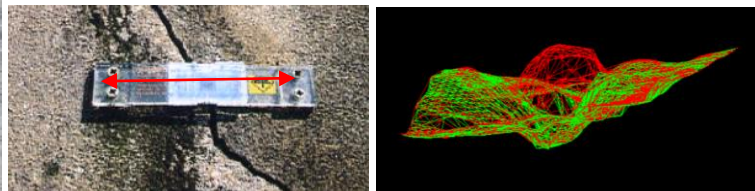
L'utilisation de cibles codées permet de créer un modèle avec une bonne orientation (inférieure à 1 pixel). Cependant, les cibles utilisées doivent être correctement réparties sur l'ensemble de l'ouvrage. Cette technique est difficile à mettre en œuvre pour les viaducs (absences de cibles sous les travées) mais plus facilement réalisable pour les murs de soutènement ou pour les petits projets comme la modélisation de fissures.

En ce qui concerne la mise à l'échelle, l'utilisation d'un réseau de points d'appui, répartis de façon homogène sur l'ensemble du viaduc, reste préférable par rapport à la méthode par 3 points d'appui, car elle donne une précision de l'ordre de 2 à 3 cm sur un ouvrage de 40m.

Les modélisations de fissures, réalisées au travers d'un objectif de 70mm, sont utiles pour la représentation de pathologies dans son ensemble. L'ouverture et le déplacement d'une fissure apporterait une information complémentaire au service de l'Ingénierie. L'ouverture de la fissure peut être déterminée au travers du pas de scan généré sous PhotoModeler Scanner, nécessitant un pas très faible et peu adapté au vu des petites dimensions de ces avaries. La quantification du déplacement peut se faire à l'aide d'une distance entre deux cibles, situées de part et d'autre de la fissure, donnant une distance spatiale et équivalent à la pose de deux fissuromètres (pour des écarts longitudinaux et transversaux), ou par soustraction de MNT réalisée sous TopoThésia (logiciel de Topographie). Les outils de création de nuages de points « Dense Surface Modeling » et de détermination de volume de PhotoModeler Scanner ont été validés à travers la modélisation d'une surface connue précisément.



Figure 7, Figure 8 et Figure 9 : Mesure de déplacement sur un modèle 3D d'une fissure et sur un fissuromètre, et la visualisation de la différence de MNT sous AutoCAD.



8. Conclusion générale

Ainsi, la photogrammétrie a permis de créer des modèles centimétriques répondant aux objectifs. Les plans 2D exploités sous AutoCAD et les modèles 3D ont représenté l'ouvrage dans son ensemble et localisé précisément les avaries.

La mise en œuvre, le temps de traitement et d'analyse des données sont assez longs et ne répondent pas aux attentes de la Division pour la modélisation et la représentation des avaries d'un ouvrage d'art. Le projet de modélisation de fissures (rapide en temps de modélisation, d'analyse et de mise en œuvre) reste néanmoins une piste envisageable pour la Division Expertise des Travaux, en complément du fissuromètre, puisqu'il permet de représenter et de suivre l'évolution de l'avarie dans le temps à travers un résultat visuel et une quantification.