Quelle limite pour les mesures angulaires? Vidéotacheométrie en milieu industriel

Autor(en): **Barras, V. / Jeanneret, 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): **111 (2013)**

Heft 10

PDF erstellt am: **06.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-349306

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

Quelle limite pour les mesures angulaires? Vidéotacheométrie en milieu industriel

Pour détecter la provenance de l'ovalisation de trois groupes d'une centrale électrique souterraine, l'exploitant a contacté l'institut G2C de la HEIG-VD pour évaluer un procéder topométrique. L'objectif est de quantifier des mouvements transversaux de l'ordre de 0.15 [mm] par rapport à des références situées à près de 100 [m], soit l'épaisseur d'une feuille de papier observée depuis l'autre extrémité d'un terrain de football! Après plusieurs travaux de recherche appliquée à cette problématique, une solution de mesures via un photo-théodolite, dédié initialement aux mesures astronomiques, a été privilégiée. Les pointés s'effectuent sur des LEDs qui font office d'«étoiles» positionnées sur les éléments à surveiller. Les résultats démontrent que, moyennant une matérialisation spécifique, un processus de mesure adapté et une grande répétition des observations, il est possible de déterminer des déplacements transversaux à la précision recherchée. Le développement des fonctionnalités du logiciel QDAEDALUS permet d'envisager de nombreuses utilisations dans le milieu industriel.

V. Barras, M. Jeanneret

1. Contexte

Lors des contrôles réguliers, les mécaniciens d'une entreprise de production électrique, détectent une réduction de leur marge de manœuvre dans l'ajustement des différents éléments des turbines dans leur centrale. L'origine de l'ovalisation n'est pas identifiée.

Pour compléter les mesures relatives mécaniques déjà en place, un procédé topométrique est étudié par l'institut G2C [1] de la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD). Les 1ères contraintes évoquées dans ce travail de recherche sont la détermination des secteurs stables de cet ensemble souterrain ainsi que la précision recherchée: Les murs appelés tympans Nord et Sud (cf. fig. 2), considérés comme fixes sont distants d'environ 100 [m]. La précision des variations transversales recherchées est souhaitée à ±0.15 [mm] avec un niveau de confiance à 95 [%].

Le géomaticien a très vite fait son calcul: 0.1 [mgon] ne suffit pas ! Est-ce réalisable avec un théodolite?

2. Concept de mesure

4 potences sont installées sur les tympans Nord et Sud. Ces 2 murs, sont les seuls éléments supposés stables. Un théodolite est stationné sur ces 4 repères. De là,

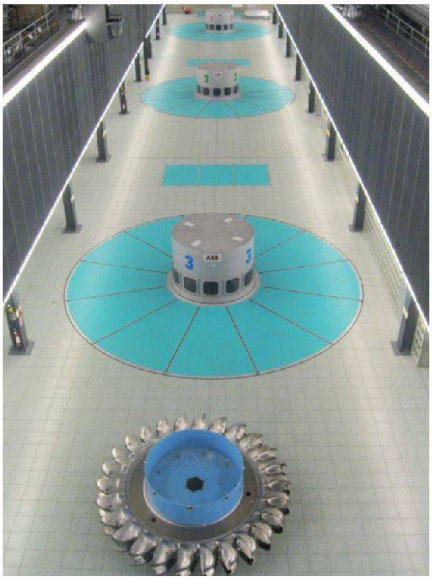

Fig. 1: Vue de la centrale de production.
Abb. 1: Ansicht der Produktionszentrale.
Fig. 1: Veduta della centrale di produzione.

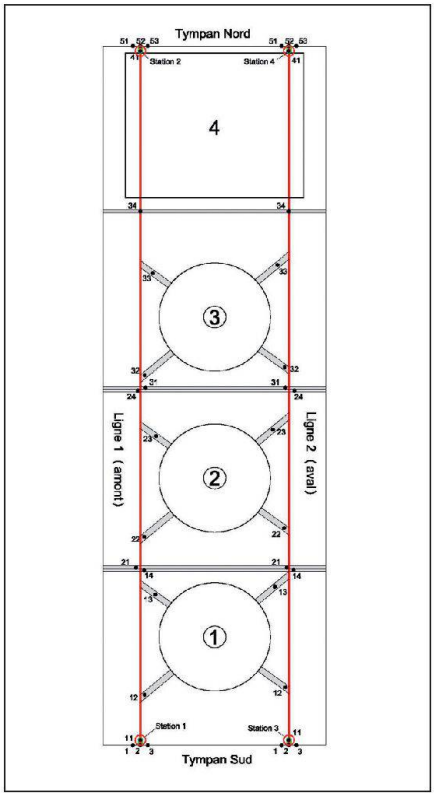

Fig. 2: Croquis des points de références et de contrôle.
Abb. 2: Skizze der Referenz- und Kontrollpunkte.
Fig. 2: Schizzi dei punti di riferimento e controllo

les mesures sont réalisées selon deux lignes distinctes.

Au-dessus de chaque potence, 3 points de référence sont fixés contre le mur. Ils servent à déterminer l'orientation de chaque ligne depuis la station opposée.

Au sol, 11 points de contrôles par ligne sont scellés sur les éléments sensibles des 3 groupes de production à contrôler.

Le principe de surveillance consiste à mesurer des directions sur les différents points. Une ligne de référence propre à chaque station correspond à un Nord fictif calculé via le principe de l'inconnue d'orientation (observations sur les points fixés contre le mur opposé).

L'angle β entre chaque point de contrôle et le Nord fictif est transformé en valeur métrique (distance considérée comme fixe) (cf. fig. 3).

Cette méthode implique que, de chaque côté amont et aval, 2 lignes gauches et

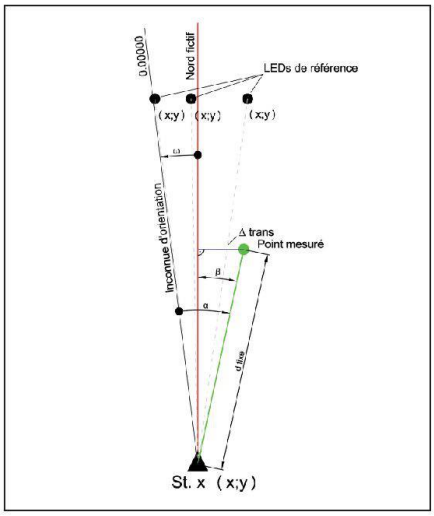

Fig. 3: Croquis du principe de mesures.
Abb. 3: Darstellung des Messprinzips.
Fig. 3: Schizzo del principio delle misure.

indépendantes l'une de l'autre sont créées. Pour chaque point, il est calculé deux décalages transversaux qu'il n'est pas possible de comparer. (cf. Figure 4).
En revanche d'un état de mesure à l'autre, la différence «état X – état X+1» des deux décalages transversaux est la même à la précision de la mesure et au signe près. Les variations obtenues sont moyennées via une pondération de 1/d.

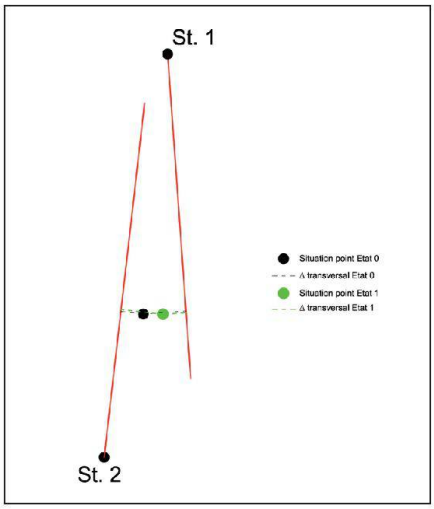

Fig. 4: Lignes gauches, principe du contrôle des mouvements.
Abb. 4: Linke Linien, Prinzip der Kontrolle der Bewegungen.
Fig. 4: Linee a sinistra, principio del controllo dei movimenti.

3. Précision du procédé

Avec un théodolite d'une précision nominale de 0.5", il est réalisé lors de chaque station sept séries. L'erreur moyenne angulaire finale est de 0.04 [mgon] soit 0.06 [mm] à 100 [m].
Dans un projet tel que celui-ci, la matérialisation tient une part prépondérante. Pour limiter son influence, il est réalisé une deuxième session de mesures pour chaque station, après avoir démonté puis remonté toute la matérialisation des points de contrôle. L'erreur moyenne de centrage des points de contrôle est ainsi estimée à 0.07 [mm].
Le centrage du théodolite est également un élément important dans ce travail. Ce dernier est installé sur des potences munies d'embases fixées à demeure. Il est ainsi possible de répéter son centrage avec une précision de 0.02 [mm] en faisant un appui systématique du même côté à chaque montage de l'instrument (cf. fig 6).
Cette méthodologie permet d'évaluer un mouvement transversal avec une précision à priori de 0.11 [mm] pour un niveau de confiance de 95%.

Fig. 5: Matérialisation des points de contrôle avec une douille scellée dans le sol et une tige venant se fixer dessus.
Abb. 5: Materialisierung der Kontrollpunkte mit einem im Boden eingelassenen Bolzen und einem aufgeschraubten Stab.
Fig. 5: Materializzazione dei punti di controllo con un bossolo sigillato nel terreno e un perno fissato sopra.

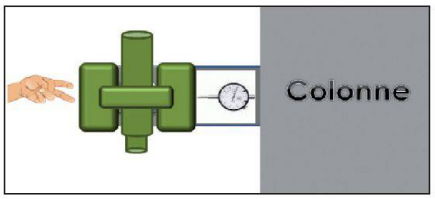

Fig. 6: Appuis systématique sur un coté du théodolite afin d'avoir une précision de centrage de 0.02 [mm].
Abb. 6: Systematische einseitige Stützung des Theodolits für eine präzise Zentrierung von 0.02 [mm].
Fig. 6: Sostegno sistematico su un lato del teodolite per avere una precisione di centraggio di 0.02 [mm].

4. Instrumentation

Au total, il est nécessaire de réaliser 1680 observations lors de chaque état. Il parait dès lors impossible de réaliser les mesures avec un pointé optique. Les solutions automatiques actuellement sur le marché reposent majoritairement sur un même procédé: le traitement de la réflexion d'un spot laser sur un coin de cube.
Or, des problèmes de réfraction, de diffraction du laser sur un trajet aller-retour, nous ont poussés à explorer la solution du

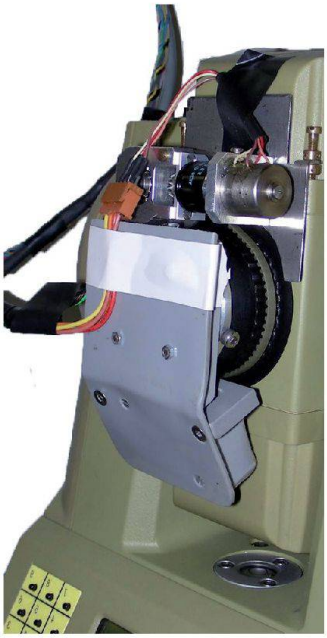

Fig. 7: TCA 2003 sur lequel est monté la caméra et la motorisation de mise au point.
Abb. 7: TCA 2003 mit aufmontierter Kamera und motorisierter Scharfstellung.
Fig. 7: TCA 2003 su cui è installata la fotocamera e la motorizzazione della messa a fuoco.

système de pilotage d'un photo-théodolite du GGL [2] de l'ETH de Zürich appelé QDAEDALUS.

4.1 Le système QDAEDALUS

Initialement prévu pour le suivi d'étoiles lors de mesures astronomiques, le système QDAEDALUS est composé d'un photo-théodolite piloté par un ordinateur, et d'un logiciel de traitement des images et observations acquises.

Dans la configuration actuelle, le matériel se compose:

- d'un théodolite TCA 2003 de Leica Geosystems,
- d'une caméra CCD Guppy de 1032 x 778 pixels,
- d'une lentille divergente,
- d'un moteur autofocus permettant la mise au point de l'image dans le plan de la caméra CCD
- Le logiciel QDAEDALUS

Avec ce système, la mesure sur un point est décomposée en 2 parties:

- Les lectures de la direction horizontale et de l'angle zénithal approchées sont effectuées par le théodolite

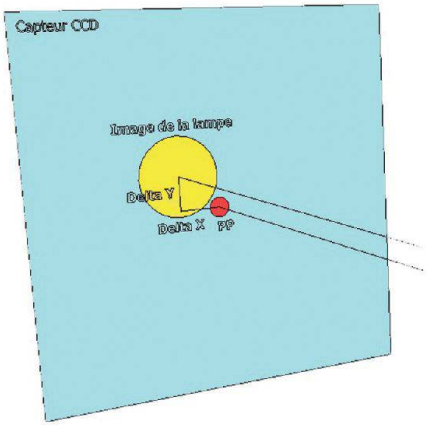

Fig. 8: Détermination de l'appoint de lecture entre l'axe numérique (Principal Point de l'image) et le point à observer.

Abb. 8: Bestimmung der punktgenauen Ablesung zwischen der numerischen Achse (Hauptpunkt des Bildes) und dem zu beobachtenden Punkt.

Fig. 8: Determinazione del punto preciso di lettura tra l'asse numerico (punto principale dell'immagine) e il punto in osservazione.

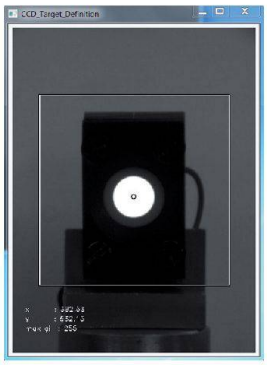

Fig. 9: Reconnaissance d'un «point chaud» par le logiciel QDAEDALUS.

Abb. 9: Erkennen eines «heissen Punktes» durch die Software QDAEDALUS.

Fig. 9: Riconoscimento di un «punto caldo» da parte del software QDAEDALUS.

- L'appoint correspond au décalage du point mesuré par rapport à la référence de l'image (Principal Point). Cette dernière peut être comparée au réticule pour le capteur CCD.

Une mesure du théodolite est composée 10 à 15 «shots» CCD en fonction de l'éloignement des points. Avec ce procédé chaque point est ainsi «photographié» entre 560 et 840 fois. Au total, 21 560 «appoints» par état sont effectués.

4.2 Les cibles

Reste maintenant à créer, au sein de l'usine, nos «étoiles» sur les points de contrôles et les références pour que le logiciel soit capable de traiter les images.

La configuration des lieux et la compatibilité avec d'autres méthodes de mesures

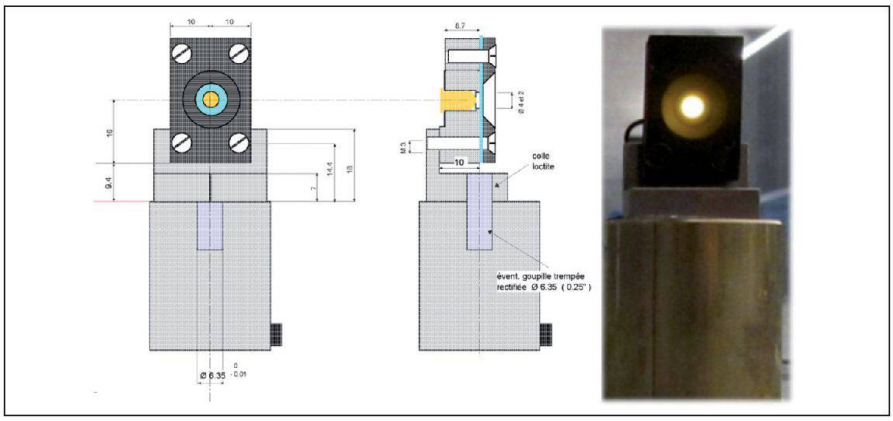

Fig. 10: Conception des cibles-LEDs.

Abb. 10: Konzeption der LED-Ziele.

Fig. 10: L'allestimento delle mire LED

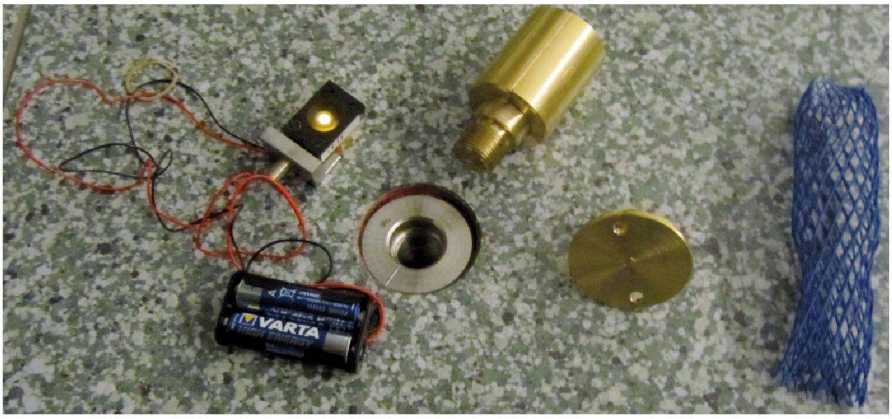

Fig. 11: Ensemble des pièces permettant la matérialisation des points de contrôle.

Abb. 11: Gesamte Teile für die Materialisierung der Kontrollpunkte.

Fig. 11: Insieme dei pezzi che consentono la materializzazione dei punti di controllo.

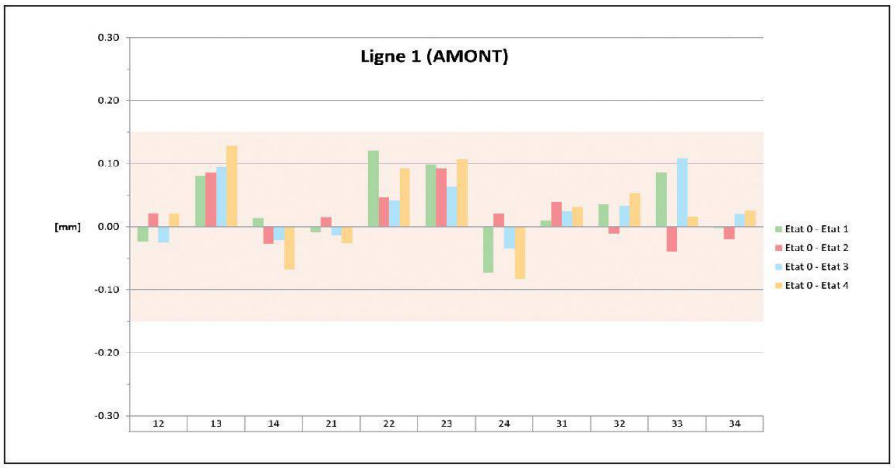

Fig. 12: mouvements des points de contrôle de la ligne «amont» au cours du temps.
Abb. 12: Bewegungen der Kontrollpunkte auf der «oberen» Linie im Laufe der Zeit.
Fig. 12: Movimento dei punti di controllo della linea «a monte» nel corso del tempo.

nous oblige à définir, aux précisions évoquées ci-dessus, un centre mécanique des points lumineux.
Au final, la solution retenue comprend des LEDs qui éclairent un calque afin de générer un point «chaud» à une profondeur définissable: ceci dans le but de limiter les problèmes d'orientation. Pour obtenir un centrage mécanique, un cache circulaire, d'un diamètre variable suivant la distance, permet de déterminer géométriquement le centre du disque lumineux.

5. Résultats

Depuis janvier 2012, cinq états de mesures ont été réalisés. De manière générale, les mouvements sont inférieurs à la précision des mesures. Cependant, un certain systématisme apparait sur ses déplacements. Cela permet d'affirmer que la précision atteinte est meilleure que les 0.15 [mm] recherchés.
Un point encore non évoqué ici, mais qui a une importance capitale dans ce genre de travaux, est la connaissance des conditions du milieu de mesures. A cette échelle submillimétrique, le gradient de température a un effet important sur les directions mesurées. Dans le cas où, ce dernier n'est pas identique entre 2 états de mesures, les variations transversales calculées en seraient affectées. Ce paramètre a imposé quelques adaptations à l'exploitation de la centrale durant les observations.

6. Conclusions

Ces recherches ont permis de s'approcher des limites de notre instrumentation. Les travaux montrent également la très grande importance de la matérialisation à développer pour garantir, du début à la fin de la chaîne, les exigences maximales et fournir des résultats au niveau de la qualité souhaitée par le mandant.
Le système tel qu'utilisé dans cette application reste un modèle proche du prototype. Avec le développement des stations munies d'une ou plusieurs caméras, les options logicielles offertes par QDAEDALUS pourraient être étendues à d'autres instrumentations. Ces perspectives ouvrent de nombreuses voies d'applications. La question de départ était, d'un point de vue imagé: est-il possible de déterminer des mouvements de l'ordre de grandeur de l'épaisseur d'une feuille de papier avec des références placées à l'autre extrémité d'un terrain de foot? Aujourd'hui, il est possible de répondre que dans ce cas précis, c'est réalisable!

Remerciments
Toute l'équipe du G2C, et spécialement nos collaborateurs techniques qui ont apportés leurs compétences et leur savoir-faire dans la réalisation du matériel.
Le mandant, par la mise à disposition de ces locaux et le soutien de ces collaborateurs, pour la réalisation des tests dans des conditions réelles.
Sébastien Guillaume du laboratoire GGL pour son soutien et sa réactivité, quant à la correction et l'adaptation du logiciel.

Références:

[1] Institut Géomatique, Gestion de l'environnement Construit et surveillance d'ouvrages de la Heig-vd, g2c.heig-vd.ch
[2] Geodesy and geodynamics lab, www.ggl.baug.ethz.ch

Vincent Barras, professeur
Martin Jeanneret,
collaborateur scientifique
HEIG-VD
Institut G2C
Route de Cheseaux 1
CH-1401 Yverdon-les-Bains
vincent.barras@heig-vd.ch
martin.jeanneret@heig-vd.ch