



Trimble VISION

Ken Joyce

Martin Koehler

Michael Vogel

Trimble Engineering and Construction Group
Westminster, Colorado, États-Unis

Avril 2012

Trimble Engineering & Construction Group, 5475 Kellenburger Road, Dayton, OH 45424-1099, USA

© 2012, Trimble Navigation Limited. Tous droits réservés. Trimble et le logo Globe & Triangle sont des marques de commerce de Trimble Navigation Limited, enregistrées aux États-Unis et dans d'autres pays. 4D Control et Trimble Survey Controller sont des marques déposées de Trimble Navigation Limited. Toutes les autres marques appartiennent à leurs propriétaires respectifs.

Résumé

La technologie Trimble VISION intègre des caméras numériques calibrées dans les stations totales Trimble S6 et S8, ainsi que dans la station spatiale Trimble VX. Ces instruments peuvent collecter des données de levés, diffuser un flux vidéo (streaming) avec la perspective de l'instrument et capturer des images fixes panoramiques. Le logiciel de terrain Trimble Access superpose les données de levés au flux vidéo, ce qui améliore la productivité du géomètre sur le terrain lorsqu'il utilise l'instrument en mode Robotique. Le logiciel de bureau Trimble Business Center superpose les données de levés aux images fixes panoramiques capturées, ce qui permet au géomètre de documenter efficacement les caractéristiques qui ont été relevées. Trimble Business Center permet également au géomètre d'effectuer des observations photogrammétriques terrestres et de calculer les coordonnées de points à l'aide d'images générées par Trimble VISION. La photogrammétrie Trimble VISION est un outil de levés qui mesure avec précision des points dont la collecte était jusqu'alors très longue, dangereuse ou impossible à l'aide d'autres techniques.

Introduction

La caméra d'un instrument équipé de Trimble VISION capture des millions d'observations de levés, presque instantanément. Le présent document technique décrit comment les pixels du flux vidéo et des images fixes deviennent des observations de levés grâce aux caméras calibrées intégrées dans les stations totales optiques. Il décrit aussi comment les géomètres peuvent intégrer de l'imagerie de précision dans les observations provenant de récepteurs GNSS, de stations totales et de scanners au laser 3D pour améliorer les opérations sur le terrain, mesurer des caractéristiques distantes à l'aide de la photogrammétrie et créer des livrables réalistes.

Caméra Trimble VISION

Le composant essentiel de la technologie Trimble VISION est la caméra numérique calibrée Trimble VISION. La caméra est conçue pour maximiser la qualité en optimisant le champ de vision, l'exposition, la profondeur de champ, la résolution et la taille du fichier image. Ces éléments de conception jouent un rôle critique quand la technologie photo est appliquée aux opérations de relevés sur le terrain et au bureau.



Figure 1. Station totale avec caméra Trimble VISION

Tableau 1. Spécifications de la caméra Trimble VISION

Caractéristiques techniques	
Distance focale	23 mm (équivalente à une distance focale de 127 mm pour un format d'image de 35 mm)
Mise au point fixe	12 m
Profondeur de champ	3 m à l'infini
Dimensions de la puce	½" (4:3)
Résolution	2048 x 1536 = 3,1 mégapixels
Champ de vision	16° x 12° 28,5 x 21,5 m à 100 m
Zoom	4x numérique
Taux de rafraîchissement des images	5 image/s en mode USB

Champ de vision

Le flux vidéo fourni par la caméra Trimble VISION a toujours un plus grand champ de vision que la vue de la lunette de l'instrument. Il est ainsi plus facile d'identifier des cibles ou des caractéristiques de levés et d'utiliser la vidéo pour les viser avec la station totale.

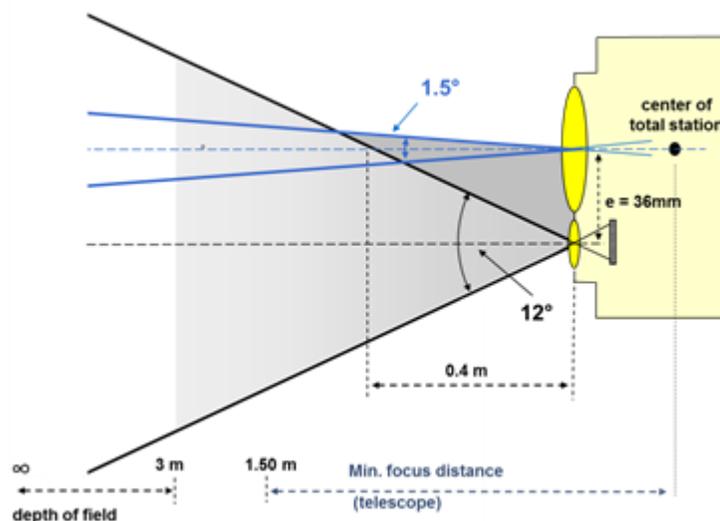


Figure 2. Maximiser la qualité en optimisant le champ de vision

Les images suivantes comparent les différents champs de vision obtenus par quatre réglages de zoom de la caméra. Le champ de la lunette est illustré par le cercle jaune.

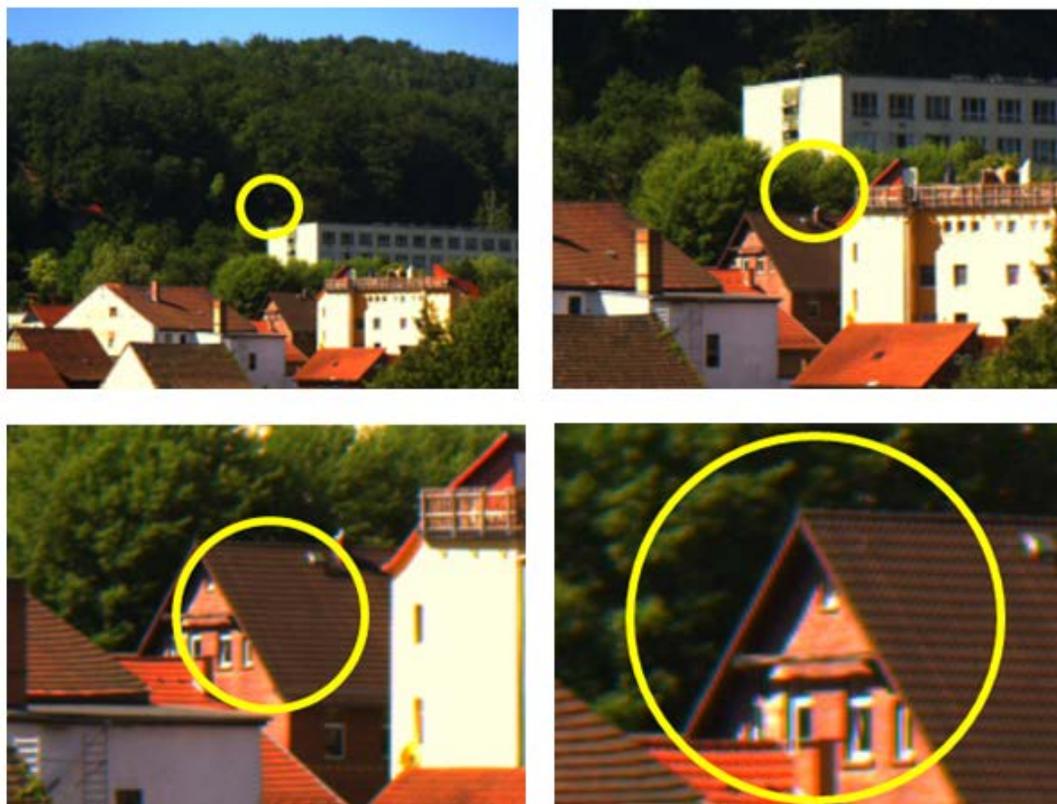


Figure 3. Champs de vision offerts par quatre réglages de zoom de la caméra (le cercle

jaune représente le champ de la lunette). Le niveau de zoom croissant permet de régler la visée de la station totale.

Exposition

Pour que les objets vus dans le flux vidéo et les images fixes soient clairement identifiables dans des conditions d'éclairage variées, la caméra Trimble VISION règle automatiquement l'exposition de l'objet que l'instrument vise (voir figure suivante).



Figure 4. Le carré rouge indique la zone utilisée pour la mesure de l'exposition

Pour les images panoramiques, les expositions peuvent être réglées automatiquement à chaque image. Elles peuvent aussi être définies au niveau optimal pour un objet.

La caméra Trimble VISION offre également une très bonne sensibilité aux faibles éclairagements grâce aux réglages automatiques qui permettent de maintenir une qualité vidéo constante. Cependant, le taux de rafraîchissement vidéo peut diminuer, en particulier si l'instrument fonctionne en mode Robotique.

Profondeur de champ

Comme la profondeur de champ de la caméra Trimble VISION s'étend de 3m à l'infini, les objets d'intérêt du flux vidéo et les images fixes sont pratiquement toujours nets. La figure suivante illustre les avantages d'une grande profondeur de champ.



Figure 5. Faible profondeur de champ (en haut) et grande profondeur de champ (en bas)

Résolution

Pour que la résolution permette d'obtenir un affichage clair et des tailles de fichiers image raisonnables, le capteur intégré à la caméra Trimble VISION propose une résolution de 3,145 mégapixels (2048 x 1536) et une taille de pixel de 28 secondes d'arc (c'est-à-dire que chaque pixel du capteur capture 28 secondes d'arc de la zone photographiée).

Taille du fichier image

Pour minimiser la taille des fichiers image et donc les délais de transmission et les besoins de stockage, la caméra Trimble VISION enregistre les images en format JPEG. Pour la capture d'images fixes, les utilisateurs peuvent choisir la résolution souhaitée et les taux de compression JPEG comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 2. Tailles d'images et compression de fichiers de la caméra Trimble VISION

Taille d'image	
Format :	Pixels :
Très grand	2048 x 1536
Grand	1024 x 768
Moyen	512 x 384
Petit	256 x 192
Compression de fichier	
Réglage :	Perte de qualité :
Super fin	environ 10 %
Fin	environ 40%
Normal	environ 60%

Les images capturées en taille Très grand et en mode de compression Super fin ont la meilleure qualité, mais elles requièrent également des délais de transmission plus longs et des besoins de stockage plus importants. Une photo prise avec ces réglages a une taille de 700 Ko environ.

Ce chapitre a décrit la manière dont la caméra Trimble VISION capture des pixels dont la qualité et l'efficacité sont optimisées. L'étape suivante correspond à l'intégration de la caméra dans une station totale pour faire le lien entre les pixels et le monde réel.

Intégration Caméra Trimble VISION

Ce chapitre décrit comment le modèle géométrique de la caméra Trimble VISION est combiné au modèle géométrique d'une station locale Trimble pour créer un système calibré unique. La fusion des deux systèmes permet une correspondance précise des données de levés avec l'imagerie vidéo et fixe.

Géométrie de station totale et caméra

La figure suivante illustre le modèle géométrique de base pour une station totale. L'axe vertical est V-V ; l'axe horizontal est T-T, normal à V-V ; l'axe de visée est S-S, normal à T-T.

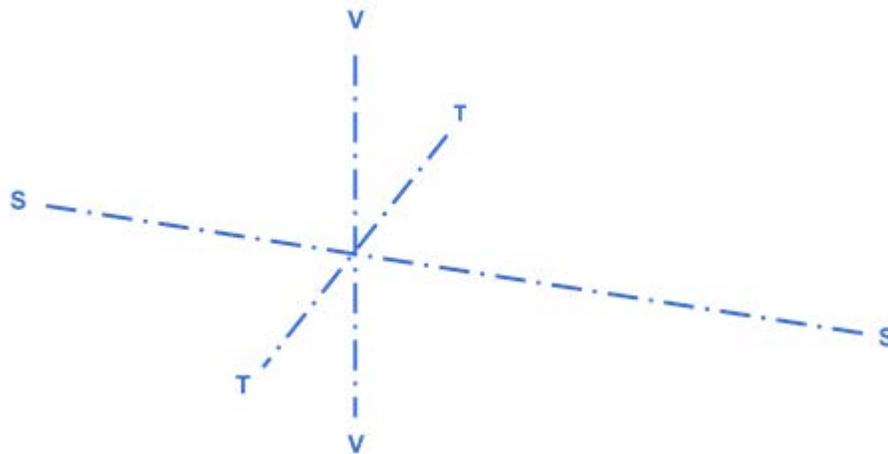


Figure 6. Modèle géométrique de base pour une station totale

La figure suivante illustre un modèle simplifié de la caméra Trimble VISION pour le calcul des directions en dehors des coordonnées d'images mesurées.

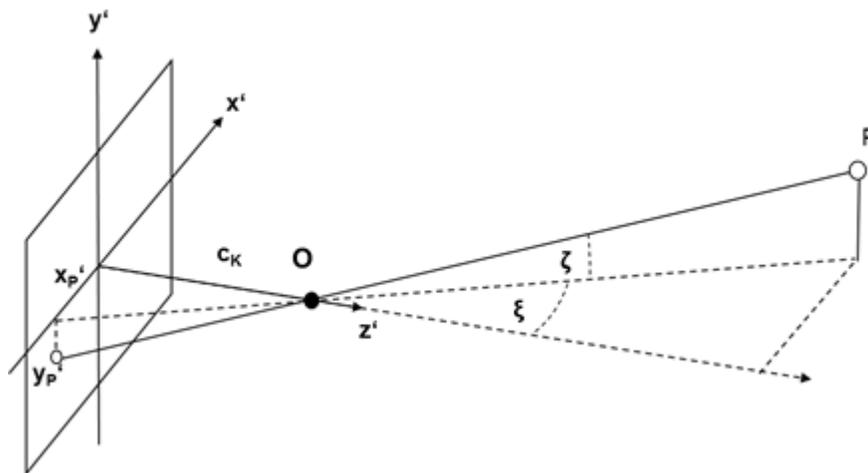


Figure 7. Modèle simplifié de la caméra

Comme expliqué sur ce modèle, un point P est projeté sur le plan d'image par le centre de projection O. Le centre de projection O est le sommet d'angle de toutes les directions. Les angles ξ et ζ peuvent être calculés à partir des coordonnées d'image mesurées y' et x' et peuvent être comparés aux directions mesurées à l'aide de la station totale.

La figure suivante illustre un modèle fusionné dans lequel la caméra est simplement placée dans l'optique de la station totale existante.

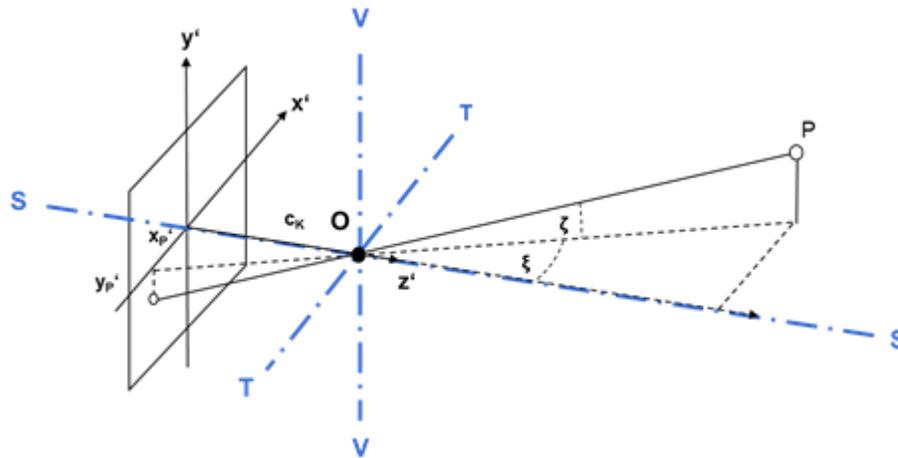


Figure 8. Modèle fusionné de station totale et caméra

Sur ce modèle, le plan d'image de la caméra est vertical par rapport à l'axe de visée de la station totale. L'axe Z du système de la caméra est l'axe de visée, le centre de projection se trouve au point d'intersection des axes de la station totale.

Lorsqu'il est combiné à l'optique de la station totale, cet assemblage présente deux inconvénients majeurs :

- la caméra a le même champ de vision limité que la lunette, qui offre une visée peu efficace ;
- la lunette doit être au point pour prendre une photo, car la caméra est située à l'arrière de l'objectif de mise au point.

Les instruments Trimble VISION utilisent un modèle plus complexe dans lequel la caméra est indépendante du système de la lunette, comme illustré dans la figure suivante.

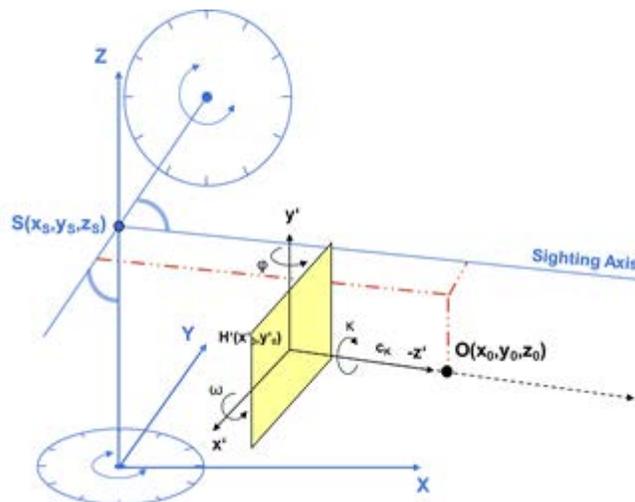


Figure 9. *Caméra indépendante du système de la lunette*

Cette configuration offre à la caméra un bien plus grand champ de vision et une distance focale plus courte, ce qui donne une meilleure profondeur de champ.

Toutefois, cette configuration biaxiale crée une excentricité, la caméra ayant une perspective différente de celle de la lunette. Cette excentricité non corrigée créerait une différence entre les vues de la lunette et de la caméra vidéo. Pour résoudre ce problème, le système Trimble VISION corrige cette excentricité en temps réel grâce au mode de suivi du télémètre électronique (EDM) de l'instrument permettant de compenser la distance.

Calibrage de la caméra

L'objectif de la caméra Trimble VISION et le détecteur sont calibrés par l'orientation intérieure. L'orientation extérieure crée une définition photogrammétrique complète, grâce à la caméra associée aux axes de la station totale et aux mesures de la station totale.

Les paramètres de l'orientation intérieure sont les suivants :

- La constante c_k (égale à approximativement 23 mm) de la caméra.
- Le point principal $x'0, y'0$. Il s'agit du point d'intersection de l'axe optique de la caméra et du capteur à barrettes.
- Distorsion

Les paramètres de l'orientation extérieure sont les suivants :

- Angles de rotation : oméga (ω), phi (ϕ) et kappa (κ) par rapport aux axes de la caméra.

- Décalage spatial : vecteur allant de l'origine de la station totale (le point d'intersection des axes de la station totale) jusqu'au centre de projection de la caméra.

Sur les systèmes photogrammétriques, le calibrage peut se faire en mesurant un champ de points de contrôle. Comme la caméra est intégrée dans une station totale, seuls deux points de contrôle sont nécessaires : le premier à une distance de 3 à 4 m et le second à une distance de 10 à 12 m. Chaque point de contrôle est mesuré à l'aide de la station totale (angle horizontal et vertical) et de la caméra (x' et y'). L'observation des angles et des pixels fournit suffisamment d'informations pour résoudre les paramètres d'orientation inconnus par un ajustement selon la méthode des moindres carrés.

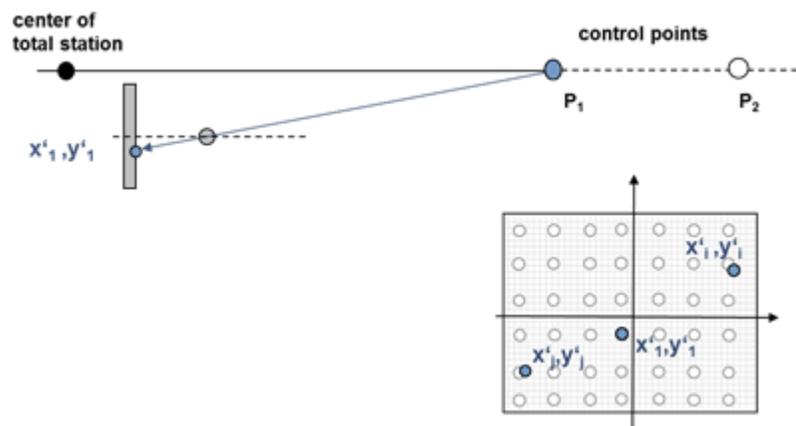


Figure 10. Calibrage réalisé par mesure d'un champ de points de contrôle

Les orientations intérieure et extérieure complètent l'intégration de la caméra dans la station totale. Les pixels peuvent alors être traduits précisément en angles horizontaux et verticaux comme s'ils provenaient directement de la station totale. Le chapitre suivant énumère les possibilités de la photogrammétrie que le géomètre peut utiliser sur le terrain.

Application de terrain

Jusqu'à présent, les géomètres étaient obligés de viser à travers la lunette d'une station totale pour orienter l'instrument. Cette approche était coûteuse, difficile et potentiellement dangereuse :

- Un géomètre doit rester près de l'instrument.
- L'instrument doit être mis en station à une hauteur aussi faible que possible pour que la lunette soit accessible.

- Pendant l'orientation de la station totale à l'aide de la lunette, l'opérateur de l'instrument peut ne pas avoir conscience de dangers immédiats, comme la circulation de véhicules.

Désormais, les instruments Trimble VISION intègrent le logiciel de terrain Trimble Access pour améliorer ces aspects du travail sur le terrain et aussi contrôler la capture d'images fixes.



Figure 11. Logiciel de terrain Trimble Access

Trimble Access affiche la vidéo directe provenant de l'instrument Trimble VISION. Le géomètre peut utiliser la vidéo pour orienter et utiliser l'ensemble des fonctions de l'instrument à partir d'un carnet de terrain ou d'une tablette électronique. Ceci permet à toute l'équipe de levés de travailler de façon plus productive et sûre.



Figure 12. Utilisation de Trimble Access pour mesurer à distance des points sur le terrain

Le géomètre peut utiliser la vidéo pour mesurer à distance des points avec Direct Reflex (DR). La caméra calibrée et parfaitement intégrée dans la station totale permet à Trimble Access de transformer instantanément et précisément les pixels de l'affichage vidéo en angles horizontaux et verticaux. Le géomètre peut orienter l'instrument et mesurer les points en sélectionnant simplement les objets affichés sur la vidéo. Grâce à la même technologie, Trimble Access peut superposer avec précision le réticule et les données de levés au flux vidéo, ce qui permet au géomètre de collecter des points en toute confiance tout en évitant les fautes et les mesures redondantes.



Figure 13. Trimble Access superpose le réticule et les données de levés au flux vidéo

Le géomètre peut également utiliser Trimble Access pour collecter des images fixes décrivant les conditions du chantier, documenter la capture de données et même mesurer des caractéristiques au bureau. L'option « Capture à l'enregistrement » permet au géomètre-arpenteur de capturer automatiquement une image pour chaque point mesuré. Les images fixes sont enregistrées en fichiers multimédia ou attributs pour un traitement des données continu au bureau. En outre, le géomètre peut capturer des panoramas à images multiples avec un chevauchement défini par l'utilisateur. Par exemple, un panorama peut être capturé pour couvrir complètement la façade d'un bâtiment.



Figure 14. Utilisation de Trimble Access pour collecter des images fixes

Les images et les données de terrain de Trimble VISION peuvent être transmises au bureau, soit en continu avec Trimble AccessSync, soit manuellement. Une fois les données disponibles, un géomètre situé au bureau peut poursuivre le traitement de données de levés à l'aide de l'application de bureau Trimble Business Center.

Application de bureau

Trimble Business Center (TBC) importe les images capturées par les instruments Trimble VISION et les affiche en « vues de station » en perspective 3D. Les images importées sont intégrées dans les données GNSS, de la station totale et dans d'autres données de levés pour permettre au géomètre de documenter les données de terrain et de mesurer des points par photogrammétrie.

Documentation

Les vues de station TBC recréent le chantier du projet tel qu'il a été vu par le géomètre-arpenteur. Les données de levés, comme les points et les observations, sont superposées aux images alignées. Le soin extrême apporté à la technologie de la caméra et à son intégration élimine pratiquement les différences entre les images et les données de levés. Le géomètre peut donc utiliser cet outil en toute confiance pour vérifier l'intégralité et la précision du levé. Il peut par exemple identifier des zones dépourvues d'informations ou des points non conformes à une surface suite à une erreur de collecte sur le terrain. Le géomètre peut également utiliser la vue de station pour prouver que les données requises ont été capturées et réalisées avec la précision exigée.

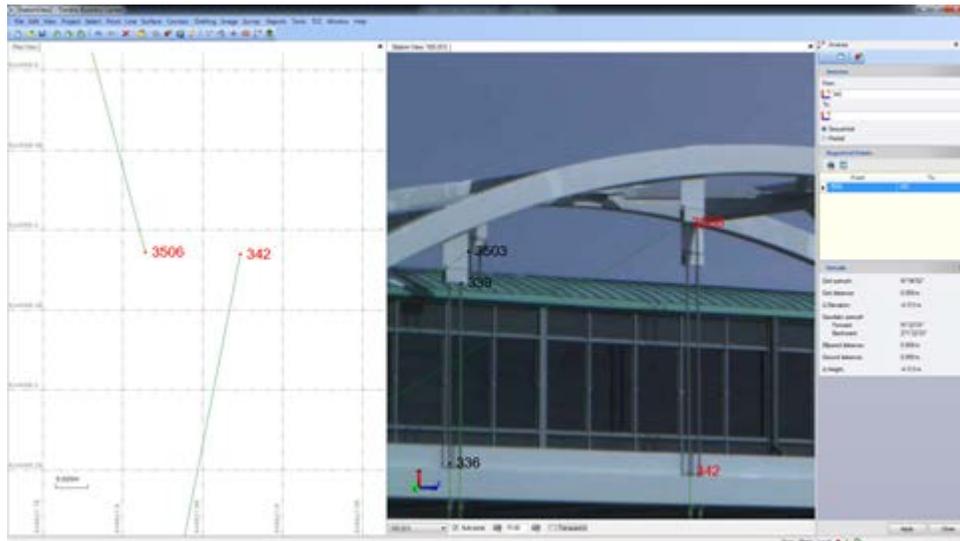


Figure 15. Onglets Vue en plan et Vue de station dans Trimble Business Center

Pour capturer les images dans un panorama, la caméra d'un instrument Trimble VISION doit se déplacer horizontalement et verticalement autour du centre de l'instrument. Comme la caméra change de position, chaque image a une perspective différente. Cette différence de perspective crée une « parallaxe des données » qui empêche les images affichées dans TBC d'être alignées correctement avec les données de levés superposées. Pour corriger ce problème, TBC décale la perspective de chaque vue de station depuis le centre de l'instrument en zoom arrière et vers l'emplacement de la caméra pour une image en zoom avant. En outre, l'utilisateur peut contrôler la distance projetée pour chaque panorama pour la « mise au point » de la superposition des données. Grâce à ces fonctions, l'affichage des données de levés est toujours très réaliste.

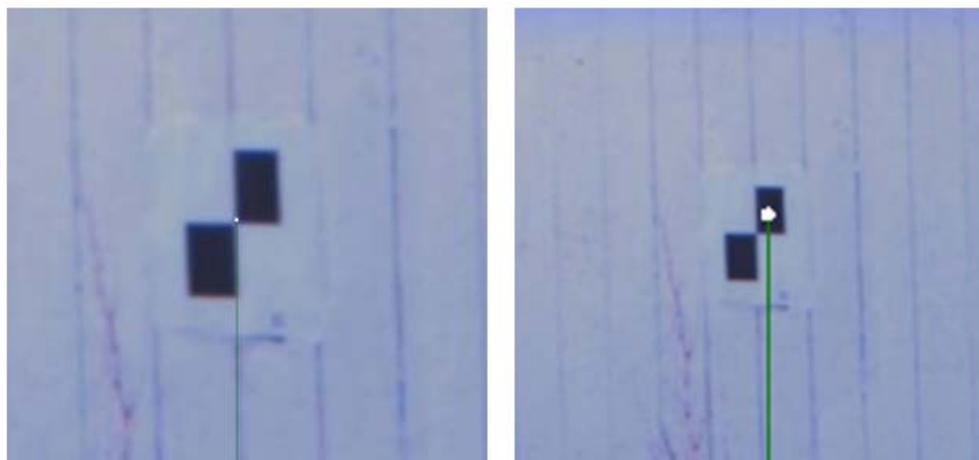


Figure 16. Exemple de parallaxe de données : l'image à gauche d'une cible montre la perspective de la caméra (zoom avant) ; l'image à droite illustre la perspective de l'instrument (zoom avant)

Pour améliorer la qualité de la documentation, TBC peut équilibrer l'exposition des images et mélanger les bords des images adjacentes pour obtenir un seul panorama sans raccords. Les images panoramiques traitées peuvent être livrées conjointement avec les données de levés dans un seul fichier et affichées à l'aide de Street View dans Google Earth.



Figure 17. Images non traitées (à gauche) ; images équilibrées et mélangés (à droite)

Photogrammétrie

Les géomètres peuvent désormais mesurer des points dans TBC avec des images capturées par les instruments Trimble VISION. La capture de points photogrammétrique est précise à faible distance. Cet outil permet au géomètre d'augmenter l'efficacité et la sécurité de la capture de données. Par exemple, le géomètre peut mesurer les emplacements des lignes électriques par photogrammétrie, car celles-ci sont très difficiles à mesurer à l'aide d'autres techniques de levés comme Direct Reflex (DR) ou les intersections angulaires.

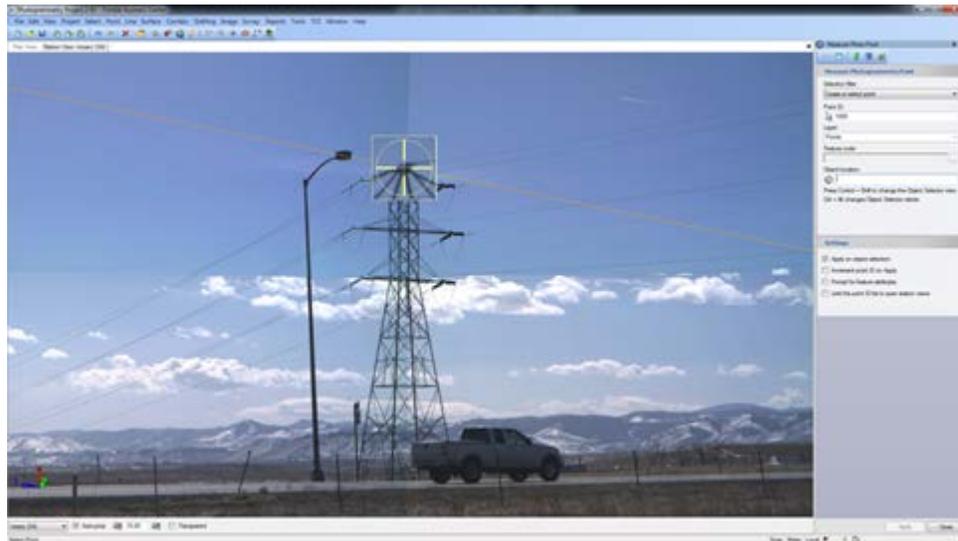


Figure 18. Utilisation de la photogrammétrie les objets difficiles à mesurer sur le terrain

Grâce à l'intégration précise et soignée du système Trimble VISION, la mesure de points par photogrammétrie est simple. Un objet intéressant s'affiche sur chacune des deux (ou plus) vues. Le géomètre utilise alors une lunette virtuelle pour sélectionner le pixel sur chaque vue. Le logiciel TBC calcul automatiquement un point 3D à partir de l'intersection des observations photogrammétriques. Le géomètre reçoit alors des indications sur la qualité de la mesure, notamment la précision de la figure (*voir remarque ci-dessous) pour les valeurs d'intersection et résiduelle entre le point calculé et chaque observation.

Le diagramme suivant illustre l'effet de la géométrie lorsqu'une mesure par photogrammétrie utilise deux observations. La qualité de la géométrie des intersections est illustrée pour trois exemples types :

1. Cas plus favorable : angle d'intersection de 90°
2. Longue distance par rapport à la ligne de base
3. Excentricité importance par rapport à la ligne de base

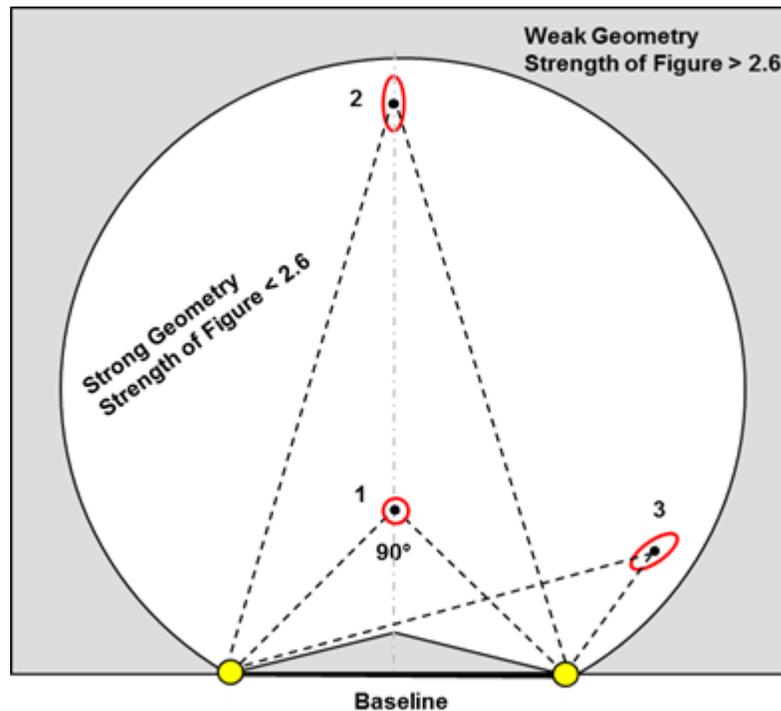


Figure 19. Zones de géométrie forte et faible en utilisant deux mises en station

Les facteurs qui affectent la précision de mesures photogrammétriques des points sont généralement contrôlés par le géomètre. Comme pour toutes les observations de levés, la précision se dégrade avec la distance. À faible distance, les observations photogrammétriques individuelles sont plus précises car chaque pixel couvre un espace plus réduit et les effets d'une mauvaise géométrie sont minimisés. Les meilleurs résultats peuvent être obtenus en mesurant des points à faible distance avec des stations ayant une bonne position, une bonne orientation et une bonne géométrie.

Pour une bonne pratique, les géomètres peuvent utiliser les images provenant d'instruments Trimble VISION calibrés pour mesurer précisément et documenter en détail les points de levés. L'avantage du système est démontré par l'efficacité extrême de la mesure de points par photogrammétrie : quelques images capturées sur le terrain avec Trimble Access peuvent servir à mesurer de nombreux points dans TBC.

* La « précision de la figure » est un système qui sert à mesurer l'exactitude des intersections photogrammétriques. Les angles d'intersection proches de 90 degrés sont optimaux et correspondent à des valeurs de figures ayant une faible résistance. Les valeurs de figure à forte résistance correspondent à des angles d'intersection inférieurs à 30 degrés ou supérieurs à 120 degrés. La géométrie forte est essentielle pour obtenir des

mesures précises, spécialement à mesure que la distance depuis la ligne de base augmente.

Conclusion

Le traitement précis des images est une technologie vouée à un avenir prometteur dans la panoplie toujours plus étoffée d'outils proposés aux géomètres. Actuellement, les flux vidéo et l'imagerie fixe augmentent considérablement l'efficacité et la sécurité des opérations sur le terrain. Les géomètres-arpenteurs peuvent aujourd'hui utiliser leurs instruments différemment et indiquer aux autres membres du projet les conditions exactes régnant sur le chantier en ajoutant les positions précises des données capturées. Les images peuvent être utilisées pour transmettre des données de levés toujours plus réalistes.

En outre, des évolutions récentes de Trimble Business Center permettent aux géomètres de mesurer des points par photogrammétrie. L'avantage clé de la photogrammétrie repose sur la capture quasi instantanée de millions de pixels sur le terrain. Les pixels des images de Trimble VISION correspondent aux observations des angles horizontaux et verticaux. Comme cette technologie est désormais à la portée des géomètres, les levés topographiques seront probablement effectués différemment lorsque les mesures sont difficiles à réaliser ou que le temps alloué aux captures sur le terrain est très limité. Par exemple, une équipe chargée des levés sur le terrain peut rapidement capturer des photos d'une tour de télécommunications mobiles. Un spécialiste peut ensuite mesurer au bureau les emplacements, les dimensions et les alignements des antennes. Comme en médecine légale, les photographies d'une scène peuvent être capturées très rapidement sur le terrain. Le long processus d'extraction des informations peut être entrepris par la suite et ailleurs.

Actuellement, le traitement de l'imagerie est limité par les tailles élevées de pixel, les processus d'extraction excessivement manuels, les capacités de stockage de données insuffisantes et les faibles vitesses de calcul. Ces défauts limitent le développement de l'imagerie dans la topographie. Cependant, chacun de ces problèmes sera résolu par les progrès en cours de l'informatique, tant logicielle que matérielle. Plus la résolution des caméras va augmenter, plus la taille de pixel diminuera, ce qui va améliorer la précision. Les ordinateurs de terrain et de bureau seront dotés de processeurs plus rapides, davantage de mémoire et d'une capacité de stockage accrue, ce qui en améliorera l'efficacité. Le flux de travail sera plus puissant grâce aux fonctions logicielles comme le traitement et l'analyse d'images.

Les efforts visant à faire de la photogrammétrie un outil accessible au géomètre sont en adéquation avec l'avancée des progrès technologiques. À cet égard, Trimble fait figure de précurseur en intégrant la photogrammétrie dans les applications conventionnelles de

topographie. Les géomètres peuvent facilement maîtriser cet outil et l'utiliser pour mesurer le monde d'une manière totalement innovante.