

## Scanners laser terrestres en conditions réelles

### Alter 2 : auscultation via scanner laser terrestre 2<sup>e</sup> partie

■ Vincent BARRAS – Nicolas DELLEY – Guillaume CHAPOTTE

*De nos jours, l'acquisition et la numérisation de points 3D s'effectuent relativement rapidement et facilement. Cependant est-il possible d'interchanger ces scanners en cours de mandat et d'obtenir des résultats similaires ? En effet, compte tenu des spécifications techniques et des modes de géoréférencement, les résultats sont susceptibles de varier quelque peu et un échange d'appareils, dans un mandat, peut perturber l'analyse suivant le niveau de précision recherchée.*

*Dans le but d'obtenir des réponses à cette question, une comparaison de plusieurs scanners du marché a été menée. Celle-ci a été effectuée en parallèle d'un mandat demandant d'évaluer l'érosion d'une rampe de déversement située au pied d'un barrage alpin. Ce travail a été répété avec quatre scanners, les ScanStation 2 et C10 de Leica Geosystems, le Faro Focus 3D et le Riegl VZ-400.*

*Différents critères sont évalués durant l'intervention sur le terrain : les paramètres d'acquisitions et le temps nécessaire. La météo changeante s'est aussi invitée dans cette étude. Du point de vue du traitement, les résultats des géoréférencements et les écarts des maillages avec les points tachéométriques sont également jugés.*

*L'inspection et le calcul de volumétrie entre les états fournissent une réponse positive à la possibilité d'interchangeabilité des appareils. D'une manière générale, les quatre instruments permettent de répondre au besoin d'un mandat consistant à évaluer l'érosion avec une précision de 5 mm, avec quelques variations en termes de production.*

#### MOTS-CLÉS

Scanners laser terrestres, conditions réelles, tests, traitements, comparaisons, analyses, état

Essentiellement utilisés en relevé 3D pour l'architecture ou l'industrie, les scanners lasers terrestres sont des instruments de plus en plus courants sur le marché de la géomatique. Ces appareils permettent de compléter les moyens utilisés lors de la surveillance de structures ou d'éléments naturels en mouvement. Les phénomènes observés ne sont ainsi plus ponctuels mais globaux. Cette expérience permet d'étudier les réactions des lasers dans des condi-

tions pratiques et ainsi de procéder à la comparaison de quatre scanners, les ScanStation 2 et C10 de Leica Geosystems, le Faro Focus 3D et le Riegl VZ-400 (Tableau 1).

À noter que la 2<sup>e</sup> intervention, à l'état 4 (E4), le C10 a été remplacé par le C5 pour une question de disponibilité. Ces deux scanners sont identiques hormis l'absence de compensateur pour le C5. L'objectif de ce travail est d'observer les possibilités d'interchanger des appareils en cours d'un mandat, les modes

d'acquisition, de traitement et de géoréférencement étant différents.

#### Présentation

Pour cette étude, le laboratoire de topométrie de l'institut G2C<sup>1</sup> de la HEIG-VD<sup>2</sup>, s'est basé sur un mandat réalisé, en partenariat avec l'entreprise Hydro Exploitation SA.

La prestation consiste à réaliser le suivi de l'érosion d'une rampe de déversement située au pied d'un barrage alpin. La 1<sup>ère</sup> mise en place de cette auscultation a été réalisée en 2009 à l'occasion d'un contrôle annuel. Chaque campagne de mesure est séparée par une purge, fortement chargée en sédiments, ce qui érode la surface en béton armé.

(1) G2C : Institut Géomatique, Gestion de l'environnement Construit et surveillance d'ouvrages de la HEIG-VD : [g2c.heig-vd.ch](http://g2c.heig-vd.ch)

(2) HEIG-VD : Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud : <http://www.heig-vd.ch>

	ScanStation C10 Leica	Focus 3D Faro	VZ 400 Riegl	ScanStation 2 Leica
Portée max.	300	120	350/600	300
				

Tableau 1. Instruments testés



Figure 1. Doucine inspectée



La zone analysée est en forme de toboggan d'une taille de 40 par 17 m, qui se situe en aval de deux vannes de fond au pied de la retenue (Figure 1). La surface se compose essentiellement d'un béton à haute résistance, avec deux zones de blindages. De nombreux ruissellements descendent au pied des murs qui bordent l'ouvrage.

La Figure 2 représente la vue aérienne du nuage de points et met en évidence la zone la plus affectée lors des purges du barrage. Le périmètre illustré sert de point de comparaison entre les différents états de mesures. Pour cette recherche, la même zone est utilisée pour évaluer les différents scanners.

En 2009, lors du premier état de mesure, un réseau de points fixes a été mis en place à proximité de la doucine.

### ■ Chronologie

Pour cette étude, nous avons effectué une campagne intermédiaire au prin-

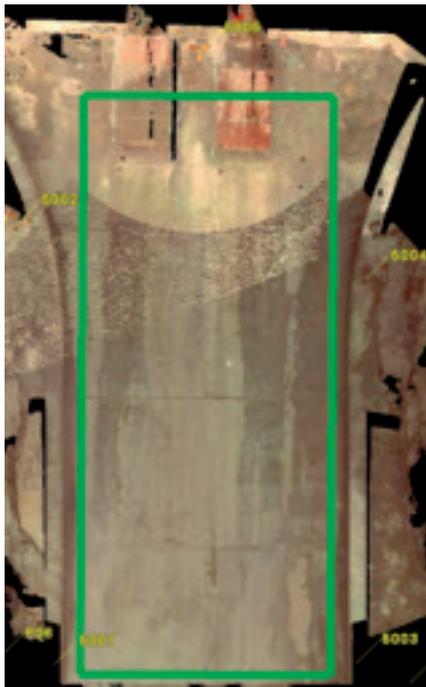


Figure 2. Secteur analysé

temps 2012, numérotée 3.5 (Figure 3). Sans déversement ou autres sollicitations particulières, la doucine est restée dans une usure similaire à l'état 3 (E3), mis à part les quelques dépôts résiduels, inévitable avec le temps. Dans le cadre du mandat, la campagne 3 a été numérisée avec la ScanStation 2, tandis que les deux états (E3.5 et E4, séparés par une purge) ont été mesurés avec les quatre appareils cités précédemment, pour les besoins spécifiques de cette étude.

### ■ Généralités

Les précédents états ont montré que 2 stations étaient nécessaires pour une numérisation fine de la surface (Figure 4). La densité des balayages lasers est fixée aux environs d'un point par centi-

mètre. Ces paramètres proviennent de l'expérience acquise lors des campagnes précédentes et d'un ensemble de travaux de recherche résumé dans le rapport du projet ALTER. Les 4 instruments seront positionnés de manière analogue, les angles d'incidence seront donc comparables de cas en cas.

Pour tous les appareils, à l'exception du VZ-400, les nuages de points sont liés par des sphères positionnées de part et d'autre de la doucine. Le VZ-400, quant à lui, utilise des cibles rétro-réfléchissantes placées sur les mêmes supports.

### ■ Acquisition

Lors de la 1<sup>ère</sup> intervention de 2012, les 4 instruments ont réalisé les acquisitions avec les paramètres suivants :

- ScanStation C10 : 1 cm en horizontal et vertical à 20 m
- Focus 3D : résolution 1/2 (0.6 cm en Hz et V à 20 m et qualité 4x)
- VZ-400 : 0.015° en Hz et V (0.5 cm en Hz et V à 20 m)
- ScanStation 2 : 1 cm en horizontal et vertical à 20 m

Une notification des durées (Tableau 2) permet de se faire une idée de la productivité, tout en étant conscient que cela ne représente pas le seul critère. Le

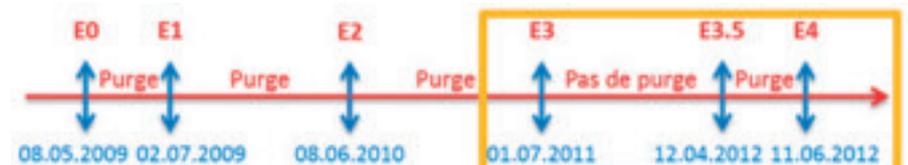


Figure 3. Historique des auscultations

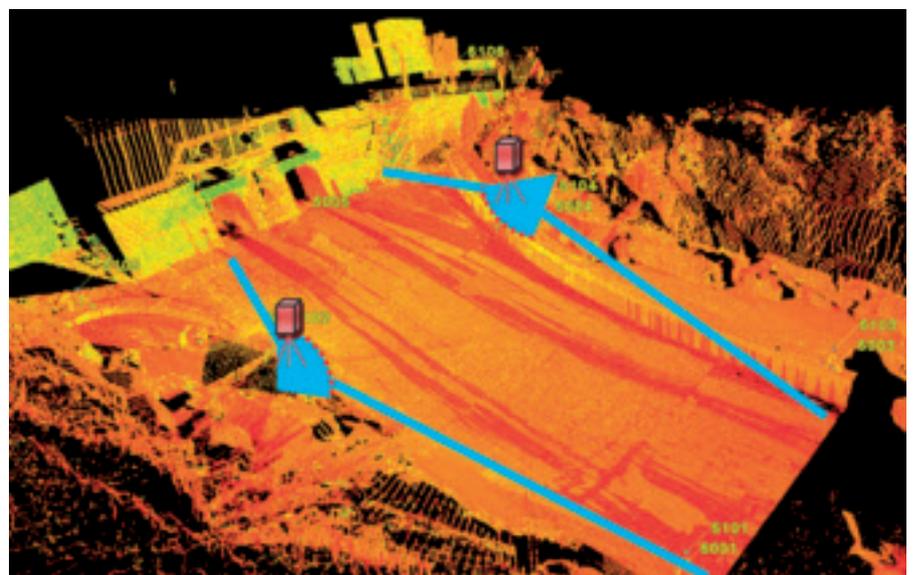


Figure 4. Emplacement des stations



Instrument	St 1, cibles	St 1, doucine	St 2, cibles	St 2, doucine	Total (h)
ScanStation C10	30 mn	30 mn	25 mn	30 mn	1 h 55
Focus 3D	15 mn (sans détection)	35 mn	35 mn (avec détection)	35 mn	2 h 00
VZ-400	10 mn	15 mn	8 mn	12 mn	0 h 45
ScanStation 2	25 mn	40 mn	25 mn	40 mn	2 h 10

Tableau 2. Estimation des temps utilisés sur le terrain

pois de l'instrument, l'ergonomie des logiciels embarqués, les capacités de contrôler les acquisitions directement sur place, sont également des paramètres à prendre en compte. Ces valeurs d'acquisition sont indicatives ( $\pm 10$ mn), ces durées tiennent compte de la numérisation de la doucine et des cibles.

## Traitements

Avant toutes inspections ou évaluations de mouvements, il est nécessaire de géoréférencer les nuages. Dans ce cas, 6 points de calage sont nécessaires. Il est difficile de comparer les géoréférencements entre les différents logiciels (Leica Cyclone, Faro Scene et Riscan Pro de Riegl), puisqu'ils n'utilisent pas tous les mêmes algorithmes de calcul, et n'offrent pas les mêmes indicateurs de précision.

Par la suite, pour chaque instrument, une modélisation de la doucine est faite via une maille semi-régulière de 2 cm,

selon un principe identique à celui entrepris habituellement lors de la réalisation du mandat. Le tout est géré dans le logiciel 3DReshaper de TECHNODIGIT du Groupe Hexagon Metrology.

### ■ Contrôle des modélisations

Afin d'évaluer la qualité de chaque maillage, une inspection est effectuée entre les quelques points de contrôle tachéométriques et les différentes modélisations. Les mesures déterminées via la station totale sont les valeurs de comparaison pour qualifier les scanners testés.

Lors d'une inspection, le principe est de projeter les points de contrôle sur le maillage issu de chaque instrument (Figure 5). Les vecteurs des différences sont déterminés selon la normale à la surface.

Pour l'analyse, les écarts sont regroupés par classes de 1 mm en fixant les bornes à 10 mm. Les occurrences en fonction des classes nous renseignent sur la précision du calage global par

rapport aux points "doit", le meilleur maillage étant celui fournissant le maximum d'occurrence proche de 0 mm.

### Campagne de l'état 3.5

Lors de la campagne 3.5, 200 points de contrôle répartis uniformément sont utilisés. Cela représente environ 0.3 point par mètre carré. Sur la Figure 6, le C10 et le VZ-400 sortent du lot avec des moyennes proches de 0 mm et des occurrences élevées au centre. Pour la SS2, la dispersion est plus large, mais cela s'explique par les conditions de mesures qui étaient relativement mauvaises (pluie, crépuscule) qui l'ont pénalisée. Quel que soit le logiciel utilisé pour géoréférencer, la courbe du Focus est translatée de 3 mm. Ce systématisme peut s'expliquer par un géoréférencement moins fin.

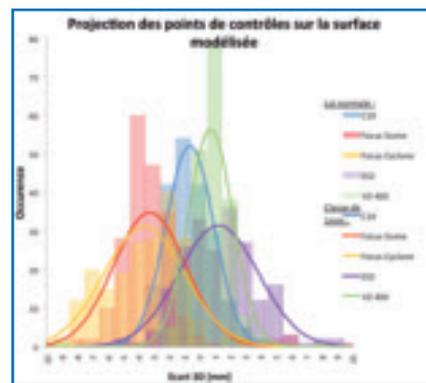


Figure 6. E3.5 Comparaison des maillages par projection des points de contrôles

### Campagne de l'état 4

Cette fois, les maillages ont été comparés à 150 points. Sur la Figure 7, la 1<sup>ère</sup> constatation est que la quasi-totalité des instruments possède des erreurs moyennes plus élevées que lors des tests du mois d'avril. Cela s'explique par des conditions météo variables et des moments de forte humidité sur la doucine (Figure 8). Seul le nuage issu des 2 stations du C5 recouvre l'ensemble du périmètre analysé.

Le graphique mentionne le "C5 -2mm". Il s'agit d'une translation du maillage de 2 mm vers le bas pour l'ajuster sur les points de contrôle. Le C5 étant le seul appareil recouvrant la zone dans son entier, son résultat a été utilisé pour la suite de la réalisation du mandat. Pour ce type de travail, où l'on recherche une grande précision de positionnement du

	Erreur moyenne Absolue (globale)	Alignement des nuages	Liaisons pour l'assemblage	Compensateur actif
ScanStation C10 (Cyclone)	2.2 mm	Non	18	Oui
Focus 3D (Faro Scene)	Valeur non-métrique	Non	18	Oui
Focus 3D (Cyclone)	4.5 mm	Non	18	Non
ScanStation 2 (Cyclone)	3.0 mm	Oui (88 000 pts recouvrement)	17 (2 exclues + Alignement de nuages)	Oui
VZ-400 (Riscan Pro), Effectué par GEOSAT SA	2.6mm (relatif) 1.7 mm (calage global)	Registration en 2 étapes yc. liaisons de plans		Non

Tableau 3. Géoréférencement définitif



Figure 5. Calcul des écarts avec 3DReshaper

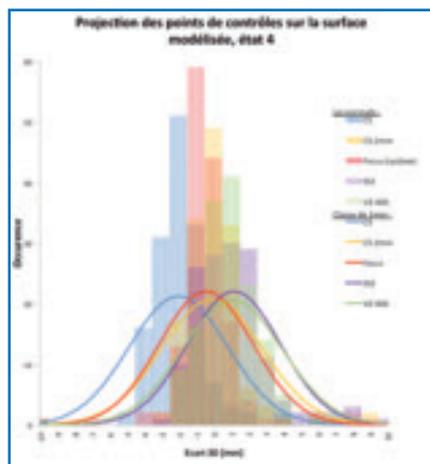


Figure 7. E4 Comparaison des maillages par projection des points de contrôles

maillage, un réajustage par rapport à des points de contrôle permet d'améliorer sensiblement les analyses futures. Finalement, on constate que les 4 instruments permettent une modélisation de la doucine avec une précision recherchée de 5 mm.

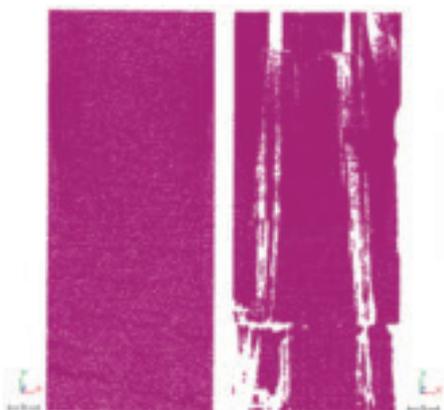


Figure 8. Nuage du C5 à gauche et du SS2 à droite (mauvaises conditions météo)

## Evaluation des différentes modélisations

### ■ Interchangeabilité

La comparaison entre les campagnes E3 (mesures suite à la purge de 2011) et E3.5 (précédant l'ouverture des vannes de fond de 2012) devrait, comme mentionné ci-dessus, fournir un modèle de doucine dans une forme comparable (Figure 9).

Le Tableau 4 présente les pourcentages des points des nuages de chaque scanner qui correspondent avec le maillage réalisé à l'état 3.

Les mesures réalisées avec le C10 sont les plus proches de l'état de référence. Les mesures avec un même instrument

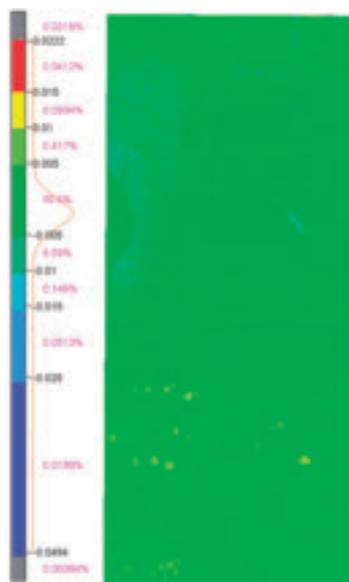


Figure 9. Comparaison E3 (SS2) et E3.5 (VZ-400)

Instrument	Pourcentage entre + 5 mm et - 5 mm
ScanStation C10	97.50 %
Focus 3D (Cyclone)	89.40 %
ScanStation 2	94.30 %
VZ-400	90.60 %

Tableau 4. Pourcentage dans la tolérance de ±5mm

(SS2), mais à des époques différentes et dans des conditions différentes donnent un résultat dans la moyenne. De manière générale, il est possible d'utiliser différents instruments et de retrouver, à près de 90 %, un résultat comparable.

### ■ Volumétrie

En complément de l'inspection précédente, il est également possible de calculer le volume présent entre les deux états. Celui-ci doit se situer à proximité de 0 m<sup>3</sup>.

Selon le Tableau 5, le C10 fournit la valeur attendue. Le VZ-400 et la SS2 sont proches l'un de l'autre (environ

1 m<sup>3</sup>), et pour terminer le Focus 3D est légèrement en retrait, ce qui était déjà visible au niveau des inspections. L'écart provient essentiellement du léger décalage du nuage de 3 mm constaté lors du contrôle via les points tachéométriques. En effet, cette petite translation engendre une variation d'environ 2.0 m<sup>3</sup> (3 mm x 40 m x 17 m). Comme les nuages sont passablement "troués" par les perturbations météo lors de la seconde intervention, le calcul volumétrique n'a pas pu être réitéré entre les états 3 et 4. Seule la ScanStation C5 a mesuré la doucine sèche sur son entier. Pour les autres, les interpolations nécessaires auraient perturbé notablement les résultats.

### ■ Comparaison entre les campagnes E3.5 et E4

La Figure 10 met en évidence l'inspection réalisée entre le nuage E4 (C5) et le maillage E3.5 (C10). On remarque nettement la détérioration du béton sur la gauche de l'image.

Le Tableau 6 présente les résultats de l'inspection entre les campagnes E3.5 et E4 dans différentes plages.

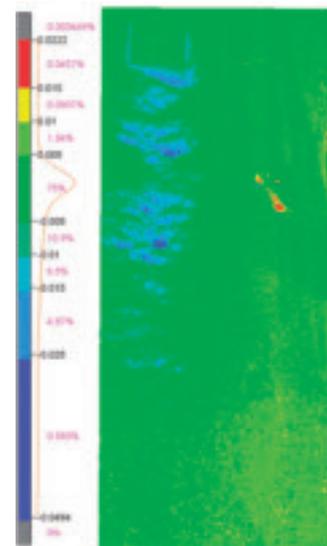


Figure 10.

Instrument	Vol. au-dessus d'E3	Vol. au-dessous d'E3	Différence (m <sup>3</sup> )
C10	0.5	0.4	+ 0.1
Focus 3D (Cyclone)	0.2	1.9	- 1.7
Focus 3D (Scene)	0.2	2.1	- 1.9
VZ-400	1.3	0.2	+ 1.1
SS2	1.5	0.2	+ 1.3

Tableau 5. Ecart volumétriques



Instrument	Pourcentage					
	à + 15 mm	entre + 15 mm et + 5 mm	entre + 5 mm et - 5 mm	entre - 5 mm et - 15 mm	entre - 15 mm et - 25 mm	à - 25 mm
ScanStation C5	0.0%	2.0%	75.0%	17.4%	4.9%	0.6%
Focus 3D (Cyclone)	0.0%	0.7%	63.3%	26.1%	8.5%	1.4%
ScanStation 2	0.1%	2.3%	66.0%	25.6%	5.3%	0.8%
VZ-400	0.0%	0.2%	73.7%	21.4%	4.2%	0.5%
Moyenne	0.0%	1,3%	69.5%	22.6%	5.7%	0,8%

Tableau 6. Pourcentage de points dans différentes plages de l'inspection

On constate que les conditions difficiles qu'ont subies le Focus et la SS2 marquent clairement une différence au niveau des résultats.

Un test avec la version traduite de - 2 mm du maillage du C5, donne 71.7 % des points entre - 5 mm et + 5 mm. Ceci donne une moyenne de 68.7 % et représente un résultat plus cohérent. Finalement, on constate sur toutes les inspections que l'érosion présente en rive droite est toujours identifiable (entre 5 % et 8 % des points entre -15 et -25 mm).

## Conclusions et perspectives

D'une manière générale, les quatre instruments permettent de répondre au besoin d'un mandat du type de celui exécuté lors de cette étude. La précision de 5 mm peut toujours être garantie, même lorsque l'on doit, pour toute raison, changer d'instrumentation.

Tous les instruments se distinguent d'une manière ou d'une autre. En effet, le Riegl VZ-400 offre une certaine rapidité pour exécuter le mandat avec précision et fiabilité.

Au vu de la finesse recherchée, le Faro Focus 3D doit numériser avec une qualité d'au moins 4x, ce qui le ralentit passablement par rapport à la vitesse annoncée. Mais sa maniabilité et sa légèreté le favorisent lors d'accès difficiles.

Le C10 de Leica (ou C5), noble successeur du SS2, a montré sa polyvalence et sa fiabilité pour répondre, même dans des conditions météorologiques changeantes, à un mandat de ce type.

De manière plus générale, l'apport de points de contrôle et parfois l'ajustage des maillages permet d'affiner et de fiabiliser les résultats. Malgré des géoréférences effectués avec soin, dans ce

cas, une translation permet d'optimiser le positionnement du modèle et d'améliorer les interprétations des érosions.

## Remerciements

Hydro-exploitation et tout particulièrement M. Terrettaz, pour la mise à disposition du site et des références.

Leica Geosystems, la succursale de Renens, pour la mise à disposition de la ScanStation C10.

Geosat SA et tout particulièrement M. Schmidt, pour la mise à disposition, la réalisation et le géoréférencement des mesures effectuées avec le VZ-400. EPFL, laboratoire de Topométrie, pour la mise à disposition de la ScanStation C5.

## Bibliographie

DELLEY N., CHAPOTTE G., BARRAS V. 2013.

*ALTer 2, Auscultation via lasers scanners terrestres*, rapport complet, projet de la réserve stratégique de la HES-SO (document sur demande aux auteurs)

BARRAS V., FERREIRA N., *Un scanner pour surveiller le pied d'un barrage*, Revue Géomètre N° 2095, septembre 2012, P.41

FERREIRA N., BARRAS V. 2009. *ALTer, Feuille de route ETAT 0*, rapport complet (document à destination du mandant)

LANDES T., GRUSSENMEYER P., 2011. *Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : systèmes et caractéristiques (partie 1/2)*. REVUE XYZ N°128, P.39-51

LANDES T., GRUSSENMEYER P., 2011. *Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : acquisition, traitement des données et applications (partie 2/2)*. REVUE XYZ N°129, P.25-38

CHAZALY B., 2006 *La lasergrammétrie appliquée à l'auscultation des ouvrages d'art*. REVUE XYZ N° 107, P.18-21.

## Contacts

Vincent BARRAS, professeur  
vincent.barras@heig-vd.ch

Nicolas DELLEY, collaborateur scientifique  
nicolas.delley@heig-vd.ch

Guillaume CHAPOTTE, collaborateur scientifique

guillaume.chapotte@heig-vd.ch

HEIG-VD - Institut G2C - Route de Cheseaux 1  
CH-1401 Yverdon-les-Bains

## ABSTRACT

*In a second step of the project ALTER2 (Auscultation using Terrestrial Laser Scanners), we sought to evaluate the interchangeability of a scanner during a given survey, with the goal of obtaining similar analyze, despite the different technologies and georeferencing processes specific to each manufacturer. In order to get answers to this question, a comparison of several scanners available on the market was conducted in parallel with a request to assess erosion of a discharge ramp located at the foot of an alpine dam. This work was repeated with four scanners, Leica Geosystems ScanStation 2 and C10, Faro Focus 3D and Riegl VZ-400. In the field, as for the georeferencing and different criteria were evaluated. From this practical point of view, the four instruments at the foot of the dam can meet the benchmark: assessing erosion with an accuracy of  $\pm 5$  mm. So as to improve the reliability of the work and to reduce the impact of systematic errors, the contribution of adjustment points is found to be essential. Finally, the advertised speed is often to be put into perspective with the parameters of quality, an element which may significantly extend the acquisition duration, and with many practical aspects (weight, acquisition software) of the instrument.*