



## **Proposition de thèse de doctorat (dispositif Cifre)**

### **Prise en compte des gradients de température pour améliorer la précision d'un réseau de surveillance tachéométrique en continu**

**Laboratoire d'accueil** Cnam/GeF – Laboratoire Géomatique et Foncier (EA4630)  
1 boulevard Pythagore – 72000 Le Mans

**Entreprise d'accueil** Cementys  
9 rue Léon Blum – 91120 Palaiseau

#### **Encadrement à Cementys**

Vincent LAMOUR	Directeur technique et scientifique
Tien Dung LE	Directeur technique Génie Civil et Infrastructures
Maxime TATIN	Ingénieur principal

#### **Encadrement universitaire**

Laurent MOREL	Professeur, directeur de thèse – Cnam/GeF
Laurent LONGUEVERGNE	Chargé de Recherche CR1, HDR, co-encadrant Géosciences Rennes UMR 6118 Equipe EAU
Stéphane DURAND	Maître de conférences, co-directeur – Cnam/GeF

Contact : Stéphane Durand – Cnam/GeF – [stephane.durand@lecnam.net](mailto:stephane.durand@lecnam.net) – +33 (0)2 43 43 31 58

#### Contexte :

Pour réaliser la surveillance d'ouvrages ou de sites naturels particuliers, il est courant aujourd'hui de mettre en œuvre des systèmes d'auscultation automatisés s'appuyant sur des stations totales robotisées réalisant des mesures en continu, ainsi que d'autres instruments géodésiques (GNSS, niveau, inclinomètre, ...). Ce type de système d'auscultation continu permet d'observer des déformations de quelques millimètres, typiquement 3 à 10 mm en 3D, sur des intervalles de temps de quelques dizaines de minutes à quelques heures. Ils sont aujourd'hui largement mis en œuvre pour le suivi continu d'ouvrages vieillissants (cf. [Longstreet 2011]), la surveillance temps réel de chantier lors du creusement de tunnels ou d'ouvrages, comme par exemples les chantiers liés au Grand Paris, le creusement d'une nouvelle ligne sur le métro de Rennes ou la construction d'un tunnel à Seattle (cf. [LaFonta et al. 2013]), ou le suivi de zones naturelles.

La finesse des déplacements observables est bien entendue liée à la géométrie du réseau de points mis en œuvre et à la qualité des mesures réalisées, mais également aux conditions environnementales de l'objet ausculté. En atmosphère non contrôlée, s'il est possible aujourd'hui de concevoir des réseaux d'auscultation capables en théorie d'observer des déformations de 1 à 2 mm voir mieux, ce niveau de précision est difficile

à atteindre en pratique. Pourtant, pour de nombreuses applications de surveillance d'ouvrages ou de suivi de déformation de zones naturelles, atteindre ce niveau de précision serait essentiel. L'une des limitations principales aujourd'hui est la présence de gradients de température horizontaux qui dégradent la précision des mesures réalisées par les stations totales.

Depuis plusieurs années, l'équipe EAU de Géosciences Rennes et le laboratoire Géomatique et Foncier du Cnam s'intéressent à cette problématique d'amélioration de la précision de mesure de déformation par correction des effets atmosphériques sur les mesures des stations totales.

Les expériences menées en atmosphère contrôlée et en milieu naturel dans le cadre du PFE de Julien Assemat en 2015 (cf. [Assemat 2015]) et du stage de fin d'études de Kévin Gobron en 2017 (cf. [Gobron 2017]) nous ont permis d'identifier les gradients locaux de température le long de la ligne de visée comme la perturbation ayant le plus d'incidence sur la précision de la mesure de déformation. Nous avons ainsi montré que l'influence de ce phénomène se traduisait par une perte de précision sur les déformations observées typiquement de 3 à 5 mm. Nous avons également pu constater que les mesures angulaires réalisées par les stations totales étaient, comme les mesures de distances, fortement impactées par ces gradients horizontaux.

### Objectifs :

Cette thèse est positionnée, dans son contexte, sur la mise en œuvre de réseaux de surveillance continu à l'aide essentiellement de stations totales robotisées, pour l'auscultation en milieu naturel, industriel ou souterrain.

Dans ce contexte, la station totale réalise à intervalle régulier et automatiquement des mesures d'angles (horizontal, zénithal) et de distance suivant la pente sur différents prismes situés sur le chantier. Comme indiqué dans [Bayoud 2007], le pointé automatique sur le prisme est réalisé par la station totale par traitement d'images à l'aide d'un capteur CMOS.

L'objectif principal de la thèse est de développer des méthodes de correction, d'estimation ou d'élimination de l'effet des gradients de températures sur les mesures, pour permettre d'améliorer la précision des déformations observables par le réseau, une précision millimétrique voir sub millimétrique étant visée.

Dans les travaux menés jusqu'à présent, nous avons cherché à modéliser l'influence des gradients horizontaux de températures en utilisant des capteurs le long de la visée et des méthodes de type Fast Marching, qui semblent prometteuses mais doivent être adaptés à notre contexte particulier. Il s'agira donc de poursuivre la mise en œuvre des méthodes de type Fast Marching pour la modélisation du phénomène et la correction des mesures angulaires et de distances fournies par les stations totales. On s'intéressera en particulier à optimiser les méthodes actuelles pour notre contexte particulier, à étudier plus en détail l'influence des méthodes d'interpolation des données issues des capteurs de température pour produire les cartes de vitesses, élément de base pour la mise en œuvre des méthodes de Fast Marching.

La mesure d'angle réalisée automatiquement par la station totale est basée sur l'utilisation de caméra CMOS, pour le pointé automatique et précis du centre du prisme visé. Il conviendra donc, dans la thèse, de s'intéresser à l'impact des gradients horizontaux sur l'image acquise par le capteur CCD de l'instrument, et aux méthodes possibles de modélisation et de correction. On s'intéressera en particulier à l'apport de caméra externes, du type de celle proposée dans [Guillaume and Burki 2008], permettant d'optimiser les méthodes de détection de prisme et de pointé automatique : amélioration de la qualité du capteur CCD utilisé (densité de pixels, taille, résolution), utilisation de séries d'images pour détecter le centre du prisme,

utilisation de filtres de couleurs pour estimer/corriger la réfraction sur l'image (cf. [Kasser et Magnenat 2017]).

Une autre piste envisagée est celle de l'estimation de la réfraction liée aux gradients de température en adaptant le principe des visées réciproques simultanées à l'intérieur du réseau. Il s'agira sur ce point de poursuivre les travaux réalisés en 2017 (cf. [Gobron 2017], [Oubah et al. 2018]) sur la mise en place d'un réseau expérimental d'auscultation localisé sur le toit du bâtiment de l'ESGT, permettant la réalisation de visées réciproques simultanées entre deux stations totales automatisées, et la comparaison des valeurs estimées de réfraction avec des données météorologiques le long des lignes de visées. Pour cette étude, comme proposé dans [Hirt et al. 2010], on pourra utiliser soit le capteur interne des stations totales, soit mettre en œuvre une caméra externe. Concernant l'estimation de l'erreur liée à la réfraction sur les mesures, la thèse devra également s'intéresser à la faisabilité d'une estimation directe de cette erreur à l'intérieur du réseau, du fait de la redondance importante des observations et de configurations particulières de mesure (visées doubles simultanées). La thèse s'appuiera pour cela sur le logiciel CoMeT du laboratoire GeF, spécialisé dans l'ajustement de mesures topographiques (cf. [Durand 2016]).

### Références

[Assemat 2015] Assemat, Julien, Évaluation des performances de capteurs topographiques pour la mesure de déformation, INSA Strasbourg, Mémoire de fin d'études, 2015

[Bayoud 2007] Bayoud Fadi, Leica Geosystems Total Station Series TPS1200. White Paper Leica Geosystems, 2007

[Durand 2016] Stéphane Durand, Manuel d'utilisation du logiciel CoMeT - Compensation de mesures topographiques, version 2016.06.04, Laboratoire Géomatique et Foncier, 2016

[Gobron 2017] Gobron, Kevin, Étude de la correction des effets de la réfraction atmosphérique sur les mesures tachéométriques, Mémoire de fin d'études, ENSG/ESGT, 2017

[Guillaume and Burki 2008] Guillaume, S., and B. Bürki, Digital astrogeodetic online observation system Daedalus: User manual v1.0, report, Inst. Geod. Photogramm., ETH Zurich, Zurich, Switzerland.

[Hirt et al 2010] Christian Hirt, Sébastien Guillaume, Annemarie Wisbar, Beat Bürki, and Harald Sternberg, Monitoring of the refraction coefficient in the lower atmosphere using a controlled setup of simultaneous reciprocal vertical angle measurements. Journal of Geophysical research, vol 115, 2010

[Kasser et Magnenat 2017] Michel Kasser et Jean-Luc Magnenat, Etude d'un nouveau procédé pour la mesure et la correction de la réfraction par corrélation d'images, Revue XYZ, n°153, 4<sup>ème</sup> trimestre 2017

[LaFonta et al. 2013] Jean-Ghislain LaFonta, Loic Galisson, Boris Caro Vargas, Close monitoring for the construction of Alaskan Way Tunnel SR99 in Seattle, Tunnels et espace souterrain, n239, Septembre/octobre 2013

[Longstreet 2011] Brad Longstreet, Monitoring Toronto's Union Station, Leica Reporter, n°65, septembre 2011.

[Oubah et al 2018] Hamza Oubah, Leslie Sokeng, Juliet Thomas, Développement d'une chaîne d'acquisition automatisée de mesures tachéométriques, Projet préprofessionnel ESGT 5<sup>ème</sup> année du cycle ingénieur, 2018