

# INSPECTION D'OUVRAGE D'ART ET DIAGNOSTIC DE PAROIS ROCHEUSES PAR LASERGRAMMETIE ET PHOTOGRAMMETRIE

## **BUILT STRUCTURES INSPECTION AND ROCK-WALL DIAGNOSIS BY LASERGRAMMETRY AND PHOTOGRAMMETRY**

Quentin BARBIER<sup>1</sup>, Fabrice GUYOTON<sup>1</sup>, Violaine VIGNON<sup>1</sup>, François ROCHE<sup>1</sup>

*1 - GEOLITHE Ingénieurs Conseils, Crolles, France*

**RÉSUMÉ** – La lasergrammétrie présente des avantages par rapport à la photogrammétrie dans certaines conditions lors du diagnostic de parois rocheuses ou le suivi d'ouvrages d'art. L'objectif est de présenter ces conditions en nous appuyant sur différents cas d'étude : faible luminosité, fort contraste lumineux, présence de végétation ou de protection surfacique, mesures d'altération ou de suintement d'eau.

**ABSTRACT** – Lasergrammetry, under several conditions, presents advantages compared to photogrammetry in the perspective of built structures inspection and rock-wall diagnosis. We present these conditions, using different cases of study: week luminosity, high contrasts, presence of vegetation or protective mesh, alteration measures or water seepage.

### 1. Introduction

La lasergrammétrie et la photogrammétrie sont des techniques de surveillance de plus en plus reconnues et utilisées pour la caractérisation et l'inspection d'ouvrages d'art et le suivi des sites naturels, notamment des escarpements rocheux. La lasergrammétrie utilise un LIDAR 3D couplé à une image haute définition. Un rayon laser utilise la déviation de la lumière pour mesurer à chaque point rencontré sa distance et sa réflectivité, et en calcule les coordonnées (Marshall, 2004 ; Vosselman et Mass, 2010). La multiplication des points de vue permet d'obtenir un ensemble de points 3D appelé nuage de points. Une photographie haute définition, calibrée et référencée, est couplée à ces mesures.

La photogrammétrie s'appuie sur la vision d'un objet depuis deux points de vue différents. Elle exploite les calculs de corrélation entre les images numériques afin de reconstituer une copie 3D exacte de la réalité, technique qui repose sur la modélisation rigoureuse de la géométrie des images et de leur acquisition.

Chacune de ces méthodes présente des avantages et inconvénients, tant en termes de coût d'investissement, de temps d'acquisition, de temps de traitement, qu'en précision des données obtenues. Différentes études ont déjà été réalisées pour comparer ces deux techniques. Charbonnier et al., 2013 montrent que les données acquises dans un tunnel par photogrammétrie sont tout à fait comparables en termes de précision et de fiabilité à celles obtenues par lasergrammétrie. Aujourd'hui, la photogrammétrie présente des limites dans certaines conditions, que la lasergrammétrie permet de palier : présence de végétation ou d'ouvrages de protection de surface (grillage), contre-jour, zones de luminosité nulle ou de forts contrastes lumineux. Par ailleurs, un des enjeux important de ces techniques est le géoréférencement (Reshetyuk, 2009), c'est-à-dire l'intégration de ces nuages de points dans un système de coordonnées mondiales. L'objet de cet article est de présenter les conditions spécifiques dans lesquelles la lasergrammétrie présente un atout en comparaison avec la photogrammétrie. Pour cela, nous avons comparé des

données obtenues à partir d'un scanner laser LIDAR et de deux appareils photos, aux caractéristiques techniques différentes.

## 2. Comparaison de levés numériques 3D obtenus par lasergrammétrie et photogrammétrie

### 2.1. Matériel

#### 2.1.1. Scanner laser terrestre (SLT)

Le scanner laser terrestre est un instrument topographique permettant une acquisition sans contact à haute vitesse à l'aide d'un faisceau laser et d'un mécanisme de balayage rapide. Il mesure la distance entre l'émetteur du rayon et l'objet réfléchissant (Fricout, 2009). Au cours de notre étude, nous avons utilisé un scanner à temps de vol permettant d'acquérir entre 42 000 et 122 000 points par seconde de portée maximale 600m. Les caractéristiques techniques du scanner sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Données techniques du scanner LIDAR utilisé pour l'étude

Type d'instrument	Scanner laser à temps de vol
Classe de laser	Classe 1 (aucun danger dans des conditions d'utilisation raisonnables)
Cadence d'acquisition	42 000 à 122 000 points/s
Champ de vision	360° dans le plan horizontal 100° dans le plan vertical
Résolution angulaire	0,0024 °
Précision angulaire	0,0005°
Précision en distance	3 mm à 100 m
Précision sur la précision d'un point	5 mm à 100 m
Portée minimale	1,5 m
Portée maximale	600 m
Divergence du faisceau laser	0,30 mrad
Géoréférencement	Direct ou indirect

#### 2.1.2. Appareil photo numérique haute définition (HD)

Tableau 2 : caractéristiques techniques des appareils photos numériques de l'étude

	Appareil photo numérique très haute définition	Smartphone
Format du capteur	Plein format 24 x 36	Equivalent 24 x 36
Définition du capteur	42.4 MPixels	8 MPixels
Type de capteur	CMOS	CMOS
Sensibilité ISO min	100	
Sensibilité ISO max	25600	
Sensibilité max étendue	102400	
Définition capteur largeur en pixels	7952	3264
Définition capteur hauteur en pixels	5304	2448

L'appareil photographique haute définition utilisé est un appareil photographique reflex numérique professionnel commercialisé en Europe en juillet 2015. Il est doté d'un capteur CMOS (Complementarity metal-oxide-semiconductor) rétroéclairé plein format (24 x 36)

de 42,4 mégapixels. Ce type de capteur permet d'acquérir des photos à très haute résolution. Le Tableau 2 présente les principales caractéristiques techniques de cet appareil photographique.

### 2.1.3. Smartphone

Le smartphone utilisé a été commercialisé en septembre 2013. Le capteur de l'appareil photo présente une définition de 8 mégapixels et mesure 6 x 4.8 mm. Il possède un logiciel de correction des distorsions intégré. Ses caractéristiques techniques sont présentées dans le Tableau 2.

## 2.2. *Méthodologie :*

Nous avons comparé les données numériques 3D obtenues par lasergrammétrie, et par photogrammétrie avec deux appareils photos : un smartphone standard, et un appareil photo numérique très haute définition destiné au grand public. Pour réaliser cette comparaison, nous avons analysé une paroi rocheuse de 20 m de haut sur 20 m de long, située sur la commune de Crolles (Isère, France) (Figure 1). Cette paroi présente plusieurs plans structuraux bien identifiables : discontinuité stratigraphique entre les alternances de bancs marno-calcaires, et plans de fracturation. Ces plans forment des zones d'ombre (surplomb rocheux), et une faible végétation recouvre une partie de l'affleurement.

Les données de lasergrammétrie ont subi un traitement permettant d'éliminer automatiquement une partie de la végétation (traitement par les échos). Généralement, en photogrammétrie, les nuages de points sont recalés à partir de mesures ponctuelles réalisées par tachéomètre. Pour ne pas introduire de biais, nous avons recalé les nuages de points photogrammétriques à partir de mesures ponctuelles issues du scanner laser. La comparaison des différents nuages de points s'effectue par mesure des distances entre les points, en utilisant le laser comme référence.

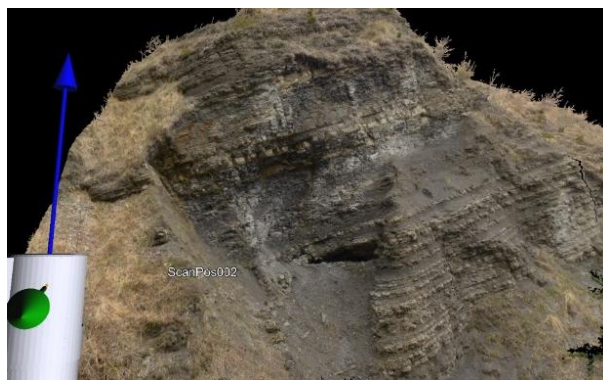


Figure 1. Affleurement rocheux de Crolles (38). Nuage de points colorisé obtenu par lasergrammétrie.

## 2.3. *Précision*

La comparaison des nuages de points obtenus par lasergrammétrie et photogrammétrie est présentée sur la Figure 2. On observe très peu de différences entre les données lasergrammétriques et photogrammétriques issues de l'appareil photo très haute résolution : la majorité des écarts est située en dessous de 1 cm, avec un écart type sigma de 1.8. Au contraire, les données obtenues avec le smartphone présentent des écarts beaucoup plus marqués avec la lasergrammétrie : la majorité des écarts est située autour de 1.8 cm, avec un sigma de 3.5. Cette comparaison des deux types de nuages de points

montre que la résolution de l'appareil photo influe dans la précision du nuage de point. Plus la résolution de l'appareil photo est grande, meilleure est la précision. Quel que soit la résolution de l'appareil photo, les écarts principaux sont localisés sur les zones de végétation et les zones de surplombs entraînant de l'ombre.

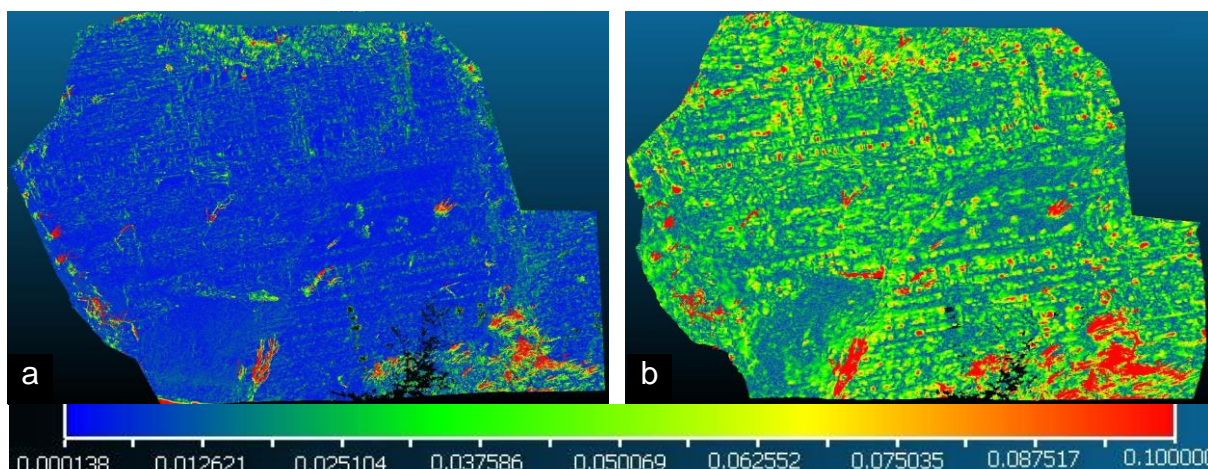


Figure 2. Comparaison des nuages de points obtenus par lasergrammétrie et photogrammétrie avec l'appareil photo numérique très haute définition (a) et le smartphone (b). Les couleurs correspondent aux distances (en m).

## 2.4. Zones d'ombre

Les zones d'ombre concentrent les écarts les plus importants entre les différentes méthodes d'acquisition (Figure 3). Le smartphone présente des écarts supérieurs à 10 cm, tandis que l'appareil photo haute résolution est plus précis. Toutefois les écarts dépassent les 5 cm. Ces différences sont dues aux contrastes de luminosité importants qui ne sont pas bien pris en compte par les appareils photos numériques. Une acquisition spécifique pour ces zones est nécessaire, en adaptant l'exposition.

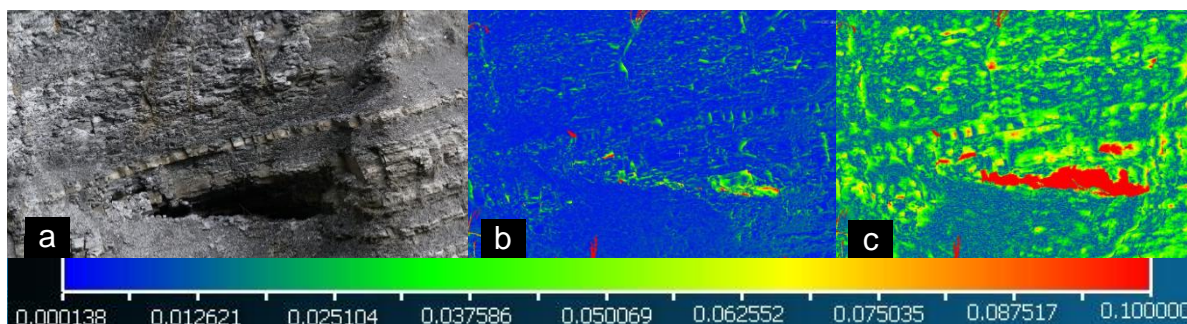


Figure 3. Comparaison des données au niveau du surplomb. Photographie du surplomb (a) Comparaison (en m) entre le nuage de points issu du scanner laser et du nuage de points généré à partir de l'appareil photo très haute résolution (b), et du smartphone (c).

## 3. Apports de la lasergrammétrie

### 3.1. Géoréférencement

Le géoréférencement est essentiel pour pouvoir ensuite replacer les objets étudiés dans un référentiel universel, et y intégrer d'autres données. La position absolue du LIDAR est

définie par un récepteur GPS (Global Positioning System) intégré de précision inframétrique. En pratique, pour améliorer le positionnement du LIDAR sur le terrain, il est couplé avec un récepteur GPS RTK lui permettant d'atteindre une précision centimétrique (Jaboyedoff et al., 2012). En cas de mauvaise réception GPS du laser, le géoréférencement est obtenu par visée avec le LIDAR de points géoréférencés connus (Wilkinson et al., 2010). Dans ce cas, il est nécessaire d'appliquer une transformation des coordonnées propres du scanner, vers un système de coordonnées global, en utilisant un minimum de 4 points géoréférencés. Cette transformation est ensuite appliquée à l'ensemble du nuage de point.

En photogrammétrie, le géoréférencement des données s'effectue d'après la méthode dite de triangulation en utilisant une station totale. La position de la station totale est déterminée à partir de références connues, puis les points caractéristiques (où cibles) sont levés afin de recalibrer les données photogrammétriques dans un référentiel absolu. Cette méthode nécessite donc un appareil spécifique supplémentaire pour pouvoir géolocaliser l'objet étudié.

### 3.2. Zones peu exposées à la lumière

En conditions de noir total, le LIDAR présente l'avantage de pouvoir acquérir des données sans dégradation de leur qualité. Au contraire, en photogrammétrie, il est recommandé d'utiliser une seule source lumineuse proche de l'objectif afin de minimiser la présence d'ombres, mais qui ne permet pas un éclairage naturel.

### 3.3. Végétation et ouvrages de protection surfaciques ou linéaires

Les données obtenues avec le scanner laser peuvent être filtrées automatiquement afin de séparer une partie de la végétation du reste de l'affleurement, en utilisant des techniques de traitement du signal avancées, appelées « online waveform processing ». En jouant sur les échos des signaux émis, il est possible de sélectionner les points correspondant à la végétation ou à un grillage pendu le long d'une paroi. Cependant, aucun traitement automatique ne permet de réaliser cette séparation avec les points obtenus par photogrammétrie. Il est cependant possible de sélectionner manuellement les points correspondant à la végétation, et de les supprimer. Cette opération, longue et fastidieuse ne donne aucune information sur les surfaces présentes derrière la végétation, et qui n'ont pas été correctement « visualisées » par la photogrammétrie.

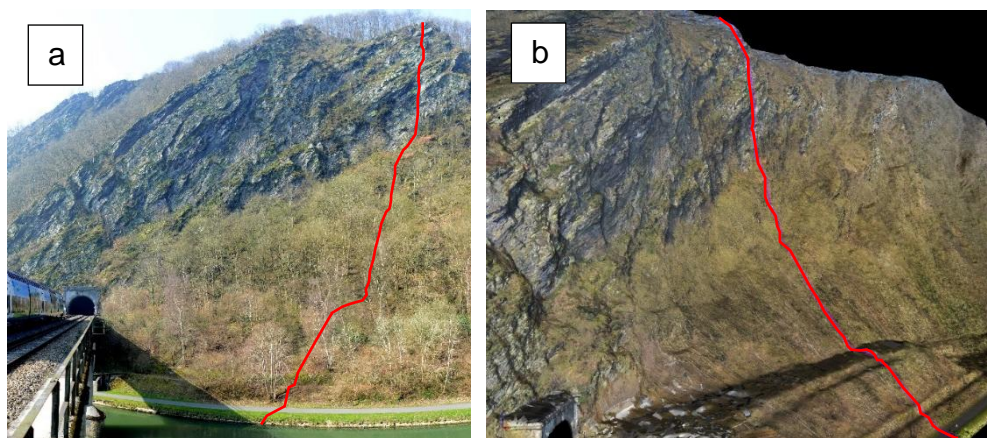


Figure 4. Données lasergrammétriques: Photographie du site avec présence de végétation (a) et MNT texturé après filtrage de la végétation (b), Le trait rouge représente le profil trajectographique réalisé.

Dans le cas de la paroi rocheuse de Laifour (09), une végétation assez dense recouvre la partie inférieure de l'affleurement (Figure 4), et masque la présence d'un merlon, qui n'avait pas été remarqué lors de l'étude de terrain. Sur ce secteur, la photogrammétrie ne permet pas de réaliser de MNT de qualité, contrairement à la lasergrammétrie qui a permis de visualiser et caractériser le merlon existant, et d'obtenir un MNT précis de l'ensemble du versant, utilisable pour la modélisation trajectographique.

De même, la lasergrammétrie permet de s'affranchir d'objets surfaciques tels que les grillages plaqués au-dessus de parois rocheuses. La figure 5 montre la discrimination automatique des échos générés par les grillages pendus, des échos générés par la paroi. Notons que dans ce cas, il est nécessaire de multiplier les stations et d'augmenter la résolution angulaire par rapport à un levé classique pour obtenir suffisamment de points sur la paroi rocheuse et réaliser un maillage précis. Ceci augmente sensiblement la durée d'acquisition et de traitement des données.

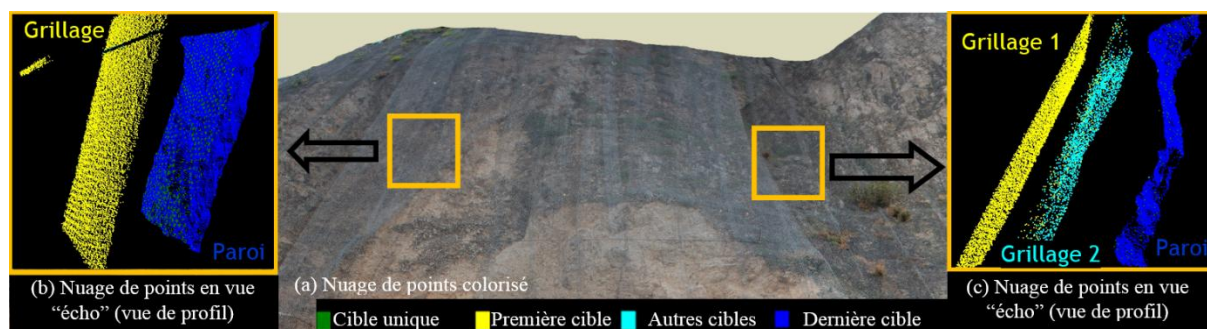


Figure 5. Levé lasergrammétrique avec le nuage de points colorisés obtenu (a) et la discrimination d'un (b) ou deux (c) nappes de grillage pendu.

### 3.4. Réflectance

Lors de l'acquisition, le scanner mesure la réflectance qui permet de mettre en évidence des suintements d'eau et renseigne également sur l'altération des bétons. La réflectance est le rapport entre l'intensité du signal retour d'un objet et l'intensité du signal retour d'une cible blanche réfléchissante située à la même distance. Les valeurs négatives indiquent une réflexion diffuse, tandis que les valeurs positives sont généralement des cibles réfléchissantes.

#### 3.4.1. Suintement d'eau

La mesure de présence d'eau est essentielle lors du diagnostic de parois rocheuses ou d'ouvrages d'art car l'eau peut avoir plusieurs effets nocifs sur les roches et les ouvrages : Une action mécanique, statique ou dynamique ; une action chimique : l'eau peut dissoudre et oxyder les roches et le béton ; une action minéralogique : les phénomènes d'hydratation.

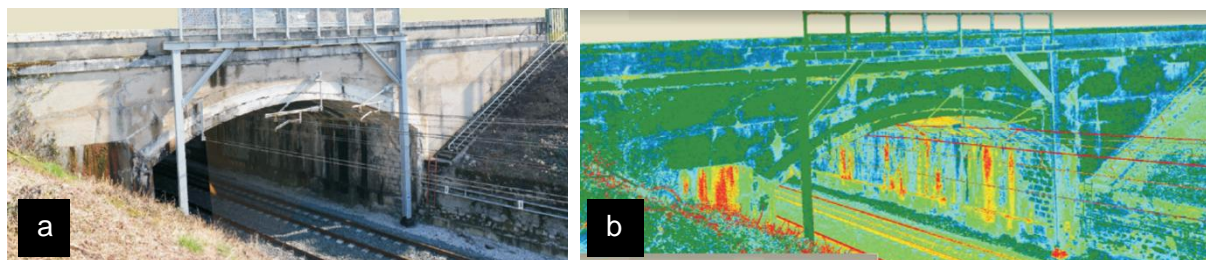


Figure 6. Mise en évidence de suintement d'eau sur un ouvrage d'art à Tencin (38)  
(a) Nuage de points colorisé ; (b) Nuage de points vu en réflectance

Le suintement de l'eau n'est pas toujours rapidement identifiable. La réflectance permet de mettre en évidence la présence de légères coulées ou de suintements, visible en rouge et jaune sur la Figure 6 (B). Notons qu'en cas de ruissèlement, le rayon laser n'est pas réfléchi donc aucune mesure n'est acquise.

### 3.4.2. Altération superficielle des bétons

Le béton armé est le matériau le plus utilisé pour la construction d'ouvrages d'art de par son coût financier, mais également du fait de sa résistance mécanique. Chaque ouvrage doit être régulièrement inspecté afin de définir des travaux d'entretien et de réparation pour que l'ouvrage puisse durer dans le temps. Pour ce type de prestation, la réflectance obtenue par LIDAR permet de réaliser un diagnostic complet sur l'état de surface des bétons, en faisant ressortir les zones plus ou moins altérées selon une échelle de couleur. Cette analyse peut être réalisée à distance et permet un réel gain de temps, comme dans le cas de l'étude de l'ouvrage au-dessus d'une voie SNCF présenté en figure 7, où l'analyse du degré d'altération du béton a pu être réalisée sans fermeture de la voie. Les zones en rouge sur la figure 7 C correspondent à des épaufrures (cassures d'arrêtes), c'est-à-dire aux zones où l'altération du béton est la plus importante. Les zones en vert clair et bleu turquoise qui correspondent à un réseau de microfissures (faïencage), attestent de l'altération du béton. A contrario, les zones vertes foncées n'ont pas subi de dégradations marquantes.

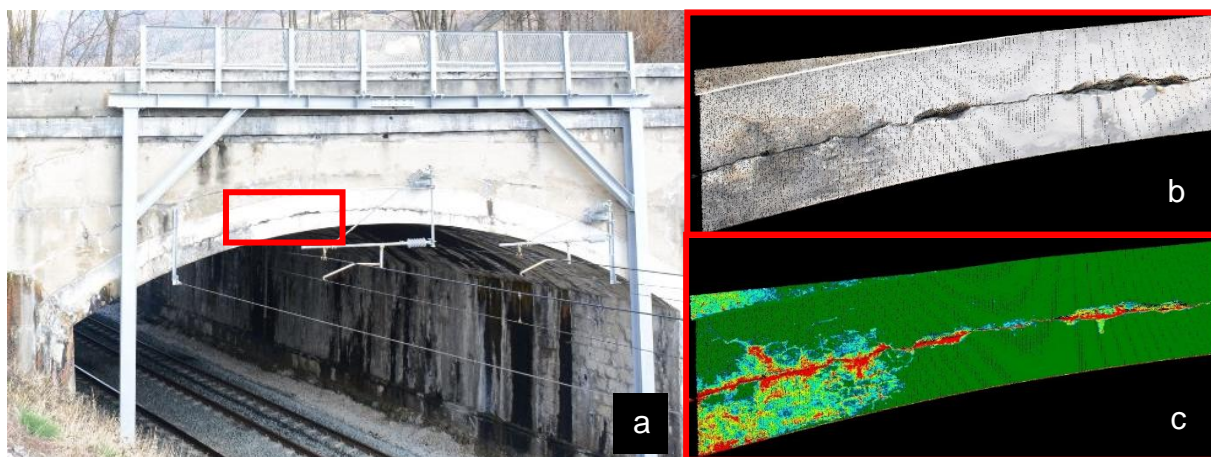


Figure 7. Mise en évidence de l'altération du béton sur un ouvrage d'art à Tencin (38) ; (a) Photographie HD ; (b) Nuage de points colorisé ; (c) Nuage de points vu en réflectance.

### 3.5. Mesures de fractures

Les techniques lasergrammétrique et photogrammétrique permettent de détecter des déplacements / déformations par la réalisation de mesures successives du même objet. La Figure 8 montre la mesure de l'ouverture d'une fissure en différents points à partir de données lasergrammétriques. La précision du déplacement décelable par cette technique va dépendre de la morphologie de l'objet suivi et de la topographie de la zone environnante : pour pouvoir visualiser des déplacements infra-centimétriques, il est nécessaire de réduire la distance entre le laser et l'objet, et de réduire l'angle d'incidence (<45°). La photogrammétrie par multi-corrélation d'images est plus adaptée sur ce type de désordres puisque le déplacement infra-millimétriques est perceptible.

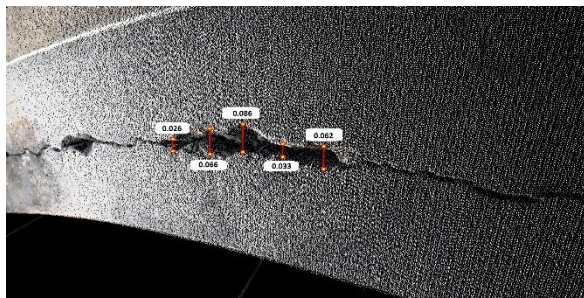


Figure 8. Mesure par photogrammétrie de l'ouverture d'une fissure (en m) sur un ouvrage d'art à Tencin (38)

#### 4. Conclusion

Les techniques lasergrammétrique et photogrammétrique permettent d'obtenir des données de mesures 3D de haute qualité. Ces deux méthodes complémentaires, permettent de répondre aux caractéristiques spécifiques de chaque site étudié. Si la photogrammétrie est aujourd'hui plus précise pour les mesures de très haute précision (infra-millimétriques), la lasergrammétrique est plus polyvalente et devient incontournable en cas de faible luminosité, ou lorsque la zone d'étude est végétalisée ou recouverte d'ouvrages de protection (surfaciques ou linéaires). Par ailleurs, la mesure de la réflectance intégrée au processus, ainsi que la facilité du géoréférencement constituent aussi des atouts majeurs en faveur de cette technique. Malgré un coût de revient global (acquisition et traitement) légèrement supérieur, les informations complémentaires ainsi que la facilité de traitement de la lasergrammétrique, représentent une plus-value en comparaison à la photogrammétrie.

#### 5. Références bibliographiques

- Charbonnier P., Chavant P., Foucher P., Muzet V., Prybyla D., Perrin T., Grussenmeyer P., Guillemain S., Accuracy assessment of a canal-tunnel 3d model by comparing photogrammetry and laserscanning recording techniques. ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 1, n. 2, p. 171-176, 2013.
- Fricout B, (2009). Application de deux méthodes de télédétection rapprochée à l'étude des escarpements rocheux instables : la photogrammétrie et la scannerisation laser. Thèse de doctorat, Université de Savoie - Spécialité Géologie.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R., Pedrazzini, A., 2012. Use of lidar in landslide investigations: a review. Nat. Hazards 61, 5–28.
- Marshall, G. F. Handbook of Optical and Laser Scanning Ch. 2 (Dekker, 2009).
- Reshetyuk Y. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Doctoral thesis in infrastructure, geodesy. Stockholm: Royal Institute of Technology (KTH) ; 2009.
- Vosselman, G., Mass, H. G., 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publishing
- Wilkinson, B. E., Mohamed, A. H., Dewitt, B. A., Seedahmed, G. H., 2010. A novel approach to terrestrial lidar georeferencing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 76 (6), 683–690.