Performances et limitations de la corrélation diachronique d'images pour les ouvrages d'art

Autor(en): **Comte, J. / Kasser, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **112 (2014)**

Heft 11

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-389526

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Performances et limitations de la corrélation diachronique d'images pour les ouvrages d'art

J. Comte, M. Kasser

La corrélation diachronique d'images est une technique de mesure basée sur la recherche de différences géométriques, éventuellement minimes, entre les images d'un objet prises à différentes époques. Déjà utilisée pour des mesures de déformations tectoniques, ou aussi bien en laboratoire, elle permet généralement de déterminer des déplacements avec une précision de l'ordre du centième de pixel, voire mieux, avec un simple appareil photo. L'enjeu principal des recherches menées à la HEIG-VD a été d'évaluer quelles sont les possibilités d'adaptations de ces techniques au domaine de la surveillance d'ouvrages d'art. Les résultats ont révélé que la précision recherchée du centième de pixel peut aussi être atteinte pour de telles mesures. Des essais de suivi dynamique sur un pont ont également permis d'atteindre cette précision pour la détection des déformations du tablier à l'aide de rafales d'images. La présente étude synthétise donc les performances et les limites actuellement identifiées de cette technique.

Die diachronische Korrelation von Bildern ist eine Messtechnik, die auf der Suche nach geometrischen Differenzen beruht, seien sie auch minim, zwischen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen Bildern eines Objektes. Diese schon für tektonische Deformationen oder auch im Labor verwendete Technik erlaubt im allgemeinen Verschiebungen in der Grössenordnung eines Hundertstelpixels oder besser mit einem gewöhnlichen Fotoapparat zu bestimmen. Die Hauptaufgabe der an der HEIG-VD getätigten Forschungen bestand im Abschätzen der Anpassungsmöglichkeiten dieser Technik für die Überwachung von Kunstbauten. Die Resultate haben gezeigt, dass die Hundertstelgenauigkeit des Pixels auch für solche Messungen erreicht werden kann. Dynamische Überwachungsversuche mit Serienbildern auf einer Brücke haben ebenfalls diese Genauigkeit für die Feststellung der Deformationen der Brückenschürze erreicht. Die vorliegende Studie synthetisiert also die bis jetzt identifizierten Leistungen und Grenzen dieser Technik.

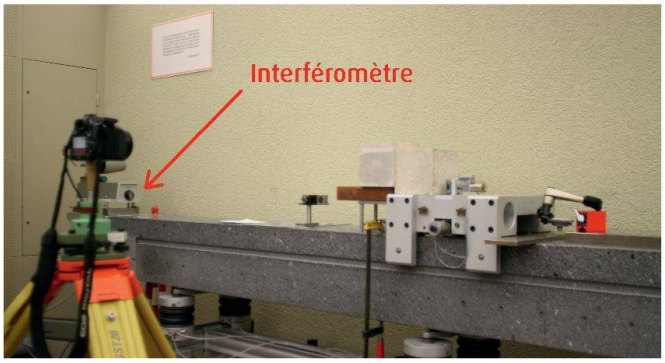
La correlazione diacronica delle immagini è una tecnica di misurazione basata sulla ricerca delle differenze geometriche, eventualmente minime, tra le immagini di un oggetto rilevate in epoche diverse. Già utilizzata per le misurazioni delle deformazioni tettoniche o anche in laboratorio, la correlazione diacronica delle immagini permette generalmente di determinare gli spostamenti, con una precisione dell'ordine del centesimo di pixel e con una semplice macchina fotografica. La principale posta in gioco nelle ricerche fatte presso la HEIG-VD consisteva nel valutare quali erano le possibilità di adattamento di queste tecniche nel campo della sorveglianza delle opere d'arte. I risultati hanno rivelato che la precisione ricercata del centesimo di pixel può anche essere raggiunta per queste misure. I successivi test dinamici di verifica, effettuati su un ponte, hanno dimostrato che questa precisione può essere ottenuta per l'individuazione delle deformazioni della piattaforma stradale, con l'aiuto di immagini a raffica. Questo studio presenta una sintesi delle prestazioni e dei limiti attualmente identificati con questa tecnica.

1. Introduction

La corrélation numérique d'images a fait son apparition avec l'arrivée des premières images spatiales destinées à être exploitées en stéréo, dans les années 1980 (Spot 1). En photogrammétrie, on a commencé peu après à utiliser les techniques de corrélation numérique pour la recherche de points homologues lors de l'apparition des scanners et la possibilité de numériser les clichés argentiques. La puissance de calcul disponible actuellement, couplée à la disponibilité de logiciels de corrélation très efficaces, en Open Source (nous avons utilisé intensivement MicMac dans cette étude), permettent enfin d'exploiter cet outil sans limitations majeures.

En corrélation diachronique, la mesure de correspondance entre des images issues de différentes époques permet la détermination d'un champ de déplacements. Son utilisation s'est largement développée d'abord pour des études de déformations tectoniques co-sismiques, ou des mouvements de versants instables, puis dans la recherche sur les matériaux et la réalisation d'essais de contraintes en laboratoire. Cette technique à l'avantage de permettre des mesures sur toute la surface, sans contact, et ce sur une très large gamme d'échelles de mesure. Dans le domaine de l'auscultation d'ouvrages, on travaille aujourd'hui généralement avec des capteurs permettant une surveillance localisée sur des points caractéristiques de l'ouvrage. Ces campagnes sont donc longues et coûteuses en raison des difficultés d'intervention et ne fournissent qu'un ensemble de mesures ponctuelles, nous avons donc cherché à y utiliser aussi cette méthode de corrélation pour obtenir des coûts plus faibles.

Les essais menés en laboratoire sur des blocs de béton déplacés finement, mesurés avec un interféromètre laser et en parallèle par corrélation, montrent que sur ce type de matériau on atteint sans



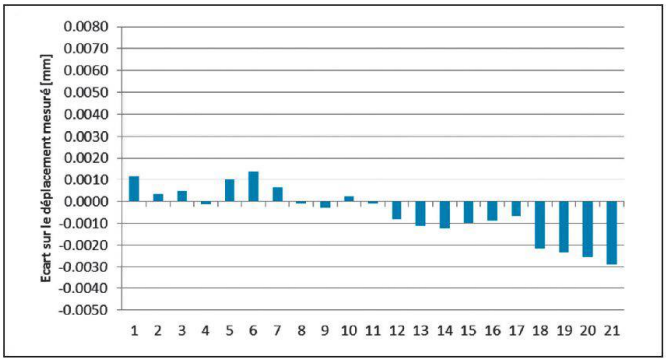


Fig. 1: A gauche, l'expérience constituée par deux blocs de béton sur le banc de l'interféromètre, à droite les écarts mesurés entre l'interféromètre et la corrélation diachronique (1 pixel = 0.1 mm) (M. Prot, 2013).

difficultés cette précision de mesure de l'ordre du centième de pixel (Fig. 1).

2. Principes de la corrélation diachronique d'images

La corrélation diachronique d'images est une recherche des déformations entre deux images prises à différentes époques. En considérant un centrage et une orientation identique de la prise de vue aux deux époques, la corrélation permet de déterminer les changements intervenus entre les images. L'image «référence» correspond à l'état initial et les traitements mesurent les déplacements (disparités) par rapport l'image «déformée» du second état (Fig. 2).

Pour cela, les algorithmes de corrélation recherchent la correspondance maximale entre des petites portions d'images appelées imagettes ou *subset*. La taille de l'imagette utilisée pour le calcul a une grande influence sur les résultats (si elle est petite, les courtes longueurs d'ondes spatiales sont bien décrites, si elle est grande, la précision est meilleure mais le temps de calcul plus long).

Pour la mise en correspondance, il existe plusieurs critères permettant de qualifier numériquement la ressemblance entre deux fenêtres. Ces critères se distinguent par leur faculté à supporter des variations d'intensité lumineuses entre les deux états. Seuls les plus robustes, appelés «normalisés centrés» permettent d'obtenir des résultats lorsque les conditions de luminosités sont variables. Ce sont ces derniers qui sont utilisés en corrélation diachronique.

La qualité de la corrélation dépend également de la qualité des images. La présence de bruit a pour effet de réduire la qualité de la corrélation entre les images. Il convient dons de travailler avec des images ayant la meilleure dynamique possible, et de ce point de vue les appareils récents offrent souvent un excellent rapport signal/bruit. De la même manière, il faut que la texture de l'objet photographié soit adaptée, les structures périodiques posent ainsi toujours d'importants problèmes. Par contre, les surfaces anisotropes telles que le béton brut sont généralement satisfaisantes.

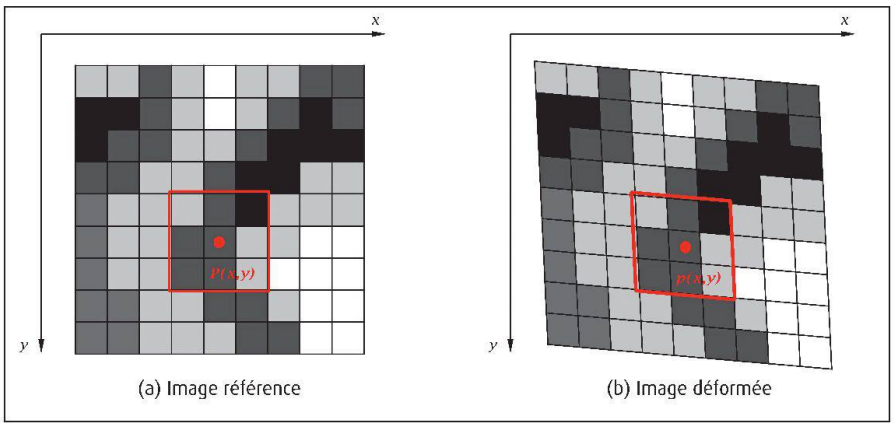


Fig. 2

3. Contraintes et limites du système

3.1 Instabilité du capteur photographique

Lors d'une phase d'acquisition des images prévue pour être longue, il peut s'avérer utile de laisser le système de mesure dans un premier temps se mettre en température, en particulier si une série d'images doit être acquise. Le capteur CCD ou CMOS ainsi que le système optique peuvent subir des déformations thermiques lors des premières images. Les tests effectués montrent que l'ensemble à tendance à se stabiliser après moins de dix minutes (Fig. 3).

Ce phénomène est l'un de ceux qui rendent impossible la détection de phénomènes ayant un effet isotrope sur l'image: on doit considérer que de telles déformations ne sont pas mesurables avec cette technique. Dans ces conditions, une instabilité de la distance focale, qui engendrerait le même problème, n'a pas à être combattue, ce qui permet de travailler avec tous les appareils photo courants.

3.2 Effets de la distorsion

La distorsion est un phénomène bien connu des photogrammètres, qu'ils

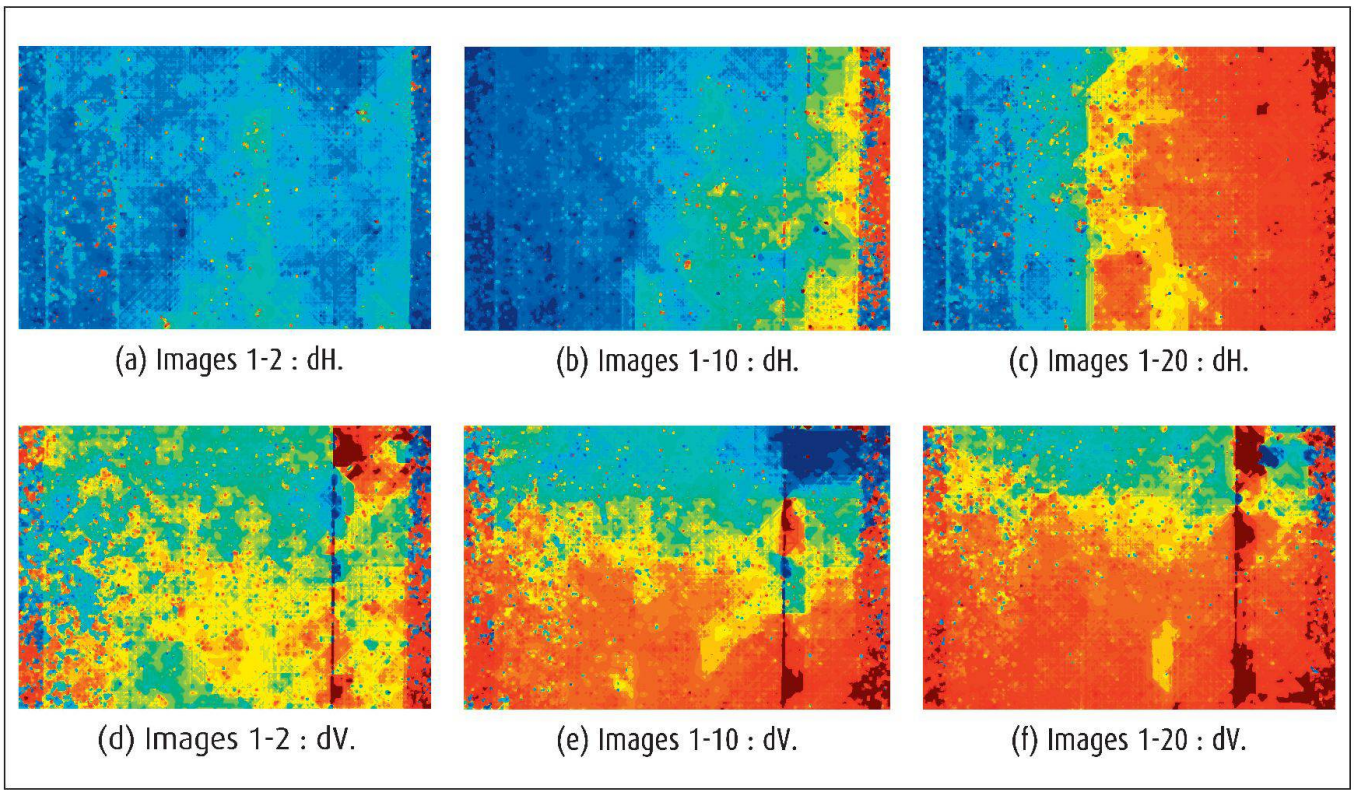


Fig. 3: Disparités mesurées entre des images d'un mur supposé parfaitement immobile. Entre les 20 premiers clichés, les disparités horizontales (ligne supérieure) et verticales (inférieure) augmentent de façon régulière. Ces valeurs sont comprises entre -0.1 (bleu) et +0.1 pixel (rouge) et sont représentatives des déformations du système de prise de vue.

corrigent en la mesurant au préalable. Pour un appareil courant non étalonné, lorsque le pointage de l'appareil n'est pas parfaitement identique entre les deux prises de vue, cela se traduit par un effet lié à la distorsion non corrigée, directement fonction du dépointage. Nous avons cherché à savoir s'il était possible de se passer de mesurer cette distorsion dans un cas concret.

La figure 4 montre les effets présents lorsque le point visé par l'appareil (Canon D400 focale 50 mm) est modifié de 280 pixels. Ces déplacements erronés atteignent près de 2 px aux extrémités de l'ouvrage. Les tests réalisés ont permis de définir qu'un dépointage de 15 pixels provoque encore des effets allant jusqu'à 0.1 pixel.

Les moyens de mise en place du capteur permettent d'atteindre facilement un pointage inférieur à 5 px. Sachant que la distorsion augmente avec l'éloignement du centre de l'image, le centième de pixel peut être atteint en n'utilisant que leur

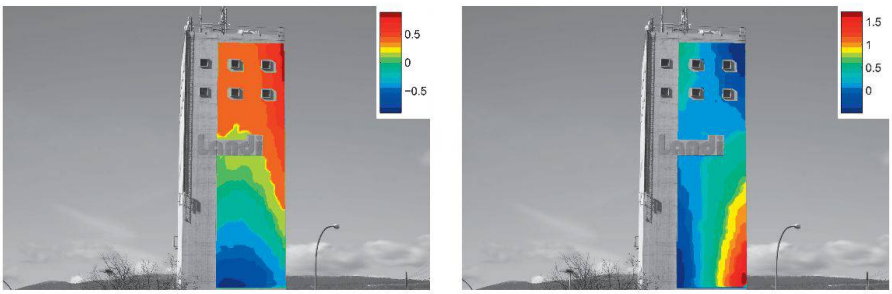


Fig. 4: Effets sur la composante horizontale (à gauche) et verticale (droite) d'un dépointage de 280 pixels, qui engendre un fort effet dû à la distorsion de l'optique. Couleurs exprimées en pixels (1 pixel = 15 mm).

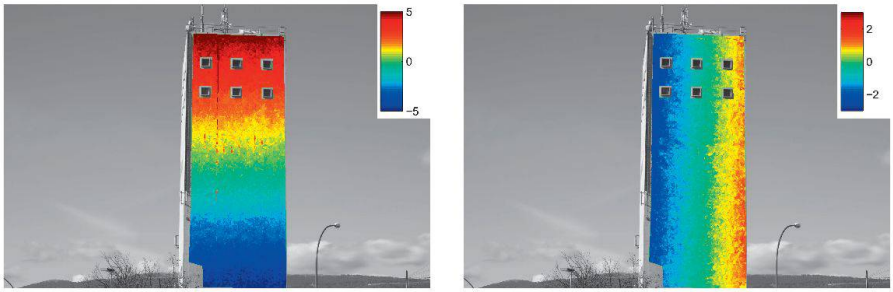


Fig. 5: Composantes horizontale (à gauche) et verticale (droite) de la corrélation entre deux images, avec une rotation de l'appareil entre les deux acquisitions, les couleurs sont exprimées en pixels (1 pixel = 15 mm).

partie centrale. Mais pour des cas où le pointage précis est difficile à reproduire, il faut donc mesurer puis corriger la distorsion, ce qui permet alors aussi de travailler avec des images issues d'appareils différents si besoin est.

3.3 Effets de rotation (mise en station)

En corrélation diachronique, le traitement est simple si l'appareil est centré de la même manière entre les deux états de mesure. En planimétrie, les embases permettent un centrage de l'appareil amplement suffisant pour ces applications. Par contre, pour la mise à l'horizontale, même une très légère inclinaison du capteur influence directement les mesures de disparités entre les images.

La figure 5 montre les résultats de corrélation d'une paire d'images acquises avec une mise à l'horizontale approximative (± 0.2 gons). L'interprétation des disparités de la tour indique une rotation du bâtiment dans le sens horaire. Le défaut d'horizontalité est très visible et, sans corrections, rend l'analyse des déformations impossible.

Dans des conditions similaires à l'exemple présenté, une inclinaison de 0.005 gons engendre des disparités proches du dixième de pixel. Un point important à noter est que l'on ne corrige que très imparfaitement cet artefact par un calcul à posteriori, car la corrélation entre deux imagettes dont l'une a subi une petite rotation est dégradée. La solution la plus efficace consiste donc à recalculer, par ré-échantillonnage, une des images en supprimant la rotation d'ensemble, et seulement ensuite à appliquer la corrélation diachronique. Dans ces conditions, on parvient à atteindre la précision de 0.01 pixel.

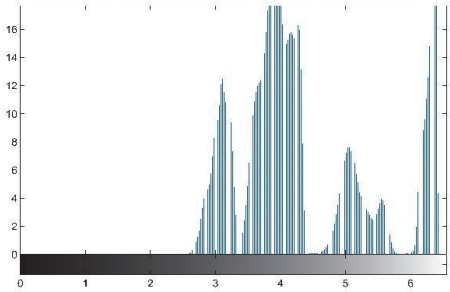


Fig. 6: Un histogramme d'image optimal, s'approchant autant que possible de la saturation sans l'atteindre.

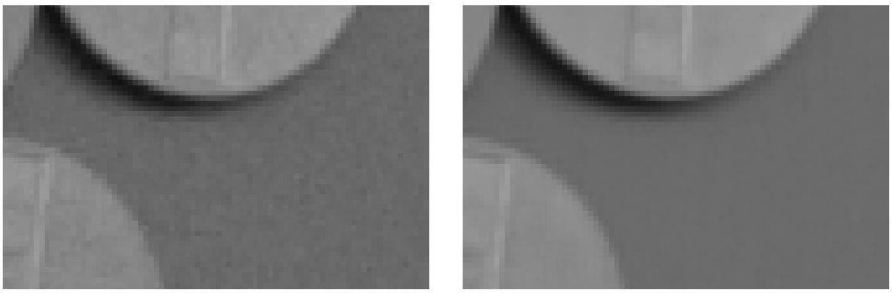


Fig. 7: Exemple de sommation d'images: à gauche une image normale, à droite la somme de 16 images, montrant la réduction considérable du bruit.

3.4 Amélioration des images

La dynamique des images est un élément essentiel de la qualité de la corrélation. Il faut donc régler l'acquisition d'image pour que l'histogramme soit le plus proche possible de la saturation, sans l'atteindre bien entendu: c'est ainsi que l'image présente le meilleur rapport signal/bruit (Fig. 6).

Mais même ainsi, le coefficient de corrélation peut rester insuffisant sur certaines surfaces très unies. La notion de surface unie (radiométrie constante, donc corrélation impossible) est directement liée à la dynamique: avec 12 bits significatifs, dans une scène donnée on n'observe presque aucune surface unie, là ou avec 7 bits on en trouve beaucoup. Cela signifie-t-il qu'on ne peut traiter des surfaces unies avec un appareil courant à faible dynamique? Non, car il est souvent possible, lorsque l'objet ne se déforme que très lentement, d'effectuer une sommation d'images acquises en rafale. En effet si rien ne bouge pendant les acquisitions successives, pour chaque pixel de l'image on va se permettre de sommer les valeurs obtenues dans les images successives, et pour 2 images, on augmente ainsi de 1 bit significatif la dynamique de l'image, ou encore pour 64 images sommées ou l'augmente de 6 bits, ce qui permet de résoudre à peu près toutes les situations, sauf celles où l'objet est susceptible de bouger pendant les acquisitions (Fig. 7).

Néanmoins, on observe généralement que, sur les surfaces en béton naturel, le coefficient de corrélation est satisfaisant avec une seule image pour des appareils photo récents, qui ont souvent plus de 10 bits significatifs. C'est ainsi que le pont ci-dessous a permis une corrélation satisfaisante pour des images uniques malgré un éclairage médiocre (contre-jour), ce qui permet de mesurer sa flexion en situation dynamique (Fig. 8).

4. Conclusions

Les résultats obtenus permettent de bien définir les performances et les limitations de la corrélation diachronique pour le suivi d'ouvrages d'art. Au-delà de la finesse des déplacements identifiables, la possibilité de réaliser des mesures sans contact et sans pose de cibles est d'un grand intérêt. La génération d'un champ de vecteurs sur un ouvrage au complet permet l'analyse des cas de déformations les plus complexes.

Premier point: on ne sait finalement détecter, avec ce procédé, que des déformations dans le plan perpendiculaire à l'axe optique, et non isotropes à l'intérieur de ce plan. Mais ceci est pleinement satisfaisant pour la plupart des ouvrages d'art, où l'on va rechercher des flexions, des cisaillements, des ouvertures de fissures, etc., et où aucune déformation à caractère isotrope ne présente généralement d'intérêt. L'observation peut être envisagée même à des distances très importantes de l'ouvrage surveillé, puisqu'on dispose aujourd'hui d'une gamme considérable de focales pour les appareils photo courants, y compris de très longues focales: dans ces conditions, la réfraction entraîne des mouvements d'ensemble ra-

pides de l'image, mais peu de déformations internes à celle-ci, et donc a priori rien n'empêcherait d'ausculter un viaduc à 1 km de distance voire davantage, avec une précision inchangée. Néanmoins, ce point doit encore faire l'objet de validations complémentaires.

Par ailleurs, des problèmes liés aux changements d'éclairage peuvent apparaître, sans que ce point soit encore suffisamment exploré. Mais au pire, ces problèmes peuvent être réglés par l'utilisation de prises de vue nocturnes, puisqu'un éclairage artificiel constant permet d'éliminer toute variation d'intensité lumineuse d'une fois à l'autre.

Nous avons également noté que la partie étudiée ne devait pas être masquée partiellement par un élément aléatoire comme des arbres, sauf à compliquer beaucoup le traitement (en détourant manuellement ces éléments).

En outre, il est généralement recommandé de travailler avec des optiques dont la distorsion est étalonnée. Mais avec des protocoles de mesures assurant une bonne répétitivité du pointage, nous avons vu que cette requête pouvait être évitée. Ainsi, une simple webcam peut-elle devenir un instrument de mesure ultra-précis.

S'approchant du centième de pixel, la précision des mesures peut atteindre le dixième de millimètre dans de bonnes conditions d'acquisition, et dans certains cas nous sommes parvenus au micron. La mise en place d'un système de mesure d'une telle précision, à haute vitesse (les appareils courants offrent des rafales allant jusqu'à 10 images/s en pleine résolution, ce qui est considérablement meilleur que l'exploitation d'une vidéo) et à faible coût devrait donc en faire sous peu un outil très apprécié dans le monde de l'auscultation.

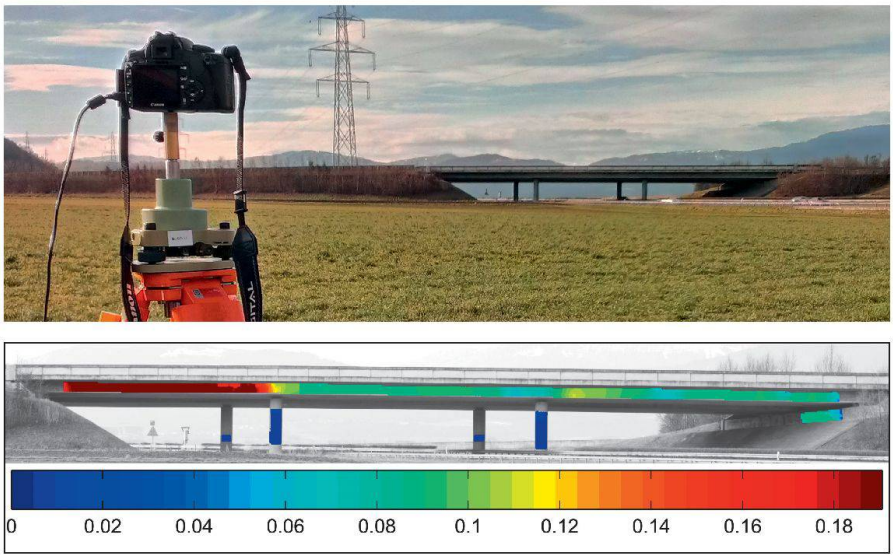


Fig. 8: Pont autoroutier et les déplacements verticaux observés à l'occasion du passage d'un véhicule, les couleurs sont exprimées en pixels (1 pixel = 3 cm).

Bibliographie:

M. P. Deseilligny, MicMac, un logiciel pour la mise en correspondance automatique d'images dans le contexte géographique, Bulletin d'Information Scientifique et Technique de l'IGN n°77, (2007).

B. Pan, K. Quian, H. Xie, and A. Asundi, Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review, inMeasurement Science and Technology, I. Publishing, ed., 2009.

M. Prot, Corrélation diachronique d'images pour l'auscultation d'ouvrages, Master MIT, 2013.

L. Robert and B. Wattrisse, Evaluation d'erreurs de mesure par corrélation d'images numériques: méthodologie et résultats, 19ème Congrès Français de Mécanique, 2009.

S.-H. Tung, M.-H. Shih, and W.-P. Sung, Development of digital image correlation method to analyse crack variations of masonry wall, Sadhana, 33 Part 6 (2008), pp. 767–779.

Van Puymbroeck, N., Michel, R., Binet, R., Avouac, J.P. and J. Taboury. Measuring earthquakes from optical satellite images, Applied Optics Information Processing, 39, 23, 1–14, 2000.

J. Comte
Michel Kasser
Professeur
HEIG-VD, Institut G2C
Route de Cheseaux 1
CH-1401 Yverdon-les-Bains
michel.kasser@heig-vd.ch