

COMPARAISONS DE TROIS SYSTEMES DE MESURES TACHEOMETRIE / LASERGRAMMETRIE / PHOTOGRAMMETRIE

ADAPTATION POTENTIELLE DE CES METHODES AU SEIN DE LA DIVISION DE TOPOGRAPHIE SNCF

Société d'accueil :	SNCF
PFE présenté par :	Jérôme BAERT
Directeur du PFE :	S. MESURE
Correcteurs :	P. GRUSSENMEYER T.LANDES

1 Introduction

Dans le cadre de la mission de veille technologique et afin d'améliorer les auscultations d'ouvrages, la Division de topographie s'est intéressée à deux techniques particulières : la lasergrammétrie et la photogrammétrie. Les méthodes actuelles de lever (Nivellements, Tachéométries...) sont basées sur la mesure de pointes de contrôles équipant les zones sensibles des ouvrages. Les mesures sont alors ponctuelles et localisées, ce qui ne permet pas de connaître et de quantifier le mouvement global auquel est soumis l'ouvrage.

Le scanner permet d'obtenir un clone du chantier constitué de millions de points connus en coordonnées. La comparaison de deux levés successifs peut ainsi fournir la nature et la valeur des déplacements sur un intervalle de temps donné. La première approche de la lasergrammétrie a été effectuée courant 2006. Deux ouvrages en terre importants ont été étudiés. Ces ouvrages seront repris cette année afin de mesurer des déplacements et de les comparer aux mesures tachéométriques.

La photogrammétrie n'a jamais été testée au sein de la Division, or de nombreux chantiers s'y prêtent. Elle offrirait une solution de travail pratique et légère à mettre en œuvre sur le terrain. La Division a donc décidé de se doter d'une méthode de photogrammétrie complète et de la tester sur des cas concrets.

2 Objectifs

- Tester différents scanners lasers (*Leica HDS 3000* et *Trimble GX*)
- Etudier les logiciels de traitement en lasergrammétrie
- Etudier et analyser les déplacements enregistrés par la lasergrammétrie et les comparer aux données tachéométriques
- Valider le suivi des ouvrages en terre par lasergrammétrie
- Doter la Division d'une solution complète de photogrammétrie
- Tester la photogrammétrie en milieu ferroviaire
- Etudier et analyser la précision de chaque technique
- Déterminer les applications potentielles de chaque technique

3 Etat de l'art

La Division de Topographie de la SNCF est chargée du contrôle d'un très grand nombre d'ouvrages, dont plus de 200 ouvrages en terre. Les suivis altimétriques interviennent principalement sur des déblais et remblais. Un nivellement de type « *Cholesky* » est mis en place et les appareils utilisés sont des niveaux de précision (*Dini 12* ou *NA 3003*). Les résultats sont fournis au millimètre près. Les mesures planimétriques sont réalisées en tachéométrie (*TCA 2003* ou *Trimble 5601*). Les coordonnées des pointes de contrôles sont déterminées par la méthode des intersections spatiales et

sont précises à ± 3 mm. Si les ouvrages sont de taille importante et assujettis à des mouvements de quelques centimètres par an, le suivi peut s'effectuer par méthode GPS (*Leica System 300, 500 et 1200*). La précision atteinte est ± 1 cm en planimétrie et de 2 à 3 cm en altimétrie.

4 Lasergrammétrie et Photogrammétrie

La **lasergrammétrie** désigne en topographie l'ensemble des opérations de mesure et de traitement obtenu avec un scanner laser. Cet appareil permet de capturer de manière automatique un très grand nombre de points, qu'on appelle « nuage », connus en X, Y et Z. Cette nouvelle technique est en plein essor et de nombreux développements sont en cours, notamment pour améliorer le traitement des données. Ces instruments sont dits à mesure active puisqu'ils émettent leur propre rayon laser. Les points mesurés sont déterminés directement en coordonnées X, Y et Z par le biais d'une mesure de distance couplée à celle de miroirs oscillants.



Au cours de l'étude, nous avons utilisé les scanners lasers **Leica HDS 3000** et le **Trimble GX**. Ces deux instruments sont à mesure de distance par temps de vol. Le principe repose sur le calcul du temps de parcours de l'onde émise, c'est-à-dire le temps entre l'émission et la réception du signal laser. Différents critères permettent de définir la précision de ce type d'appareil, notamment la précision angulaire, la précision de mesure de distance, la résolution du spot laser, l'intervalle minimum angulaire. Les conditions environnementales ainsi que les caractéristiques des objets scannés (réflectivité) influencent également la précision des mesures.



Le traitement des données représente la plus grande partie du travail. La première étape consiste à regrouper nos nuages de points, c'est la consolidation. Elle s'effectue le plus souvent par le biais de cibles. Après obtention d'un unique nuage, nous devons éliminer les points parasites et les points faux. Cette étape s'appelle le filtrage. Pour une meilleure organisation du travail, nous pouvons sélectionner un groupe de points et lui désigner un calque (segmentation). L'insertion de coordonnées connues de cibles permet également un géoréférencement. Différents outils permettent alors de réaliser des mesures sur les points enregistrés : distances, surfaces, maillages, profils en long et en travers. La cartographie d'erreur est un outil qui permet de mesurer les écarts entre deux maillages et donc de quantifier les déplacements entre deux levés successifs.

Une première étude réalisée en 2006 précisait que les mouvements détectables étaient de l'ordre de 1 à 2 cm. Cependant, la Division n'a encore jamais effectué deux opérations de lasergrammétrie sur un même ouvrage. Une partie du travail de cette année portera sur les mêmes ouvrages que ceux étudiés en 2006. Cela permettra de valider ou non le suivi d'ouvrages en terre par lasergrammétrie.

La **photogrammétrie** est la science et la technique permettant de définir et d'étudier selon une précision donnée, les formes, les dimensions et la position dans l'espace d'un objet, dont l'une des finalités est de le restituer en trois dimensions. Cette technique se base essentiellement sur les mesures faites sur une ou plusieurs photographies.

Il existe différentes méthodes de travail, telles que la stéréophotogrammétrie ou la photogrammétrie multi-images. Cette dernière, basée sur la prise de clichés convergents, est pratique et souple et a donc été retenue.

Le logiciel de traitement doit être convivial et simple d'utilisation. Après étude, nous avons décidé de tester **PhotoModeler** édité par *Eos Systems*. Ce logiciel dispose d'un module de calibration et de nombreux outils guidant l'opérateur. Après orientation des clichés, nous pouvons restituer l'objet grâce à de nombreux outils : digitalisation de points, ligne, surface, création de modèle 3D texturés à partir des photographies. Le résultat final peut être exporté sous différents formats ce qui permet de poursuivre le travail avec d'autres outils plus spécialisés.

Le choix de l'appareil photographique est également important. L'appareil doit être doté d'un grand capteur et d'une optique de qualité. D'autres facteurs entrent également en jeu comme la résolution en pixel (très haute), la nature des objectifs (focales fixes de préférence), les distances focales utilisées (grand angulaire préconisé). La Division a donc acquis le **Nikon D80** muni d'un objectif à focale fixe de **20 mm**. La dimension du capteur est de 15.8 mm x 23.6 mm permettant une résolution de 2592 pixels x 3872 pixels, soit 10 méga pixels.

Quelquesoit le type d'appareil, il est nécessaire de corriger les distorsions optiques. Pour ce faire, nous devons le calibrer afin de déterminer les valeurs des distorsions radiales et tangentielles, ainsi que la distance principale de l'objectif.

5 Expérimentations

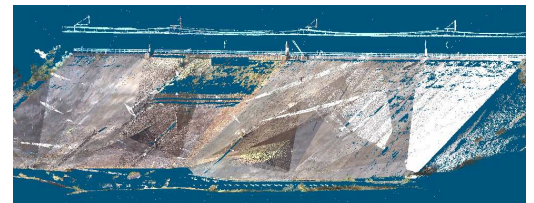
Différentes expérimentations ont été effectuées afin de déterminer la précision de chaque technique et d'établir une première étude de coût.

En lasergrammétrie, nous avons suivi deux ouvrages en terre. L'ouvrage de **St Denis Catus** a été levé avec le scanner laser Leica HDS 3000. Il s'agit d'un déblai ferroviaire de 400 m de long avec un mur de soutènement à sa base. L'importante végétation permettra de tester les capacités de l'instrument dans ce cadre particulier. Cet ouvrage a été ausculté au préalable par le même appareil en 2005 après un élagage complet. Le second ouvrage étudié est un remblai bétonné de 200 m de long et 30 m de hauteur, ausculté une première fois en 2006 : **les Malherbes**.

En photogrammétrie, quatre chantiers ont été étudiés. Différents essais ont été menés sur des éléments de voie, tels **des poteaux caténaux** dont le contrôle s'effectue actuellement par tachéométrie. Le contrôle par photogrammétrie représente différents avantages, en particulier le gain de temps. Nous avons donc déterminé une méthodologie de travail et l'avons confronté aux réalités du terrain. La mise à l'échelle des éléments s'est effectuée avec une mire. Nous avons également travaillé sur une paroi rocheuse de 240 m de long et 20 de haut (ouvrage de **St-Géréon**). Cette dernière présente de nombreux décrochements et concavités, ainsi que quelques murs de soutènement. Ce chantier fera l'objet d'un confortement dont l'étude est réalisée par le service de Géologie de la SNCF. La photogrammétrie peut représenter une aide non négligeable dans leurs travaux et ce chantier constitue donc un premier test. Nous avons établi un réseau de points d'appui à même la paroi afin de mettre notre modèle à l'échelle et l'orienter dans un système de coordonnées choisi. Les ouvrages de **St-Denis Catus** et des **Malherbes** ont également été restitués par le biais de la photogrammétrie.

6 Résultats

En lasergrammétrie, nous avons tout d'abord déterminé la précision de nos levés en analysant les consolidations de chaque chantier. La précision est centimétrique. Dans un second temps, nous avons quantifié les déplacements des pointes de contrôles et comparé ces résultats à ceux obtenus par tachéométrie.



Photographie de l'ouvrage et nuage de points

Afin d'analyser nos résultats, nous nous sommes fixés certains seuils. Nous considérons qu'une pointe s'est déplacée si nous mesurons un déplacement supérieur en valeur absolue à :

- 9 mm pour le *Leica HDS 3000*
- 17 mm pour le *Trimble GX*
- 5 mm pour les données issues d'un tachéomètre

Nous avons ensuite calculé les écarts entre les déplacements tachéométriques et lasergrammétriques. Si l'écart est supérieur à 4 cm, la mesure sera dite « hors tolérance ». Cependant, cette valeur est importante et nous avons donc défini un seuil à partir duquel la mesure est dite « à risque ». Ce seuil est de 14 mm pour le *HDS 3000* et de 22 mm pour le *Trimble GX*.

Il apparaît que les déplacements mesurés par lasergrammétrie sont supérieurs à ceux mesurés par tachéométrie. Certains déplacements sont mêmes de sens contraire, mais cela s'explique par le fait que la tachéométrie est plus précise que la lasergrammétrie. Au niveau des écarts, 40 % des résultats sont dit « à risque » et aucune valeur n'est hors tolérance. La lasergrammétrie est dès lors idéale pour le suivi d'ouvrage en terre présentant des déplacements de 3 à 4 cm par an.

Nous nous sommes également intéressés à la cartographie d'erreur qui permet de tenir compte de l'intégralité des points capturés. Nous avons donc réalisé les maillages des nuages de points des levés successifs et puis superposé pour dresser la carte des écarts. Cela nous a permis de confirmer que les mouvements détectables représentatifs sont de l'ordre de 3 à 4 cm.

En **photogrammétrie**, les résultats obtenus pour le contrôle des poteaux caténaux ne sont pas satisfaisants. La précision centimétrique, la méthodologie sur le terrain ne permettent pas de concurrencer la technique actuelle de suivi. Pour les autres chantiers, nous avons réalisé un modèle que nous avons mis à l'échelle selon différentes techniques de manière indépendante : par trois points et par utilisation d'un réseau de points d'appui. La mise à l'échelle par trois points ne permet pas d'obtenir des modèles centimétriques à l'inverse de celle par points d'appui. Sur le chantier de St-Géréon, le semis de points et divers profils obtenus par photogrammétrie ont été comparés aux documents d'un géomètre. Cette comparaison confirme le modèle 3D dont la précision est ± 1 cm.



Modèle 3D

Des test préalables ont également été menés avec un appareil « compact », un « bridge » et un reflex numérique plus performant que le *Nikon D80*, l'*EOS5D* de *Canon*. Différents essais ont permis de valider les résultats obtenus avec le module de calibration de *PhotoModeler*.

7 Conclusions

La précision de la lasergrammétrie est centimétrique mais les déplacements détectables sont de l'ordre de 3 à 4 cm pour les ouvrages en terre. La cartographie d'erreur est plus prometteuse que l'étude ponctuelle. Le rendu est plus intéressant et lisible : carte des écarts, profils en long et en travers, calculs de cubatures. Les outils de traitement restent néanmoins opaques pour les utilisateurs novices et certains modules ne sont pas aisément paramétrables. Le coût d'investissement est également très important. La lasergrammétrie sera certainement une technique complète et performante dans les 5 ou 6 ans à venir.

La photogrammétrie n'est pas adaptée pour l'auscultation. Elle répond à un autre objectif. Elle permet de créer des modèles 3D dont la précision est centimétrique. Cela est suffisant pour certaines applications comme l'étude de confortement de paroi rocheuses ou la modélisation d'appareils de voie. La Division de Topographie SNCF dispose maintenant d'un système de photogrammétrie complet : Logiciel (*PhotoModeler*), Appareil photo (*Nikon D80*) et d'une méthodologie spécifique selon les applications.

Les techniques classiques restent préconisés pour les auscultations.