

# L'auscultation des structures sans prismes ni repères

*Société d'accueil :* SITES  
*PFE présenté par :* Alban Vuillemey  
*Directeur du PFE :* Dominique Reith  
*Correcteurs :* Tania Landes  
Jacques Ledig



---

## 1. Introduction

La société SITES<sup>1</sup> s'est dotée d'un tachéomètre TCRP 1201 R300 de marque LEICA. Cet appareil peut réaliser des mesures de distance sans réflecteur. La société SITES souhaite employer cette technologie pour le suivi sans repères ni prismes de structure de génie civil de grande dimension.

Mon projet a consisté à évaluer et à valider, pour cet appareil, la qualité des mesures sans réflecteur et à mettre en place les procédures et outils de mesure et de traitement nécessaires à ce type d'auscultation.

Après avoir présenté les différentes méthodes d'auscultation utilisées par la société SITES, nous avons fait l'analyse théorique des performances du TCRP 1201 R300. Nous avons ensuite réalisé des tests de mesure de distance sans réflecteur afin de déterminer les capacités et les performances de l'appareil. Ces tests nous ont permis de mettre en place une méthodologie de mesure adaptée aux caractéristiques et aux contraintes liées à la surveillance des ouvrages d'art. Trois programmes ont été développés dans le cadre de ce projet.

## 2. Auscultations réalisées par la société SITES

La société SITES utilise différentes méthodes d'auscultation d'ouvrages en fonction des mouvements à mesurer.

Le suivi par nivellement est mis en place quasiment sur tous les ouvrages auscultés. Il permet de relever des tassements relatifs ou absolus à partir de repères implantés sur et à proximité de la structure. C'est une technique simple permettant d'obtenir une grande précision. La société SITES utilise essentiellement des niveaux numériques avec des mires invar suivant la technique du cheminement double permettant d'obtenir une précision théorique de  $\pm 0.2$  mm.

Le suivi par tachéomètre est utilisé principalement suivant deux méthodes. La première méthode utilise les intersections spatiales ; les points suivis sont caractérisés par mesure angulaire depuis un canevas de références matérialisé par des piliers ou un réseau de trépieds en centrage forcé. D'après l'étude théorique réalisée, nous avons dans le cas le plus défavorable une précision de  $\pm 3$  mm. La deuxième méthode utilise la mesure de distance avec prisme fixé sur les ouvrages ; elle permet d'obtenir rapidement des résultats.

Le suivi par scanner laser permet de réaliser un levé exhaustif d'une structure. Après un traitement conséquent sur les nuages de points incluant obligatoirement une mise à la verticale de ceux-ci, la précision obtenue est centimétrique. Le scanner laser ne permet pas de mesurer précisément un point défini par un repère.

Ces méthodologies topographiques peuvent être complétées ou remplacées par une instrumentation des ouvrages. Les capteurs les plus utilisés permettent de mesurer des inclinaisons,

---

<sup>1</sup> SITES : Société d'Instrumentation et de Traitement d'Essais sur Sites

des rotations, des déformations, des déplacements (en distance et en vitesse) et la température... L'acquisition des données peut se faire en continu ou périodiquement de façon automatique ou manuelle.

### 3. Le tachéomètre TCRP 1201 R300

Le TCRP est un tachéomètre robotisé pouvant réaliser des mesures de distance sans réflecteur avec une précision de  $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Sa précision angulaire est de  $\pm 0.3 \text{ mgon}$ .

Les mesures avec cet appareil peuvent être entachées d'erreurs entraînant une incertitude. Celles-ci peuvent être dues aux fautes, aux erreurs accidentelles et aux erreurs systématiques (ces dernières peuvent être pratiquement éliminées si les mesures sont effectuées en double retournement ou si l'appareil est correctement réglé).

A partir des précisions théoriques d'une mesure d'angle et de distance sans réflecteur, nous avons calculé qu'un point mesuré au tachéomètre est compris dans une sphère de  $\pm 5 \text{ mm}$  de diamètre.



Figure 1 TCRP 1201 R300

### 4. Tests du TCRP 1201 R300 lors de mesures de distance sans réflecteur

Nous avons réalisé cinq tests lors de mesures de distance sans réflecteur. Cette étude a été ensuite complétée par l'auscultation d'une même structure par intersections spatiales et par point lancé.

Le premier test réalisé est une comparaison entre les mesures de distance sans prismes, avec prismes et avec cibles rétro réfléchissantes. Cette comparaison a pu être réalisée à l'aide d'une équerre fabriquée spécialement (*cf figure 2*). Nous avons obtenu des écarts types conformes à ceux annoncés par le constructeur.



Figure 2 : Équerre avec huit cibles dont trois rétro réfléchissantes

Le second test est une analyse de la résolution. Des baguettes de différentes sections carrées ont été scannées à différentes distances. Nous avons pu constater que la mesure en distance des arêtes des baguettes était incorrecte et qu'il était essentiel de connaître la taille du faisceau laser pour la mesure d'un point.

Le troisième test est la mesure d'un même point suivant un angle d'incidence variable. Nous avons constaté que la précision des mesures de distance varie en fonction de l'angle d'incidence. A partir d'un angle de 60 gon, la précision de mesure de distance est supérieure à  $\pm 3.5$  mm.

Le quatrième test est une étude de la réflectance. Des surfaces planes de matière différente, sèches puis humidifiées, ont été scannées. Nous avons pu constater que la précision de mesure en distance est meilleure sur les surfaces claires que sur les surfaces sombres et que l'ajout d'un film d'eau sur les surfaces peut faire varier la distance mesurée de manière significative.

Le cinquième test est une mesure de points encaissés. Lors de levés topographiques, nous avons eu à mesurer des points se situant dans des zones en retrait par rapport à la surface de l'ouvrage. Nous avons constaté que l'encaissement de ces points ne modifiait pas le résultat des mesures de distance sans réflecteur.

Ces tests ont été complétés par l'auscultation d'un batardeau par intersections spatiales et par point lancé en mesure de distance sans réflecteur. Les résultats obtenus ont confirmé les tests réalisés et validé l'utilisation du TCRP pour l'auscultation de structure si l'on respecte certaines conditions (angle d'incidence, taille de l'objet mesuré).

Ces tests concluent que pour le suivi d'ouvrage en béton à une distance de 150 m la précision de mesure de distance est de  $\pm 4$  mm.

## 5. Expérimentations de mesure de distance sans réflecteur pour l'auscultation de structures sans prismes ni repères

Sur les ouvrages d'art devant être surveillés, nous observons différents éléments caractéristiques de construction ; il s'agit des trous de coffrage, des reprises de bétonnage, des surfaces planes de forme rectangulaire et des arêtes de parois (cf figure 3).



**Figure 3 : Eléments caractéristiques identifiables (trou de coffrage, reprise de bétonnage, surface plane et arête)**

Compte tenu de l'impossibilité de réaliser une mesure de distance sans réflecteur sur des surfaces irrégulières (arêtes), nous envisageons la détermination de points suivant trois méthodes différentes :

- caractérisation directe en angle et distance d'un point singulier (trous de coffrage)
- caractérisation du milieu d'un segment (reprise de bétonnage ou décrochement) par mesure angulaire des deux points extrémités et par mesure de distance sur le point milieu calculé
- caractérisation d'un point sur arête par l'intersection entre celle-ci et un élément caractéristique de l'ouvrage (une reprise de bétonnage, une ligne) par mesure d'angle et de distance sur deux points de la reprise de bétonnage et par mesure d'angle sur l'intersection de l'arête et de la reprise de bétonnage.

Cette méthodologie de mesure a été mise en œuvre sur un viaduc de grande dimension dont les piles ont été relevées pour comparaison à deux reprises. En analysant les écarts entre les deux

relevés effectués à des dates différentes, nous avons pu constater que sur cette zone stable de l'ouvrage, les écarts de 5 mm provenaient de l'imprécision de mesure et de méthode, et étaient conformes à la précision attendue.

Suite à ces résultats satisfaisants permettant une bonne répétitivité des mesures, nous avons développé plusieurs programmes spécifiques de mesures et de calculs afin d'améliorer la reproductibilité des mesures et leur qualité mais aussi d'optimiser les coûts de fonctionnement.

## **6. Réalisation de programmes pour l'auscultation de structures en utilisant les mesures de distance sans prismes à l'aide du TCRP 1201 R300**

Le premier programme « Mesure de point médian » mesure, à partir de deux points mesurés en angle seulement, en angle et en distance le point se trouvant à égale distance sur la ligne droite définie par ces deux points. Il permet de mesurer des points non matérialisés par une cible. En visant par exemple les arêtes d'une reprise de bétonnage (points sur lesquels une mesure de distance sans prismes est impossible), le programme peut mesurer le milieu de cette reprise de bétonnage.

Le deuxième programme « Mesure de point d'arête » détermine des points situés sur les arêtes de parois. A partir de la mesure de deux points sur l'une des parois qui forme cette arête, il calcule leurs coordonnées. Ensuite en réalisant une visée angulaire sur l'arête, le programme peut calculer les coordonnées du point visé sur l'arête.

Le troisième programme « Mesure et suivi de profil » a pour fonction de mesurer des profils. A partir de points caractéristiques d'un profil (au minimum deux), le système scanne le profil suivant un pas, en passant par les points choisis. Ce pas n'est pas un pas angulaire mais un pas métrique maîtrisé. La distance entre les points du profil sera comparée au pas. Cette comparaison permettra d'asservir le TCRP en redéfinissant des profils si cette comparaison de distance est supérieure à une tolérance prédéfinie. Cet asservissement permet d'avoir un maillage régulier sur les profils définis sur les structures ayant une surface gauche.

Pour un profil préalablement défini, le logiciel gère la reprise automatique des points précédemment mesurés suivant une cadence paramétrable. Ce module permet entre autre le suivi automatique des variations dimensionnelles des ouvrages de grande dimension sous contrainte thermique.

Nous avons testé le programme « Mesure et suivi de profil » sur un aéroréfrigérant. Nous avons mesuré 33 profils différents (soit 4600 points) en deux jours et demi. Nous avons constaté un ajout normal de points en raison de la courbure de l'aéroréfrigérant ; ainsi nous avons obtenu une distance séparant les points du profil de 1 m plus ou moins 10 cm. Deux profils mesurés ont montré des écarts importants (au maximum de 125 mm) entre ceux-ci et le profil théorique. Ces deux profils ont été comparés à la position réelle de cocardes montrant qu'ils sont conformes à la géométrie de l'aéroréfrigérant (écarts maximum de 40 mm). Le suivi automatique a permis de relever 55 profils successifs montrant les déformations journalières de l'ouvrage de 20 mm.

## **7. Conclusion**

Ce projet nous a permis d'expérimenter et de découvrir une nouvelle méthode d'auscultation d'ouvrages avec l'utilisation du tachéomètre TRCP 1201 R300 en mesure de distance sans réflecteur.

L'étude des mesures de distance sans réflecteur a permis de constater que leur précision est influencée par les propriétés de surface à mesurer et par l'angle d'incidence du rayon laser.

Les mesures de distance sans réflecteur faites après mise en place d'une méthodologie ont montré qu'elles étaient satisfaisantes en précision et en reproductivité.

Le développement de trois programmes de calculs et de mesures a permis d'améliorer les possibilités et les performances du TCRP 1201 R300 pour l'auscultation des ouvrages d'art. Toutefois, ces programmes devront faire l'objet de développements afin d'améliorer la qualité et le contrôle des mesures (conditions limites, stabilité de la station) et les performances du système (interface graphique, relèvement des stations).