

**MISE EN ŒUVRE DE LA LASERGRAMMETRIE**  
**AU SEIN DE LA SOCIETE SITES**  
**ETUDE DE PRECISION ET RECHERCHE D'APPLICATIONS**

Société d'accueil : SITES S.A.  
PFE présenté par : Pierre Jessé  
Directrice du PFE : M<sup>elle</sup> Camp  
Correcteurs : M. Grussenmeyer  
M. Ledig



## 1. Introduction

J'ai réalisé mon Projet de Fin d'Études au sein de la société SITES<sup>1</sup>, créée en 1984 afin de satisfaire les besoins des propriétaires et gestionnaires de structures de génie civil de grande taille en termes de contrôle et de suivi préventif. C'est un bureau d'étude indépendant, fort d'une centaine de personnes, spécialisé en ingénierie de la durabilité des structures.

Soucieuse de maîtriser l'ensemble des techniques topographiques, d'augmenter sa capacité d'analyse des pathologies des structures mais aussi pour compléter sa gamme de techniques pouvant être mises en œuvre, la société SITES a récemment fait l'acquisition (septembre 2006) d'un scanner laser. Il s'agit de l'Illris 3<sub>6</sub>D<sup>2</sup> du constructeur canadien Optech. À la suite de quoi, cette étude consacrée à la lasergrammétrie a été décidée. Elle s'articule autour de deux axes, d'une part, la connaissance des capacités de l'instrument et d'autre part, une recherche des domaines où la mise en œuvre de la lasergrammétrie apportera un avantage, que celui-ci soit une plus-value technique, économique, ou un gain de temps, de sécurité, etc. dans les marchés spécifiques de la société.

## 2. Le scanner laser

Le scanner laser est un instrument topographique qui détermine rapidement et automatiquement, dans un repère cartésien local, les coordonnées d'un ensemble de points acquis sur une surface. Pour chaque point mesuré, le scanner mesure la distance, les angles horizontaux et verticaux ainsi que la réflectivité de la surface et calcule les coordonnées (XYZ). Le résultat d'un lever au scanner laser est un nuage de points à haute densité. La mesure de distance de l'Illris 3<sub>6</sub>D (cf. figure n<sup>o</sup> 1) est basée sur le principe du temps de vol de l'onde.

L'Illris 3<sub>6</sub>D est doté d'une embase tournante amovible qui permet de scanner un tour d'horizon, le champ de vision est alors de 360°/40°. De plus, comme le montre la figure n<sup>o</sup> 1, le plateau de l'embase tournante est inclinable. Lors d'un lever, on a le choix d'utiliser ou pas l'embase tournante. Souvent, le scanner est vissé directement sur le plateau du trépied.



Figure 1 : L'Illris 3<sub>6</sub>D et son embase tournante.

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

<sup>2</sup> ILRIS : Intelligent Laser Ranging and Imaging System.

### 3. Étude des performances de l'Iris 3<sub>6</sub>D

Comme tout instrument de mesure, le scanner laser est soumis à une série de facteurs ayant une influence sur le résultat des mesures. Cette liste constitue le bilan des erreurs affectant les mesures d'un scanner laser : condition aérologique, réflectivité de la surface, atmosphère, erreur de centrage, erreur due au chronomètre, erreur angulaire, erreur de calibration.

La précision d'un scanner laser est un problème difficile à aborder car, il faut reconnaître que l'incertitude de mesure sur un point isolé dans un nuage, telle que spécifiée par le constructeur, n'est pas accessible, dans le sens où sa vérification n'est pas possible. Alors, nous avons mis en œuvre des protocoles de tests pour évaluer la précision des données à partir de déterminations multiples. Or, tous ces tests font intervenir des modélisations de sphères ou de cercles afin d'identifier les points entre lesquels sont faites les mesures de contrôle. Ce faisant, la modélisation augmente la précision sur la position des points sur lesquels sont fondés les tests. De telle sorte que le résultat renseigne en fait davantage sur la qualité des données modélisées. En pratique, l'emq spécifié par le constructeur de  $\pm 3\text{mm}$  à 100m sur la modélisation est effectivement atteinte pour un nuage de point provenant d'un scan unique. Toutefois, il est certain que la précision d'un modèle basé sur plusieurs nuages recalés sera moindre car le recalage est une source d'erreur non négligeable et donc, l'emq de  $\pm 3\text{mm}$  à 100m sur le modèle sera dépassée si la géométrie du nuage est défavorable.

Au cours du projet, il a été mis en évidence que la réflectivité influe sur la mesure de distance de façon conséquente. Cette étude se base sur le scan d'une mire dont la réflectivité est fortement contrastée (cf. figure n2 ; 0,80\*1,00m) peinte sur un support rigide parfaitement plan. Elle a été scannée à différentes distances comprises entre 3 et 200m. Ceci va permettre d'une part de montrer l'influence de la réflectivité sur la mesure de distance au scanner laser et d'autre part de chercher les facteurs qui agissent sur cette influence.

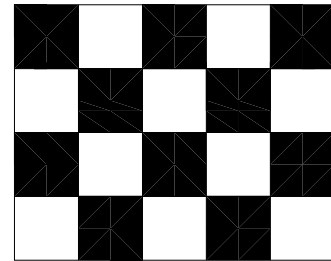


Figure 2 : Mire à réflectivité contrastée

Les expérimentations montrent que cette influence est forte pour des distances inférieures à 70m. Cette influence diminue lorsque la distance de mesure augmente et que le contraste des réflectivités diminue. En conséquence, nous proposons une méthode de correction des longueurs mesurées par le scanner laser par un terme additif calculé grâce à l'analyse du scan de la mire placée dans la scène. Cette méthode permet de résorber une bonne part de ce problème en corrigeant ce biais de 90 % environ.

### 4. Recherche d'applications

En premier lieu, nous verrons comment la lasergrammétrie couplée aux autres techniques du suivi préventif de structure peut aider à caractériser les pathologies d'un édifice afin de comprendre quelles en sont les causes et subséquemment définir les actions curatives à mener. Ensuite, grâce aux propriétés géométriques des haubans mises en évidence par un relevé au scanner, nous verrons comment il est possible de déduire la tension de haubans. Et ainsi proposer une méthode de contrôle de la tension de haubans dont la plus-value est de ne pas requérir d'accès direct à la structure.

#### 4.1. Étude de déformations

L'étude menée concerne la chapelle de l'Hospice comtesse, bâtiment situé au cœur du centre historique de Lille et classé monument historique depuis 1923.

De 1967 à 1975, une première phase de restauration a été entamée. Après réapparition des désordres sur les faces internes, ouverture de fissures sur les enduits et dans la maçonnerie, des investigations ont été menées en 1996-1997 par l'Architecte en Chef des Monuments Historiques.

Dans ce contexte, la ville de Lille a décidé de faire réaliser cette étude technique, dont l'objectif est de déterminer l'évolutivité des désordres afin de définir les travaux nécessaires à la consolidation de l'édifice. Pour atteindre cet objectif, il a été décidé la mise en place d'une instrumentation. Elle doit permettre de mesurer la cinétique du mouvement des façades, sur une durée minimale de 1 an. En effet, les mesures doivent couvrir un cycle climatique complet, car des facteurs comme la température ou l'humidité du sol peuvent fortement influencer sur le mouvement global et local de la structure.

Cette étude technique comporte deux aspects. D'une part, une inspection visuelle détaillée et d'autre part, une étude de déformations globales qui vont permettre de définir les éléments de l'instrumentation que sont la position et le nombre des capteurs et repères de nivellement.

Ces deux techniques sont complémentaires : le relevé des désordres permet de mettre en évidence des mouvements structurels, mais la direction et l'amplitude de ces mouvements ne peuvent être définies à l'aide de cette technique. Les mesures lasergrammétriques permettent de compléter l'analyse de la situation existante, à travers des cartographies présentant les déformations des façades (verticalité, bombement...). Cette technique permet également de mettre en évidence des zones particulières où aucune pathologie (fissure, éclat béton...) n'a été observée, mais où une déformation est néanmoins présente.

### **Résultats :**

La *figure n°3* montre que l'édifice "bascule" vers le Nord-Est et présente la forme de l'édifice dans sa partie basse (profil rouge) et dans sa partie haute (profil vert).

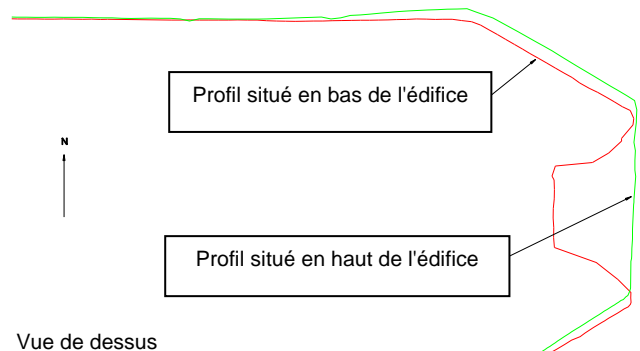


Figure 3 : Vue en coupe selon deux plans horizontaux

### **Corrélation entre déformation et état de fissuration sur la face intérieure nord :**

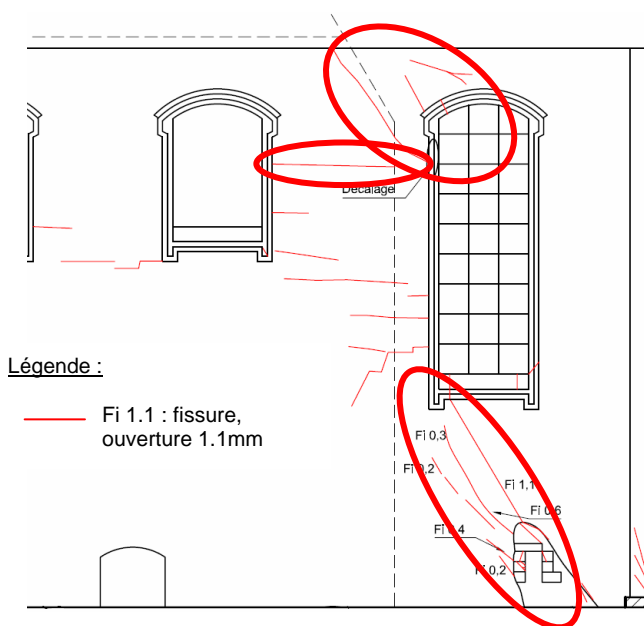


Figure 4 : Cartographie des désordres

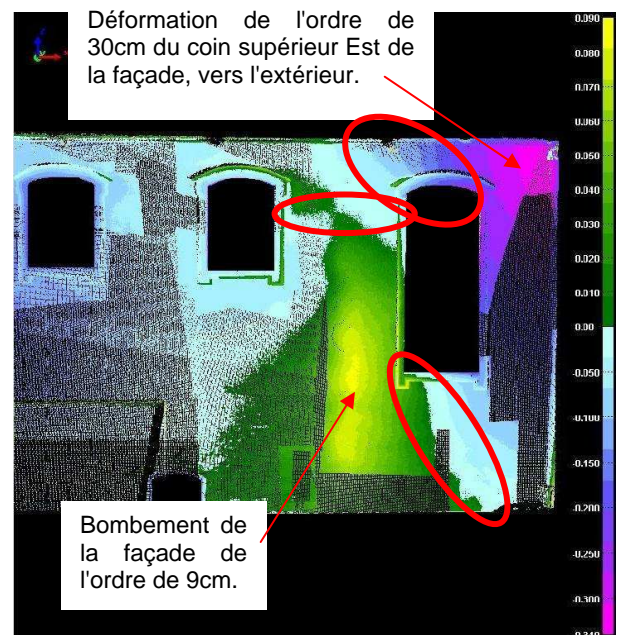


Figure 5 : cartographie des déformations

Nous observons une corrélation entre l'état de fissuration et les déformations géométriques globales de l'édifice. En effet, ces deux cartographies sont en grande partie superposables. Par ailleurs, nous savons que la fissuration s'est aggravée depuis 1996. Nous en concluons que les différentes parties de la chapelle séparées par les fractures principales sont en mouvement les unes par rapport aux autres. Compte tenu de ces résultats, il est proposé un suivi par instrumentation et nivellement direct de précision qui devra permettre de comprendre la cinématique<sup>3</sup> à l'origine des

<sup>3</sup> Étude du mouvement des éléments de la chapelle les uns par rapport aux autres.

désordres de la chapelle, et en conséquence d'optimiser les actions curatives à mener sur la structure du monument.

Le scanner laser est un outil puissant pour diagnostiquer les déformations acquises d'un édifice et obtenir rapidement des valeurs chiffrées pour les défauts d'horizontalité, de verticalité, de planéité. C'est une source d'informations nouvelles et complémentaires aux autres investigations. Cela permet un gain technique indéniable pour ce qui est de la finesse du diagnostic. En outre, ce gain technique est source d'un gain économique. En effet, les capteurs sont placés en nombres nécessaires et suffisants aux endroits précisément identifiés où l'information recherchée se trouve.

#### 4.2. Contrôle de la tension de haubans

Parmi ses compétences, une des activités de *SITES* est de contrôler la tension de haubans, sur des ponts haubanés, des torches en milieu industriel (raffinerie, site pétrochimique), des pylônes ou cheminées maintenus par haubans. Actuellement, ce contrôle s'effectue par mesure vibratoire de la réponse du hauban à une sollicitation mécanique ou par l'utilisation de la technique de "l'arbalète".

Le contrôle de la tension de haubans sort du strict champ de la topographie et constitue un domaine d'application inattendu de la lasergrammétrie. En effet, la tension est déduite de la géométrie du hauban. Cette géométrie est obtenue par modélisation du hauban à partir du nuage de points acquis par le scanner.

L'analyse de l'équilibre statique du hauban permet d'établir une relation liant la tension à la flèche maximale et aux caractéristiques propres du hauban, du type :

$$T = F(fv, \rho, L) \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} \rho : \text{masse linéique en } \text{Kg.m}^{-1} \\ L : \text{longueur du hauban en m.} \\ fv : \text{flèche en m.} \\ T : \text{Tension en N.} \end{array}$$

L'avantage principal de cette méthode est d'être mise en œuvre sans accès direct ni contact avec les haubans, seule la vue de celle-ci est nécessaire.

### 5. Conclusion

Au terme de ce projet passionnant consacré à la lasergrammétrie telle que mise en œuvre par la société *SITES*, nous tirons plusieurs enseignements concernant d'une part le scanner laser lui-même et d'autre part ses applications possibles.

En premier lieu, nous avons mis en œuvre des protocoles de tests pour évaluer la précision des données à partir de déterminations multiples.

Ensuite, dans le cadre des domaines d'applications de la lasergrammétrie, nous avons étudié deux applications que sont les études de déformations comme aide au diagnostic des pathologies d'un ouvrage et la détermination de la tension de haubans.

Ces deux domaines, sans rapport l'un avec l'autre, esquissent le potentiel de la lasergrammétrie quant à son vaste champ d'application possible.