

<b>Zeitschrift:</b>	Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio
<b>Herausgeber:</b>	geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement
<b>Band:</b>	116 (2018)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Auscultation : complémentarité du laser et de l'image
<b>Autor:</b>	Barras, V. / Cannelle, B.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-815956">https://doi.org/10.5169/seals-815956</a>

### **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:** 17.01.2026

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

# Auscultation: complémentarité du laser et de l'image

De nos jours, la surveillance d'ouvrages ou de falaises peut être effectuée par combinaison de plusieurs techniques et les évolutions sont rapides. Dans cet article, nous allons vous présenter, au travers d'un cas concret, l'utilisation combinée de la photogrammétrie et de la lasergrammétrie. Sur une surface naturelle comme une falaise, une finesse des résultats de 1 à 2 centimètres est atteignable pour une surface en mouvement plus grandes que  $1/4 \text{ m}^2$  en raison de la végétation et de la structure de la roche. Pour fiabiliser les mouvements soupçonnés sur des secteurs encombrés par la végétation, la photographie est un appui important et une aide à la décision très intéressante.

*Heutzutage kann die Überwachung von Bauwerken oder Felsabhängen in Kombination von verschiedenen Techniken durchgeführt werden. In diesem Beitrag wird anhand eines konkreten Falles die kombinierte Verwendung der Photogrammetrie und der Lasergrammetrie dargestellt. Für eine natürliche Fläche wie einen Felsabhang, grösser als  $1/4 \text{ m}^2$ , kann in Abhängigkeit der Vegetation und der Struktur des Felsens eine Genauigkeit der Resultate von 1 bis 2 Zentimetern erreicht werden. Um die Zuverlässigkeit der vermuteten von Vegetation besetzten Sektoren abzuschätzen, ist die Photogrammetrie eine wertvolle Stütze und sehr interessante Hilfe für die Entscheidungsfindung.*

Oggi giorno la vigilanza delle opere o delle scogliere può essere realizzata abbinando diverse tecniche e in questo campo le evoluzioni sono rapide. In quest'articolo presentiamo, partendo da un caso concreto, l'utilizzo combinato della fotogrammetria e della lasergrammetria. Su una superficie naturale, come una scogliera, a causa della vegetazione e della struttura della roccia si raggiunge una precisione di risultato da 1 a 2 centimetri per una superficie in movimento superiore a  $1/4 \text{ m}^2$ . Per rendere più affidabili i movimenti presunti nelle zone ricoperte da vegetazione, la fotografia costituisce un importante aiuto e un interessante supporto decisionale.

V. Barras, B. Cannelle

## 1. Introduction

Aujourd'hui entrés dans la palette de la géomatique, les scanners lasers terrestres sont de plus en plus utilisés pour les relevés et les modélisations 3D. La précision de ce type d'appareils permet de compléter les moyens disponibles pour la surveillance de structures ou d'éléments naturels en mouvement, comme les tachéomètres par exemple. Avec les lasers scanners, les informations fournies ne sont plus ponctuelles, mais surfaciques.

Sur tout type d'ouvrage, la pose de matérialisation permet aisément une détec-

tion de mouvement inférieur ou égale au millimètre. Est-il possible d'atteindre une telle précision, où de s'en approcher sans la pose de repères?

Pour évaluer les techniques de détection de mouvements potentiels, le laboratoire

de topométrie de l'institut Insit de la HEIG-VD, s'est basé sur un cas concret qui vous est présenté une des méthodologies possibles.

### 1.1 Application – Falaise de Hauterive (FR)

La falaise de Hauterive (figure 1), située sur une parcelle du Groupe E, est parsemée de végétation, herbes, mousses, arbres. Elle est irrégulière et présente des secteurs en surplomb. Ce pan de molasse a déjà subi, à quelques reprises, des décrochements importants.

Depuis l'automne 2014, le laboratoire de topométrie de insit teste, en parallèle d'une surveillance d'une vingtaine de cibles observées par tachéométrie, une auscultation surfacique par combinaison de lasergrammétrie et d'images.

L'auscultation surfacique impose de fournir une information continue sur le secteur à contrôler. Cependant, l'ensemble de la surface n'est pas toujours représentatif des mouvements recherchés. Ensuite, il n'est pas toujours facile via un nuage de points d'identifier les objets afin de savoir s'il s'agit d'un mouvement réel ou tout simplement d'un élément de végétation qui a grandi ou qui s'est déplacé à cause du vent. Même si les lasers sont munis de caméras, on ne peut pas toujours s'en servir pour identifier des détails fins de la scène.

### 1.2 Matériels utilisés

Pour le travail lasergrammétrique, un scanner laser VZ1000 de la firme Riegl est utilisé. Sur le terrain, les 4 mêmes positions sont répétées à chaque intervention pour proposer un nuage brut avec un point par  $\text{cm}^2$  au minimum.



Fig. 1: Falaise d'Hauterive.

Un complément photogrammétrique avec motorisation est réalisé depuis deux stations afin d'obtenir une couverture photographique de la zone de l'ordre du mm par pixel. Cela représente plus de 350 photos par station.

## 2. Techniques d'acquisition et traitement

### 2.1 Traitements lasergrammétique

Il existe à l'heure actuelle, plusieurs techniques pour détecter des mouvements: comparaison nuage/nuage, comparaison nuage/maillage ou encore comparaison maillage/maillage. Chacune de ces techniques a été évaluée [Barras et al, 2017] et nous avons choisi d'utiliser la comparaison de maillage/maillage. Il s'agit dans un premier temps, de créer un maillage de références qui servira pour la comparaison des états suivants.

Le traitement des nuages de points de chacun des états se décompose en plusieurs étapes:

- Le géoréférencement
- Le filtrage et le nettoyage des nuages
- La modélisation
- L'inspection et la validation des mouvements

Hormis le géoréférencement, l'étape la plus importante dans ce flux est le filtrage de la végétation pour que celle-ci influence le moins possible la création du maillage, en tenant compte des nombreux paramètres du logiciel utilisé. Les 2 campagnes de référence, réalisées sur 2 journées successives, permettent d'affiner puis valider la paramétrisation du flux de traitement.

Pour ce projet, le résultat final des filtrages et lissages fournit un modèle avec une maille de 10cm de côté. Pour éviter des interpolations incohérentes avec le terrain, la taille maximale des triangles est fixée à 50cm. Au-delà, la modélisation n'est pas réalisée car soit le secteur est invisible depuis les différents points d'observation, soit cette zone est trop recouverte de végétation. Sur ces «trous» aucune recherche de mouvements ne sera effectuée.

L'inspection visible ci-dessous montre la comparaison entre les états E1 et E2 (figure 2).

Les couleurs chaudes renseignent sur des secteurs qui sont tombés (décrochement) entre les deux états de mesures. Les couleurs froides montrent des zones en mouvement. Cette inspection permet d'affirmer que la falaise est stable avec environ 94% des écarts 3D dans la plage du centimètre.

Cependant malgré le traitement de la végétation, il est possible que certaines zones ne soient pas parfaitement filtrées. Cela a pour conséquence de considérer un secteur en mouvement, respectivement décroché, alors qu'il s'agit d'une déformation des maillages résultant de la présence de végétation.

Pour contrôler le résultat proposé par cette carte d'inspection, l'apport des images est un complément intéressant.

### 2.2 Traitements photogrammétiques

Le boîtier utilisé est un Canon 5D mark III muni d'objectif 400mm afin d'avoir une résolution de l'ordre du mm. La photo prise a un champ visuel de quelques degrés (1.5 par 2). La prise de vue est pilotée grâce à une tête panoramique motorisée qui permet d'assurer un recouvrement de 15% entre clichés. Un traitement photogrammétrique classique est ensuite réalisé afin de générer une image panoramique continue par station:

- Calculs de points homologues entre images (figure 3a)

- Calculs de la calibration de la caméra et ajustage des images (figure 3b)
- Génération de la panoramique (plusieurs gigapixels) (figure 3c)
- Géoréférencement grâce à des points naturels et/ou des cibles. Ce géoréférencement est aujourd'hui réalisé par l'HEIG-VD car il n'existe pas encore d'outils sur le marché permettant de géoréférencer des panoramiques (ne représentant pas une emprise 360° x 180°).

Les figures 3 ci-dessous illustrent le résultat de cette succession de traitements. Nous n'avons pas choisi dans ce cas l'utilisation du drone pour effectuer cette couverture photographique. A l'heure actuelle, la plupart des drones utilisent le GPS pour aider au pilotage, ce qui n'est pas simple à proximité de falaises (masque GPS, multi-trajets...). Pour les drones n'utilisant pas cette technique, il faut un pilote chevronné pour pouvoir les faire voler à proximité d'une paroi avec de la végétation, afin de garantir le relevé systématique et le recouvrement nécessaire au projet. Toutes ces raisons rendent l'utilisation de drones inappropriée dans le cas d'un suivi périodique. Par contre, il est un très bon allié pour pouvoir visualiser une zone très précise sous toutes les coutures.

## 3. Exploitation des données et résultats

### 3.1 Exploitation

L'exploitation se déroule en 2 temps. Le 1<sup>er</sup> correspond au traitement en parallèle des processus décrit précédemment (cha-

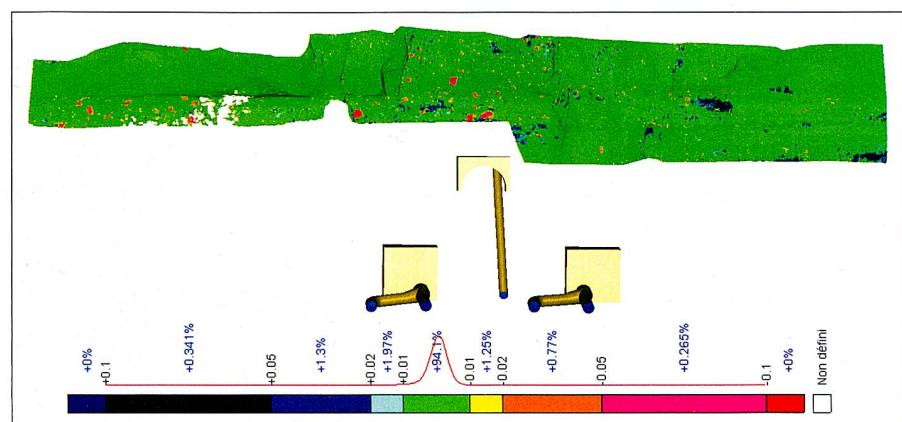


Fig. 2: Inspection E1 – E2 [m].

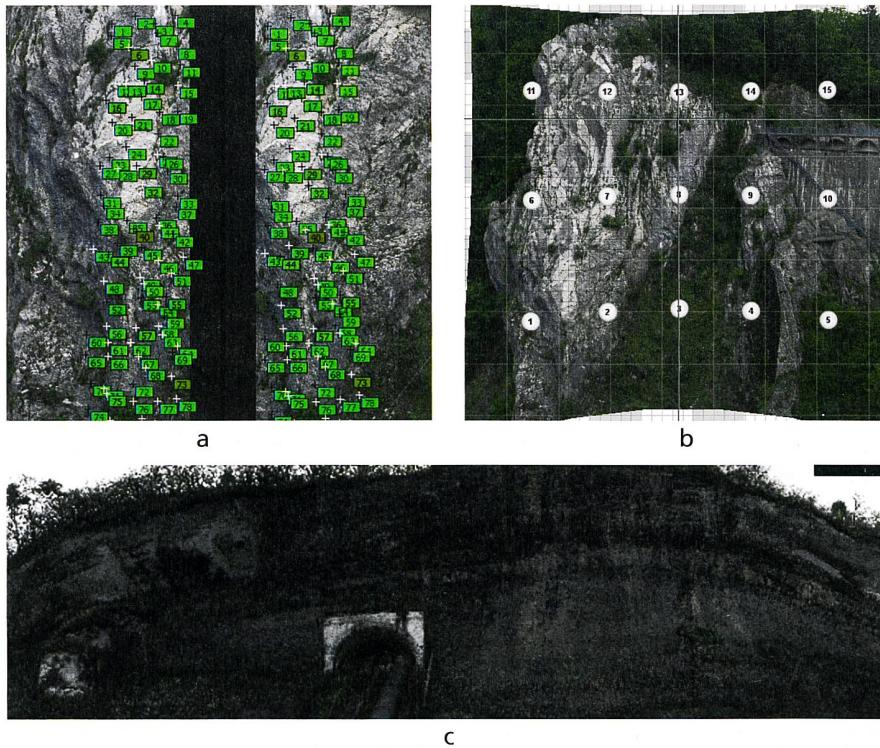


Fig. 3: Processus de traitements des images.

pitre 2). Le second temps consiste à utiliser les 2 sources de données conjointement.

Pour cela, un outil spécifique est en développement en interne à l'HEIG-VD, faute d'outil existant afin de naviguer de manière synchrone dans les données 3D (maillages créés lors de l'inspection) et 2D (panoramiques de plusieurs giga pixels). Cette deuxième étape est faite par un opérateur qui va aller sur chaque zone de déplacement potentiel, afin de confirmer, ou d'informer la détection.

La figure 4 illustre ce principe. Les flèches vertes indiquent des mouvements réels de la falaise tandis que la flèche rouge indique une ambiguïté: est-ce la végétation qui a grossit? est-ce la falaise qui a eu une perte de matière? En l'absence de réponse à cette question (sans retourner sur place ou en utilisant une autre méthode), nous classifions ces éléments comme «indéterminé». Cela permet au mandant de définir, s'il y a lieu, des mesures de suivis complémentaires.

Dans l'exemple ci-dessus, sans complément photographique de qualité, il est impossible de définir si cette détection est

un mouvement réel de la falaise ou simplement de la végétation mal filtrée.

### 3.2 Résultats

Voici plusieurs états de calculs sur notre site. Tout d'abord, il est intéressant de voir que la plupart des zones en mouvements entre les inspections E0 et E1 (figure 5) sont tombées à l'inspection E2 (figure 6) (il s'agit des cercles jaunes, dont les mouvements sont en bleu sur la figure 5 puis deviennent rouge sur la figure 6).

Les cibles topométriques, installées pour vérifier la cohérence entre les données d'inspection obtenue via notre technique, n'ont absolument pas bougé (points cyans sur les figures 5 et 6). En effet, lors de l'installation des cibles, la paroi a préalablement été nettoyée et purgée ce qui fait que la falaise n'a subi aucune érosion.

La méthode de surveillance surfacique présentée ci-dessus demande un regard critique des déplacements constatés. À ce jour, il n'existe pas de solutions automatiques fiables pour éliminer les aberrations résultantes de la végétation tout en détectant les mouvements. L'apport

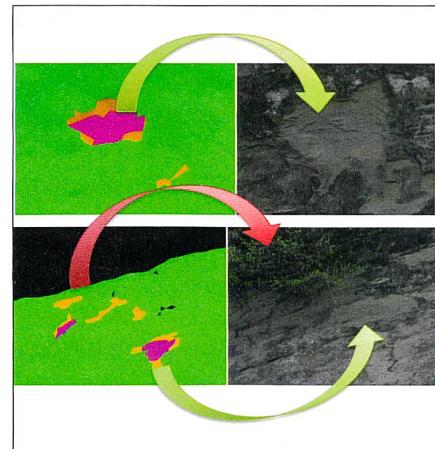


Fig. 4: Processus de confirmation/infirmation de mouvements.

d'images à meilleure résolution permet de lever les doutes, même si le processus reste pour l'instant manuel. L'automatisation ne fonctionnant pas à 100% pour lever une ambiguïté, il est préférable de traiter l'ensemble des données manuellement sur les zones.

## 4. Conclusions et perspectives

Au travers de cet exemple pratique, il est démontré que l'auscultation surfacique d'ouvrage est aujourd'hui une réalité qui peut fournir des informations quasi continues. La solution combinant la lasergrammétrie et l'imagerie donne des résultats complets et l'expérience montre que l'historique photographique est un complément très apprécié des décideurs. Ce processus demande une instrumentation et surtout des moyens de calculs conséquents. Le réalisateur doit toujours garder à l'esprit le flux complet de ses travaux jusqu'à la faisabilité de la diffusion des Gb de données acquises sur le terrain.

Les perspectives d'automatisation sont encore très nombreuses et les solutions qu'offrent les logiciels s'étoffent très régulièrement pour proposer des solutions toujours plus efficaces, structurer et modéliser l'environnement issu de ces rasters 3D. Dans le cadre de l'auscultation, il est primordial de comparer des modélisations basées sur des algorithmes identiques. Le peu d'informations sur les

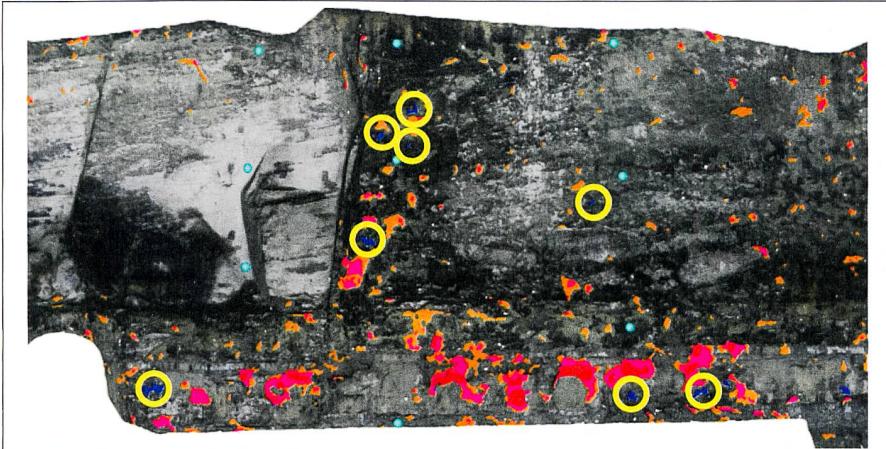


Fig. 5: Inspection E0 – E1 (cercles jaunes = zones en mouvements).



Fig. 6: Inspection E1 – E2 (cercles jaunes = décrochements).

algorithmes implémentés oblige régulièrement le mandataire à retraiter d'anciens états pour assurer une continuité dans ses analyses de mouvements.

Malgré les immenses progrès, il reste encore une part non négligeable de travaux manuels, pas encore automatisés. Les mesures géodésiques apportent depuis longtemps des informations primordiales en donnant des mouvements absolus des ouvrages d'art. Les mesures GNSS apportent des déplacements globaux avec une précision de quelques millimètres, indépendamment des mouvements régionaux. Les mesures tachéométriques et de nivellation fournissent des indications ponctuelles submillimétriques par rapport aux points jugés fixes situés autour de l'objet.

Aujourd'hui, grâce à la lasergrammétrie et de l'imagerie, l'offre de solutions

s'agrandit et permet de fusionner des aspects d'auscultation visuelle avec des éléments métriques de mesures de défor-

mations de manière surfacique. De plus, la mesure sans réflecteurs offre des solutions pour suivre des régions où la pose de repères est un problème majeur. Par la combinaison de ces différentes techniques (figure 7), le géomaticien peut répondre à une palette toujours plus large de problématiques relatives aux contrôles d'ouvrages et fournir des informations capitales pour la sécurité.

## Remerciements

- Groupe E, partenaire sur le projet AuLI – H).
- Aux différents assistants ayant collaborés aux acquisitions et aux traitements des données: Guillaume Chapotte, Vitali Rocco, Mancini Arthur et Chevallier Nicolas.

## Bibliographie:

- Barras, V., Cannelle, B. & Chapotte, G. (2017). Auscultation sans réflecteur. XYZ (151), 43-50.

Vincent Barras  
 Bertrand Cannelle  
 Institut d'ingénierie du territoire  
 insit, Haute école d'ingénierie et de  
 gestion du canton de Vaud HEIG-VD  
 Route de Cheseaux 1  
 CH-1401 Yverdon-les-Bains  
 vincent.barras@heig-vd.ch  
 bertrand.cannelle@heig-vd.ch

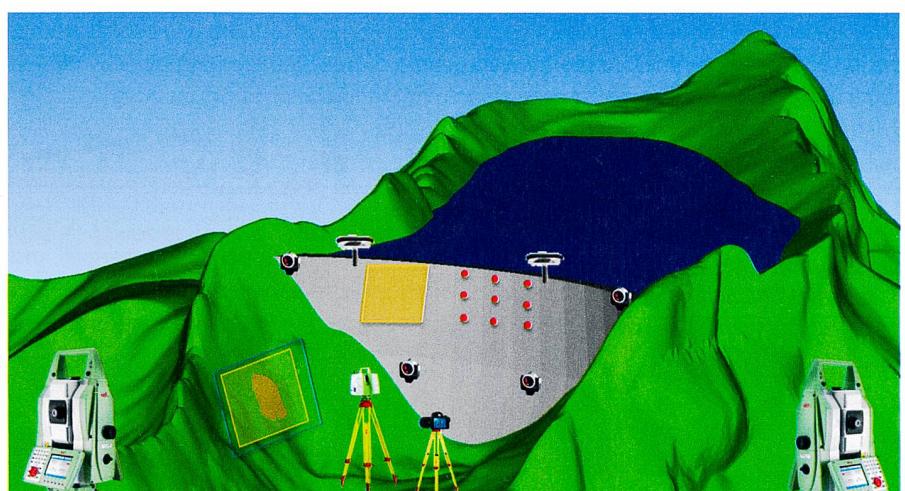


Fig. 7: Illustration schématique de la combinaison de quelques techniques géodésiques.