Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 106 (2014)
Heft: 2

Artikel: Lasergrammétrie terrerstre : une solution pour l'auscultation surfacique
Autor: Barras, Vincent
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939741

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Lasergrammétrie terrestre – une Solution pour l'Auscultation Surfacique

Vincent Barras

Résumé

Les scanners lasers terrestres permettent de numériser un environnement pour fournir un nuage de points 3D. Leur rapidité d'acquisition en fait des instruments très intéressants pour obtenir une représentation raster d'un ouvrage avec une précision meilleure que le centimètre.

Avec l'évolution des logiciels traitant les données de la lasergrammétrie (technique utilisant les scanners lasers), il est aujourd'hui possible de suivre l'évolution d'une surface et non de repères ponctuels comme c'est le cas avec les réseaux géodésiques de surveillance. Cette méthode est particulièrement intéressante pour suivre des érosions ou autres modifications de forme. Comme la mesure de distance se fait directement sur l'objet, sans pose de réflecteurs, il est envisageable de suivre l'évolution de zones difficiles d'accès.

Pour le géomaticien, la lasergrammétrie est un outil supplémentaire disponible pour effectuer de l'auscultation d'ouvrages. Cette technique permet de compléter la surveillance de secteurs critiques en renseignant sur les mouvements surfaciques absolus.

1. Introduction

Depuis la fin des années 90, quelques développeurs ont proposé des instruments à balayage laser, les lasers scanners terrestres.

Cette dernière décennie a vu l'arrivée sur le marché d'un grand nombre de scanners lasers dans le monde de la géomatique avec des portées dépassant souvent les 200 [m], voire le kilomètre pour quelques appareils. La précision d'un point est souvent meilleure que le centimètre et la rapidité d'acquisition peut atteindre le million de points par seconde.

Le retour du terrain est souvent synonyme de grandes masses de données qui doivent être traitées par des logiciels spécifiques à la lasergrammétrie. Dans ce domaine également, le développement de logiciels, «digérant» plusieurs centaines de millions, permet de convertir ces informations raster en données vectorielles. Ce travail de passage d'un nuage de points à une modélisation 3D s'automatise de versions en versions, mais beaucoup d'étapes manuelles demeurent. Un modèle vectoriel représente toujours un travail considérable.

Dans son activité quotidienne, la grande majorité des travaux de lasergrammétrie conduits par le géomaticien se concentre sur le relevé d'ouvrages du patrimoine, des relevés de façades, des documentations «tel que construit».

2. La technologie

Basés sur des observations polaires, les scanners lasers terrestres fonctionnent avec 2 encodeurs angulaires, souvent couplés à un inclinomètre. Cela permet d'avoir des informations angulaires liées à la verticale du lieu.

La distance entre l'instrument et son environnement est déterminée par 2 techniques lasers, soit le temps de vol, soit via la technique du déphasage (Landes & Grussenmeyer, Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre, 2011). La première technologie propose souvent des portées plus importantes, jusqu'à plusieurs kilomètres. La seconde offre de meilleure précision. Cependant, les derniers développements tendent à limiter ces différences.

Le tableau donne des ordres de grandeur. Il est basé sur le site indépendant www.geo-matching.com qui tente de tenir à jour un inventaire des instruments disponibles sur le marché.

Lors d'un choix d'instrument, la longueur d'onde est également un paramètre très important. Aujourd'hui, les constructeurs travaillent sur une gamme allant du vert (~400 [nm]) au proche infrarouge (~1600 [nm]). Certains lasers avec peu de risque oculaire (plage vers 1500 [nm]) sont également très absorbés par l'eau et la neige. Cela limite grandement leur portée pour des relevés de glacier ou autre surface humide.

Même si les données acquises sont polaires (angles et distance), le résultat final est toutes les positions 3D en XYZ des impacts lasers: un nuage de points.

L'évolution actuelle s'oriente principalement sur la simplicité d'utilisation et sur l'amélioration des numérisations via des répétitions de mesures ou des techniques de filtrage. Quelques instruments proposent de traiter les multi-échos de l'empreinte laser.

Les stations totales proposent également des solutions de mesures sans réflecteurs. Leur acquisition est beaucoup plus lente (entre 50 et 1000 [Hz]), mais

Classification	Scanner laser à impulsions	Scanner laser à différence de phase	Evolution
La portée	De 300 [m] à 6 [km]	Entre ~60 et ~200 [m]	Des appareils à phase allant jusqu'à ~300 [m]
La vitesse	Souvent plus de 50 [Khz]	proche des 1 [MHz]	Des instruments à temps de vol proposant 1'000'000 [pts/s]
La précision de la position 3D d'un point	Entre 5 et 10 [mm]	Entre 2 et 5 [mm]	L'écart se resserre
La sensibilité à l'intensité		Légèrement plus faible	

Figure 1. Différences entre les 2 techniques de mesure électronique des distances.

généralement avec une précision supérieure, spécialement dans les cas particuliers de réflectivité.

3. La numérisation 3D pour l'auscultation d'ouvrages

Si avec un relevé traditionnel, le résultat est un rendu ponctuel avec des relations vectorielles, un relevé lasergrammétrique propose un retour raster avec un nuage de points 3D *(figure 2)*.

La visée optique ayant disparue sur les scanners lasers terrestres, il n'est pas possible de mesurer un point précis. Le travail se concentrera sur une surface, un secteur *(figure 3)*.

En s'aidant de points homologues, voire de points de référence connus en coordonnées, il est possible d'assembler et de géoréférencer des nuages de points de plusieurs stations pour obtenir une numérisation complète d'un ouvrage.

Après nettoyage et élimination du bruit, ce nuage 3D global peut ensuite servir à différents travaux. En relation avec l'auscultation d'ouvrages, nous pouvons évoquer la modélisation «tel que construit», la recherche de formes géométriques (plans, cylindre ...) ou le maillage pour obtenir une surface *(figure 4)*.

Il est également possible de comparer les points mesurés à une surface de référence en les projetant soit suivant un axe spécifique (par exemple verticalement) soit de manière normale *(figure 5)*.

Au final, la surveillance ne se fait plus de manière fine par rapport à un repère, mais de manière surfacique, sur l'ensemble du secteur analysé. Cette technique permet de détecter des changements de forme de l'ordre de ± 5 [mm] en s'aidant de quelques points de calage.

4. Quelques exemples d'auscultations

Déjà depuis 2004, de nombreux travaux ont été entrepris pour suivre des ouvrages d'art avec des scanners lasers terrestres. Les tunnels ont été les premières zones de tests, car les distances sont relativement courtes et les déformations attendues assez importantes. L'étude de l'usure et des déformations du tapis routier est également un domaine où la lasergrammétrie a apporté des réponses intéressantes.

L'apport majeur de cette technique qui ausculte des surfaces est de pouvoir suivre des zones où il y a des dégradations ou des érosions des surfaces.

L'institut G2C [1] de la heig-vd a travaillé, durant plusieurs années, sur la mise

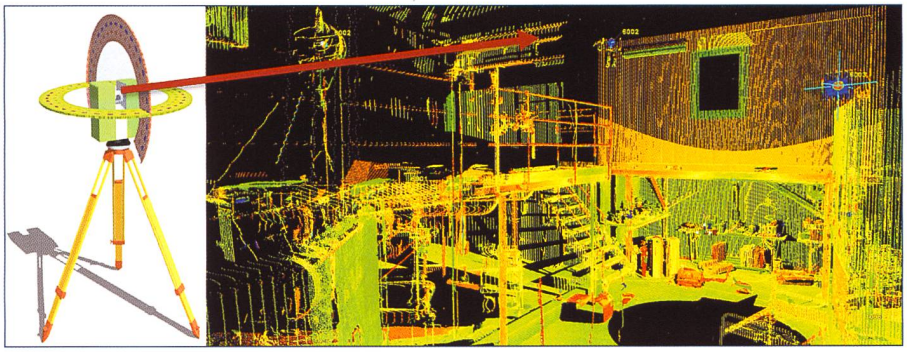


Figure 2. Un nuage de points, retour brut d'un balayage laser (image de gauche: P. Assali, 2014).

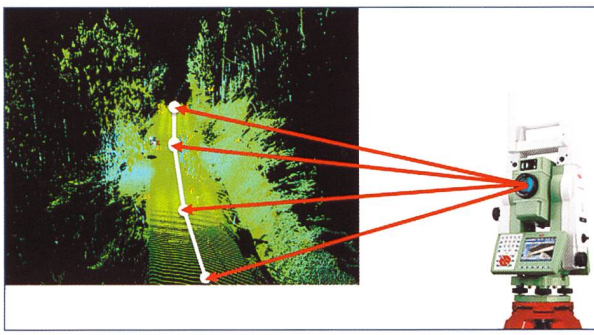


Figure 3. Lasergrammétrie = raster 3D/Tachéométrie = relevé vectoriel.

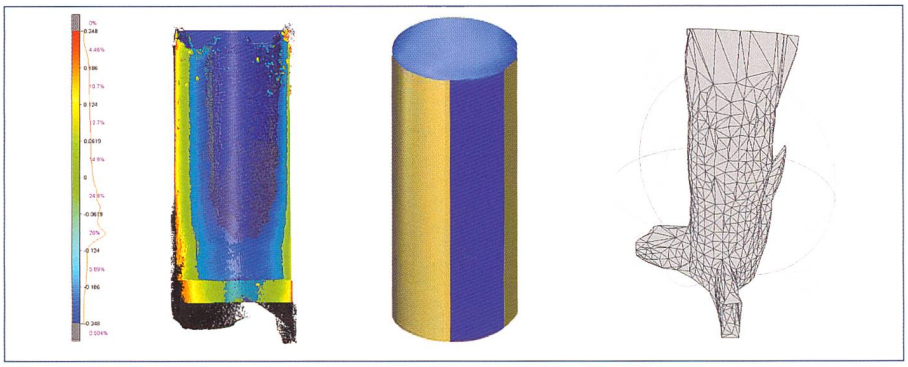


Figure 4. A gauche: recherche d'un cylindre dans un nuage/au centre: modélisation du cylindre/à droite: maillage d'une surface irrégulière.

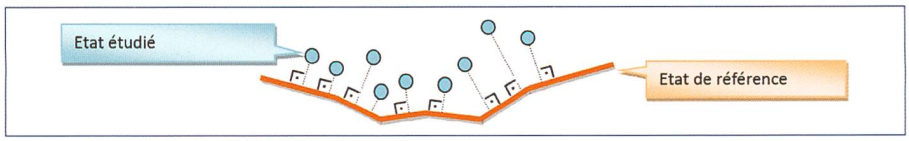


Figure 5. Projection selon la normale à la surface de référence.

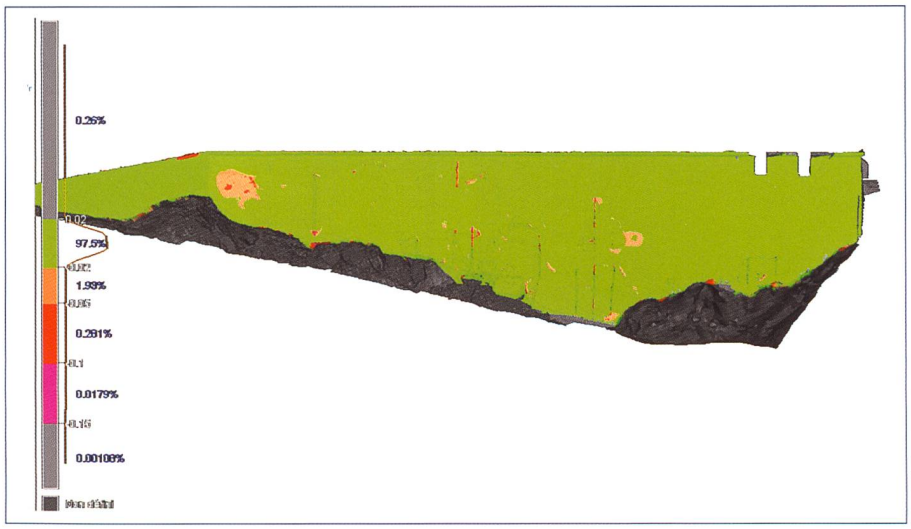


Figure 6. Évolution des dégradations d'un mur de soutènement.

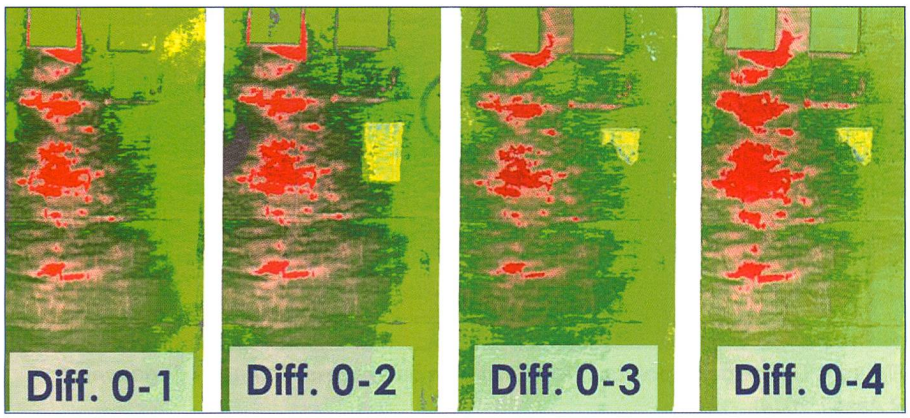


Figure 7. Carte des érosions : suivi d'une rampe de déversement après chaque purge.

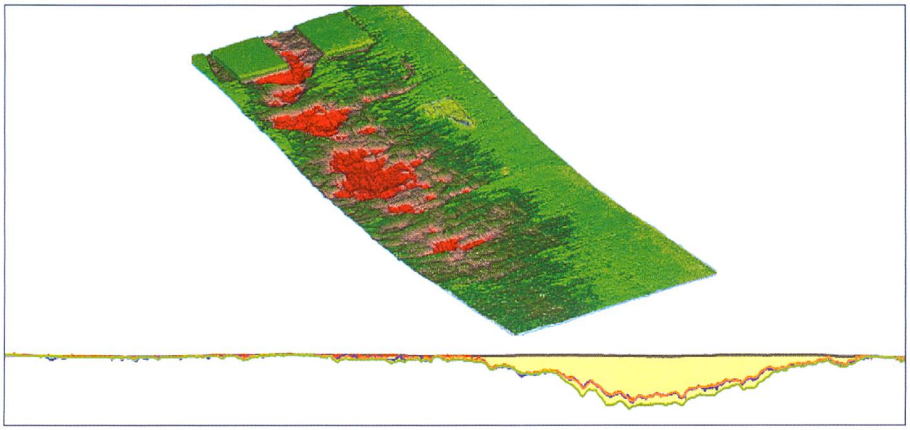


Figure 8. En haut : une vue 3D de la surface avec les déformations accentuées/En bas: coupe avec amplification de 10x des érosions.

Figure 9. Nettoyage de la rampe de déversement avant numérisation.

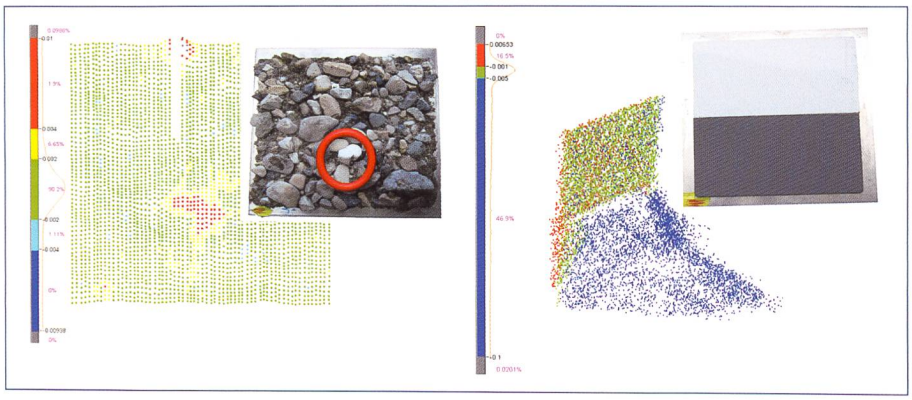


Figure 10. A gauche: l'effet d'un caillou blanc sur une inspection/à droite: le retour sur une surface lisse par rapport à une surface sablée.

en place d'une technique et d'un processus pour suivre, après chaque purge annuelle, l'érosion d'une rampe de déversement située au pied d'un barrage. L'acquisition de 6 millions de points au minimum, qui se fait en moins d'une ½ journée suivant l'instrument employé, permet d'obtenir une numérisation 3D de l'état de la rampe.

Ces travaux ont montré qu'avec une méthodologie spécifique, il est possible de suivre les modifications de la surface avec une précision de ± 5 [mm], même en changeant d'instrumentation entre les campagnes de mesure.

Pour visualiser les transformations, il est possible, comme le présente la *figure 7*, de proposer une carte colorée des transformations depuis la réfection de la rampe. Avec ces données tridimensionnelles, des solutions de visualisation 3D sont parfois plus parlantes, en accentuant les déformations détectées. En tout temps, le mandant peut obtenir des documents plus traditionnels comme des coupes. Leur nombre et leur position peuvent varier à tout instant, sans avoir à retourner sur le terrain *(figure 8)*.

5. Avantages et inconvénients

Le grand avantage de la lasergrammétrie est de proposer une vision surfacique et globale de l'ouvrage, avec ces modifications. Par contre, à ce jour, cette solution ne permet pas de rivaliser, en termes de précision, avec les réseaux géodésiques mis en place autour des barrages et autres retenues, qui permettent de détecter des mouvements de l'ordre du millimètre sur des repères solidaires à l'ouvrage.

De plus, comme la mesure s'effectue sur l'ensemble de la surface à surveiller, sans pose de prismes, il est primordial d'avoir une zone dans un état identique à chaque campagne. Tout développement de végétation ou ajout de matériaux viennent perturber l'interprétation des résultats obtenus.

Les scanners terrestres peuvent être perturbés par une forte intensité retour de leur signal laser. Cela va dégrader la distance et engendrer un nuage de points imprécis. La réflectance dépend de la longueur d'onde du laser, de la couleur, de l'orientation et de l'état (humide, rugueuse ...) de la surface, de l'éloignement de l'objet par rapport à l'instrument. Quelques tests ont montré que les numérisations perpendiculaires et proches sont les plus perturbées. Pour plus d'informations, le lecteur pourra se référer aux travaux des projets ALTer [2] (Barras, Delley, & Chapotte, Analyses aux limites des scanners lasers terrestres, 2013).

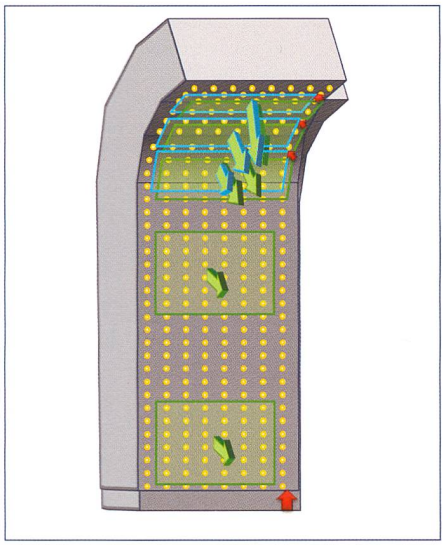


Figure 11. Traitement via des plans moyens.

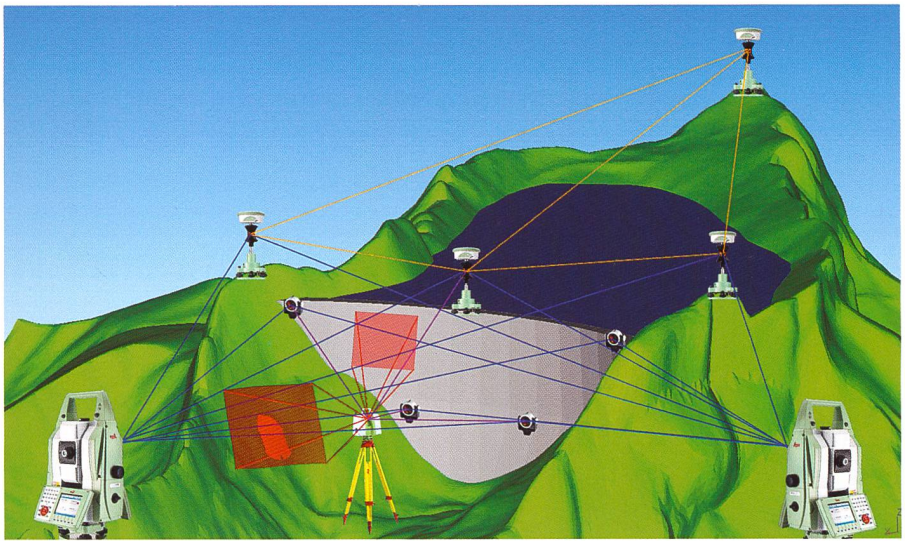


Figure 12. Illustration schématique de la combinaison de quelques techniques géodésiques.

6. Perspectives et développements

L'acquisition de nuages de points devient de plus en plus simple pour un coût toujours plus abordable. Ce document présente les scanners laser terrestres, mais il est possible de générer des numérisations au travers de corrélations d'images.

La grande part du travail réside dans le traitement et l'analyse de ces grandes masses de données pour en extraire des mouvements ou modifications, sans être perturbé par le bruit des mesures ou les apports accidentels à la surface.

Pour améliorer la précision, une piste consiste à ne plus travailler avec les points bruts, mais avec des facettes planes qui reprennent un ensemble de points. En travaillant sur des moyennes/médianes, cette solution prometteuse semble améliorer la précision des modèles pour se rapprocher du millimètre. Par contre, elle va lisser le modèle et faire disparaitre des petits mouvements locaux.

Pour tenir compte de la végétation, spécialement lors de suivi de surfaces naturelles, telles que des falaises, la combinaison d'images à la lasergrammétrie devrait permettre de séparer les parties du nuage pour ne garder que les secteurs pertinents.

7. Conclusions

Les mesures géodésiques apportent depuis longtemps des informations primordiales en donnant des mouvements absolus des barrages et autres ouvrages d'art. Les mesures GNSS [3] apportent des déplacements globaux avec une précision millimétrique, indépendamment des mouvements environnants. Les mesures tachéométriques et de nivellement fournissent des indications sub-millimétriques par rapport aux points jugés fixes situés autour de l'objet.

Aujourd'hui, grâce à la lasergrammétrie, l'offre de solutions s'agrandit et permet de surveiller de manière surfacique, à ±5 [mm] des secteurs ou la modification de forme est le problème principal. De plus, la mesure sans réflecteur offre des solutions pour suivre des régions où la pose de repères est un problème majeur.

Par la combinaison de ces différentes techniques, le géomaticien peut répondre à une palette toujours plus large de problématiques relatives aux contrôles d'ouvrages et fournir des informations capitales à la sécurité des retenues.

Bibliographie

Alba, M., Fregonese, L., Prandi, F., Scaioni, M., & Valgoi, P. (2006). Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning. Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium «Image Engineering and Vision Metrology». Dresden.

Barras, V. (2012, septembre). Un scanner pour surveiller le pied d'un barrage. Géomètre, 41–43.

Barras, V., Delley, N., & Chapotte, G. (2013, août). Analyses aux limites des scanners lasers terrestres. Géomatique suisse, 460–464.

Barras, V., Delley, N., & Chapotte, G. (2014, Février). Plusieurs scanners pour surveiller une rampe. Géomatique Suisse, 63–67.

Boavida, J., Oliveira, A. & Berberan, A. (2008). Dam Monitoring using combined terrestrieal. 13thh FIG Symposium on Deformation Measurment and Analysis. Lisbon.

Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2011, 3ème semestre). Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre. Revue XYZ, 37–49.

Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2011, 3ème trimestre). Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre. Revue XYZ N°128, 37-49.

Wu, J., & Merminod (Dir.), B. (2012). Cell-Based Deformation Monitoring via 3D Point Clouds, Thèse EPFL N°5399. Lausanne: EPFL.

Adresse de l'auteur
Vincent Barras, professeur
Topométrie & Instrumentation
Heig-vd [4], Département EC+G [5]
vincent.barras@heig-vd.ch

Heig-vd, Rte de Cheseaux 1/CP
CH-1401 Yverdon-les-Bains

[1] *G2C: Géomatique, Gestion de l'environnement, Construction et surveillance d'ouvrage (g2c.heig-vd.ch)*
[2] *ALTer: Projet d'Auscultation via scanner Laser terrestre, projet de la réserve stratégique de la HES-SO*
[3] *GNSS: Global Navigation Satellite System, Système de positionnement par satellites*
[4] *Heig-vd: Haute école d'Ingénierie et de gestion du canton de Vaud (http://www.heig-vd.ch)*
[5] *EC+G, département Environnement construit & Géoinformation (http://depg.heig-vd.ch)*

terra vermessungen

Unsere **Referenz** – Rundum **zufriedene Kunde**

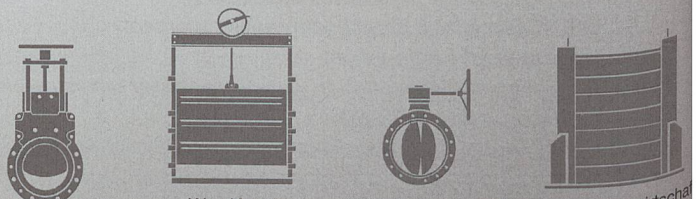
terra vermessungen ag
Tel.: 043 500 10 77
terra@terra.ch
www.terra.ch

HYDROGRAPHIE | STRÖMUNGSMESSUNG | SEEGRUNDKARTIERUN

That's the Wey.

SISTAG 50 YEARS

SpeedWey Die stete Suche nach dem Besseren treibt uns an. Unsere Produkte kommen unter anderem dort zum Einsatz, wo für Mensch und Umwelt Gefahren drohen. Darum haben wir uns kompromisslos der Sicherheit verpflichtet. Und schaffen immer wieder Innovationen. Damit auch in heiklen Situationen alles unter Kontrolle ist. Dafür bürgen wir. Und unsere anspruchsvollen Kunden in der ganzen Welt bestätigen das.



Wey Plattenschieber | Wey Kanal-absperrorgane | Wey Absperr- und Rückschlagklappen | Wey Wasserwirtschaf und Hochwasserschu

Beim *SpeedWey* Schieber haben wir einen natürlichen Reflex eingebaut. Er schliesst sich bei Gefahr innert Millisekunden.

wey® VALVE INNOVATION_MANAGEMENT

SWISS PERFORMAN

SISTAG AG, Alte Kantonsstrasse 7, 6274 Eschenbach, Switzerland, Tel +41 41 449 9944, weyvalve.ch