

Utilisation d'un laser pour la surveillance topométrique d'ouvrages en cours de réfection

par G. BERNARD
Responsable de la cellule Topographie
Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France
(DREIF-DESRET)

I — INTRODUCTION

1.1 Principe du laser

Le laser est constitué par une source de lumière cohérente à haute fréquence.

En métrologie dimensionnelle, son utilisation est effective dans deux axes très distincts :

- mesure de distances : le laser, grâce à la mesure précise de l'intervalle de temps séparant le moment d'émission d'une impulsion dirigée vers un objet réflecteur et celui de la réception de l'écho après réflexion sur l'objet, permet la mesure de la distance laser-réflecteur ;
- mesure d'écartement : le faisceau laser peut être utilisé en tant que ligne concrète de référence pour des mesures d'écartement.

1.2 Domaines d'utilisation

Les domaines d'utilisation du lasers sont multiples :

- le premier groupe de lasers est utilisé comme tachéomètre électronique. Un tel matériel est largement employé par les géomètres qui réalisent des travaux d'implantation ou des levés topographiques. La précision d'un appareil de ce genre est de l'ordre de $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$;
- le second groupe de lasers est utilisé dans de nombreux domaines, entre autres :
 - pour matérialiser un alignement et procéder ainsi au guidage des tunnels, des canalisations ou pour enregistrer les mouvements d'une structure (par mesures d'écartement) ;
 - pour le positionnement d'un objet flottant : par intersection de 2 faisceaux ;
 - pour le contrôle du nivellement géométrique d'un terrassement ;
 - pour le réglage d'un fond de forme ;
 - pour la désignation d'un point sur une surface inaccessible ;
 - pour la liaison géodésique entre continents.

NDLR : Si les lasers ont été effectivement utilisés sur des tachéomètres ou distancemètres électroniques, ils sont actuellement généralement remplacés par les diodes électroluminescentes à l'arséniure de gallium, qui, avec des puissances très inférieures, permettent d'atteindre des portées jusqu'à une quinzaine de kilomètres. Les lasers restent utilisés dans le domaine de la mesure des distances pour les très longues portées et pour les applications militaires.

1.3 Les différents équipements laser

Certains lasers sont utilisés sans être supportés par un appareil de topographie. Il s'agit des tachéomètres électroniques qui forment à eux seuls une station complète comprenant les dispositifs de mesures d'angles et de distances. On rencontre également les lasers d'alignement dont les plus récents permettent une modification de l'orientation du faisceau dans le plan horizontal et vertical (laser de canalisations).

Le laser tournant balaye l'horizon sur 360° autour d'un axe vertical ; le plan horizontal de référence ainsi déterminé peut être intercepté par un capteur monté sur une règle ou sur un véhicule parcourant le terrain à régler.

D'autres lasers peuvent être montés sur des appareils de topographie tels que les théodolites et servir à l'implantation précise d'axes.

Le troisième type de laser est l'oculaire laser. Celui-ci peut être rendu solidaire d'un théodolite ou d'un niveau par le remplacement de l'oculaire en place par un oculaire laser. Le faisceau émis par le laser est focalisé dans le plan du réticule de la lunette ; il converge à l'endroit visé avec la lunette. Il est utilisé pour le guidage d'engins de travaux publics, pour l'alignement de ponts roulants, d'éléments de machines, pour le marquage de points inaccessibles.

II — SITUATION GÉOGRAPHIQUE NATURE DES TRAVAUX

Les travaux concernent deux ouvrages :

L'un est situé sur la commune de Meriel, l'ouvrage dit de "Richebout" est un pont mixte destiné à la circulation routière et ferroviaire. C'est un ouvrage à poutres métalliques franchissant l'Oise en trois travées continues de 20 m de portée.

L'autre pont, dit de "Mours" est situé sur la commune de Persan-Beaumont. C'est un pont rails en béton armé franchissant l'Oise en trois travées continues de 23 m de portée.

Les travaux consistent à assurer la stabilité des appuis mis en péril par un important abaissement des fonds à leur voisinage immédiat.

Le traitement de chaque fondation comprend :

- un ceinturage par palplanches battues ;
- le remplissage entre le massif ancien et le nouveau rideau avec du béton immergé ;

- des injections à l'interface massif - sol d'assise.

Ces travaux réalisés par la SNCF sont effectués alors que la circulation ferroviaire et routière est maintenue.

III — NATURE DES TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES

3.1 Travaux topographiques exécutés avant réfection de l'ouvrage

Depuis le mois de janvier 1979, les ouvrages font l'objet d'une surveillance topométrique destinée à suivre les déplacements verticaux des divers appuis, ainsi que leurs mouvements longitudinaux et transversaux.

A cet effet la SNCF a mis en place, en premier lieu, un ensemble de repères de nivellement scellés à demeure dans l'ouvrage. Il s'agit de rivets et de mirettes à chiffraison centimétrique.

Parallèlement à ce nivellement, et afin de déterminer l'amplitude et le sens d'éventuels déplacements, les extrémités de chaque appui ont été déterminées en coordonnées par triangulation.

En septembre 1981, date à laquelle les travaux de confortation ont commencé, les diverses mesures de nivellement ne faisaient apparaître aucun déplacement vertical important (déplacement maximum observé 3 mm). En planimétrie, seul l'état "O" de référence a été réalisé.

3.2 Surveillance topométrique durant les travaux de confortation

Les travaux de confortation des fondations des piles en rivière comprenaient des phases délicates, telles que :

- dragage,
- battage des palplanches : pour Richebout 106 ml de Larsen 2N de 10 m de longueur, pour Mours 87 ml de Larsen 3S de 7 m de longueur,
- bétonnage : 618 m³ pour Richebout, 353 m³ pour Mours,
- injection.

C'est au cours de ces opérations qu'un tassement différentiel entre appuis était à craindre. Ce tassement, selon son importance peut entraîner des désordres au niveau des voies et ainsi perturber la circulation ferroviaire. La limite de ce tassement a été fixée à 6 cm ; ce chiffre est le fruit d'un calcul de structures. Si cette limite est atteinte, une procédure de vérinage de l'ouvrage est prévue après vérification du tassement par une méthode traditionnelle de nivellement de précision.

Dans ces conditions, le cahier des charges prévoyait un "contrôle par dispositifs sonores et optiques". Ces dispositifs devaient permettre de détecter tout mouvement d'une pile avec une précision de 3 mm pendant la durée des travaux, depuis le dragage jusqu'aux injections.

Il s'agissait donc d'installer un dispositif capable de mettre en évidence en mode continu le mouvement des piles.

IV — MÉTHODOLOGIE - PROCÉDURES

4.1 Principes de surveillance

Compte tenu de la précision requise (3 mm), de l'importance du déplacement éventuel (60 mm), de la direction du mouvement qui était le plus à craindre (vertical), de la stabilité des culées, le principe d'une auscultation des piles à partir des culées a été retenu.

L'emploi d'un laser était donc envisageable. En effet, il suffisait de matérialiser un alignement de références (rayon laser) joignant les deux culées et franchissant les piles à observer ; les différentes mesures d'écart de la tête de pile, à cet alignement devaient permettre de détecter à tout moment un tassement différentiel et d'en déterminer l'amplitude.

Ces mesures étaient contrôlées par un nivellement de précision des mirettes de pile effectué deux fois par mois ou à la demande. Le laser donne un résultat instantané et dynamique, mais il est susceptible de dérèglement dû à des chocs ou des vibrations. Il était ainsi nécessaire de contrôler les indications du laser par une méthode conventionnelle surtout lorsqu'un écart significatif est décelé.

4.2 Matériel utilisé

Le laser employé est un laser de canalisations "Gradomat 9" Wild émettant un faisceau d'environ 5 mm de diamètre pour une portée de 100 m. Les caractéristiques techniques de cet appareil sont les suivantes :

- portée pratique 250 m,
- précision ± 5 mm à 100 m,
- contrôle automatique suivant la pente ± 7 %,
- contrôle automatique transversal ± 9 %,
- amplitude de réglage en direction 7 m de part et d'autre de l'axe à 100 m,
- étanche à l'immersion et à l'humidité,
- alimentation 12 VDC,
- poids 5,5 kg,
- diamètre 140 mm,
- longueur 380 mm.

En l'occurrence, cet appareil n'a pas été utilisé dans sa fonction habituelle, à savoir l'implantation de canalisations en direction et suivant un profil en long.

Il a été employé ici comme un appareil définissant un alignement matérialisé par un faisceau visible à l'œil nu. L'impact laser s'effectue sur un récepteur ; les mesures se font au centre de cet impact.

4.3 Implantation des postes d'observations et des repères d'auscultation

Les postes d'observation ont été implantés sur la culée rive droite de l'ouvrage : l'un en amont, le second en aval (fig. 1 et 11). Sur le pont de "Richebout" deux autres postes ont été réalisés sur la culée rive gauche pour permettre une surveillance des piles lors de la présence d'engins dans la passe rive droite ou centrale. Le stationnement du laser était assuré par un repère scellé dans la culée (fig. 2, 3, 4). Le pied avant de l'appareil, au droit duquel s'effectue le basculement du faisceau venait s'engager dans la partie conique du repère (fig. 5).

NDLR : Les lasers d'alignement Gradomat sont en fait construits par la firme américaine AGL à Jacksonville (Arkansas) et commercialisés en France par Wild + Leitz France.



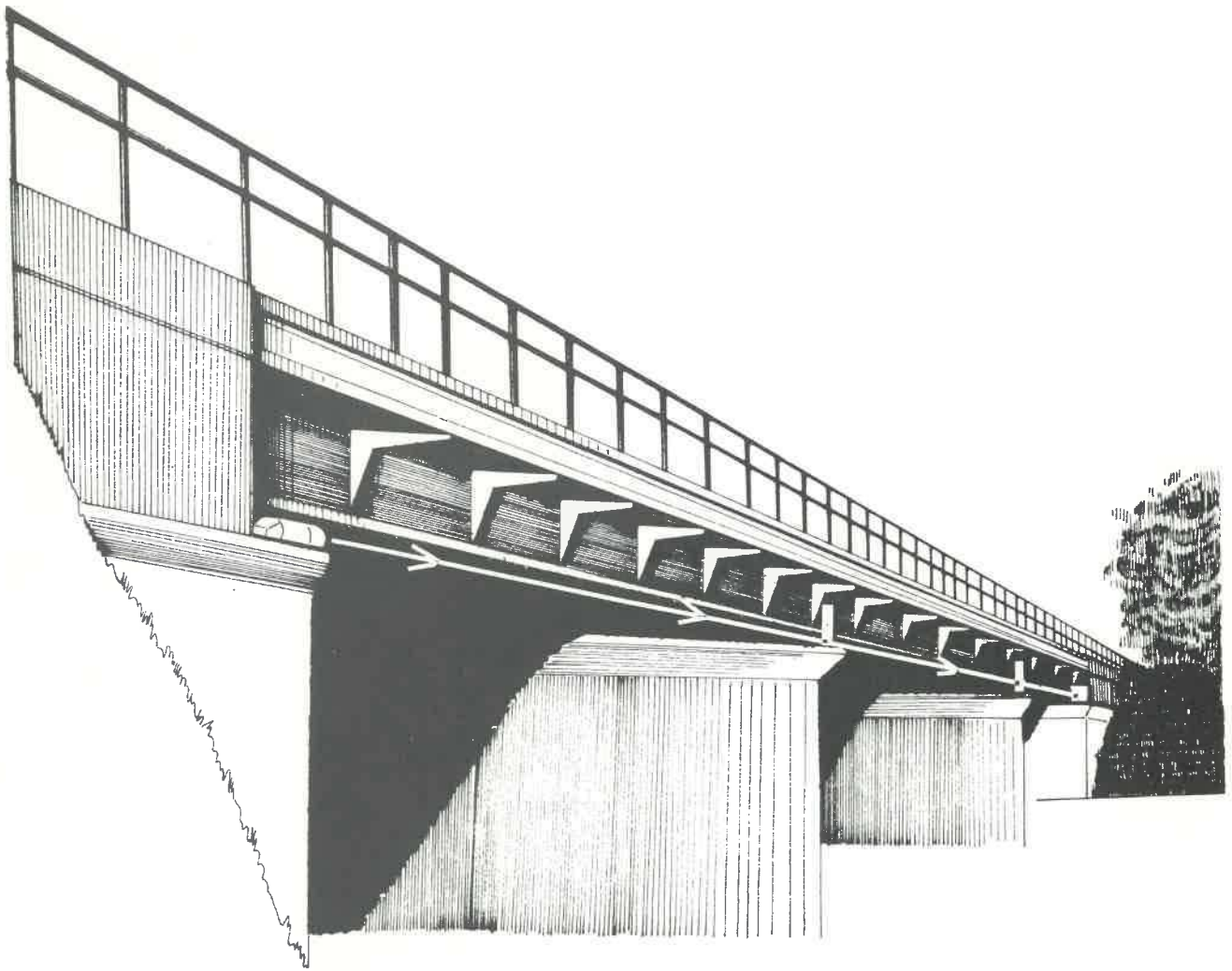


Figure 1



Figure 2



Figure 3

Chaque poste d'observation était équipé d'un laser. Il a donc été mis en œuvre 2 lasers sur le pont de Richebout et 2 lasers sur le pont de Mours.

La seconde extrémité de l'alignement était matérialisée par une cible de 8 cm de côté en métal anodisé noir sur laquelle apparaissent des anneaux concentriques de couleur blanche d'un diamètre de 4 cm maximum. Cette cible a été rendue solidaire de la culée (fig. 6 et 7).



Figure 4

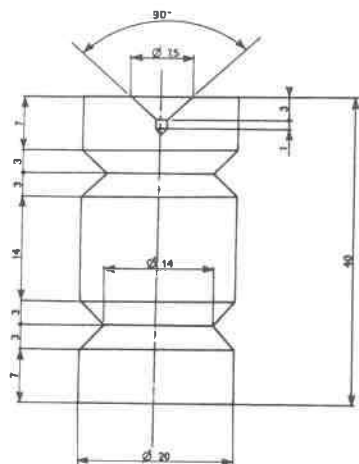


Figure 5



Figure 6

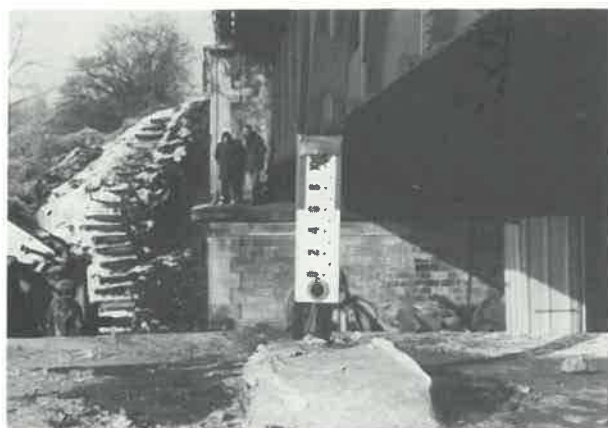


Figure 10

Les piles en rivière ont été équipées de repères d'auscultation. Sur chaque avant-bec de pile a été scellé un fer en L portant dos à dos deux réglets de

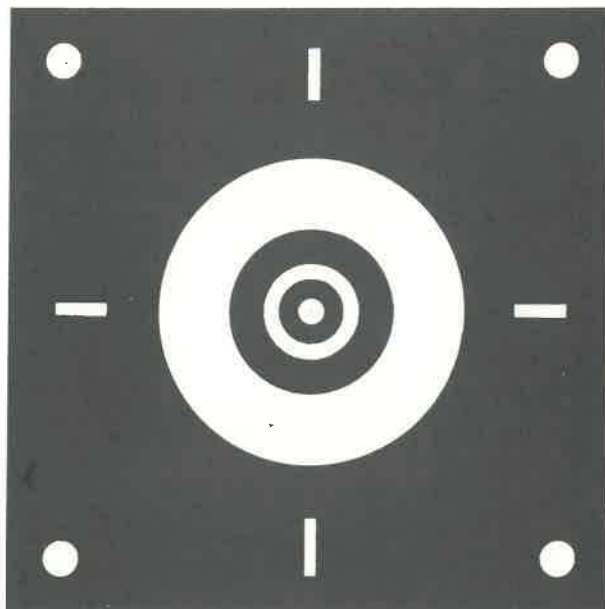


Figure 7



Figure 8

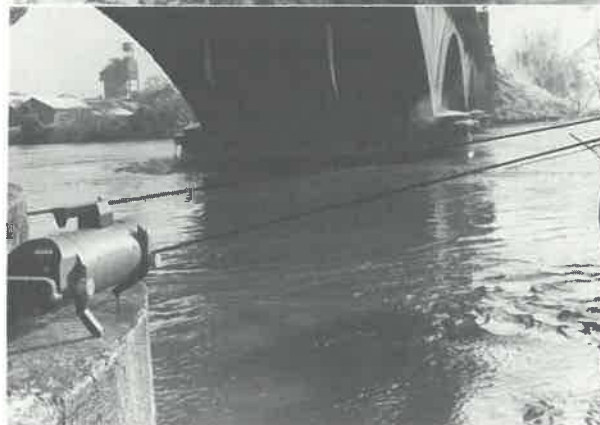


Figure 11

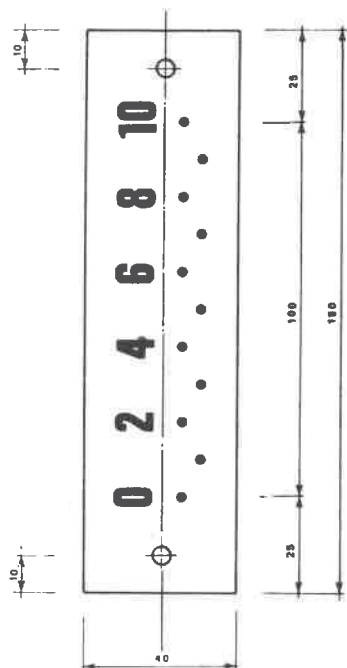


Figure 9

10 cm de hauteur, de couleur blanche sur lesquels étaient gravés des repères espacés tous les centimètres (fig. 8, 9, 10). Ces repères de pile ont été volontairement implantés de part et d'autre du faisceau (à 5 cm en amont et 5 cm en aval du faisceau).

4.4 Procédures

4.4.1 Réglage de "l'état zéro"

a) Calage de l'alignement : réglage du faisceau sur la cible, en alignement et en hauteur.

b) Avant le démarrage des travaux, les réglettes de pile ont été positionnées de telle façon que l'impact du faisceau laser se situe au niveau du "zéro" de chaque réglet dans les deux positions des lasers (rive gauche et rive droite) ainsi, à partir d'une lecture directe sur le réglet, on pourrait à tout moment déterminer le tassement différentiel d'une pile.

4.4.2 Observations quotidiennes

Chaque jour, pendant toute la durée du chantier, la procédure d'observation était la suivante :

- mise en station du laser,
- calage du faisceau laser sur la cible située sur la rive opposée,
- réglage en translation du faisceau jusqu'à l'obtention de l'impact sur l'un des réglets et lecture du tassement sur le réglet,
- éventuellement, réglage en translation du faisceau sur le second réglet et lecture du tassement,
- surveillance de l'impact du faisceau sur le réglet correspondant à la pile en chantier, et ce sur chaque extrémité de la pile (amont et aval).

4.5 Contrôles

Les mesures "laser" étaient encadrées par des nivellements de précision des mirettes situées sur les avant-becs des piles avec une fréquence bi-mensuelle. Un nivellement de précision a été réalisé à l'état "zéro" des "mesures laser" et en fin d'opération.

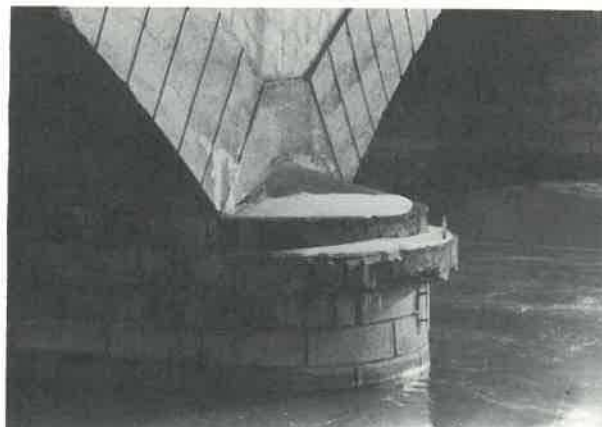


Figure 12

V — RÉSULTATS DES OPÉRATIONS

C'est au cours et à l'issue des travaux de battage de palplanches qu'ont été observés les mouvements les plus importants. Cela concernait uniquement le pont de Richebout. Il s'agissait d'un tassement de 18 mm des appuis ce qui correspondait au tiers du tassement maximum toléré. Ces mouvements ont été parfaitement visualisés sur les réglets (impact laser situé à la cote 2 cm).

Quant au pont de Mours, l'impact laser est resté figé à la cote 0.

Un contrôle de la fiabilité de la méthode a été réalisé en fin d'opération. Des mesures laser et de nivellement direct ont été effectuées simultanément.

La dispersion moyenne entre les divers résultats est de l'ordre de 3 mm, ce qui correspondait à la précision exigée.

VI — CONCLUSION

L'utilisation d'un laser, à des fins de contrôle d'écarts par rapport à un alignement, paraît intéressante pour diverses raisons :

- la mise en station est très simple et peut être effectuée par toute personne non initiée à la topographie,
- les mesures se réduisent à de simples lectures sur une échelle graduée,
- l'utilisation en mode continu permet d'obtenir des résultats immédiats et à tout moment,
- la précision de la méthode, sans être grande, est suffisante si l'on prend la précaution d'encadrer les mesures par des opérations topométriques de précision effectuées à des moments judicieusement choisis,
- le dispositif de surveillance par laser peut être relié à un dispositif sonore ou lumineux grâce à l'utilisation de cellules spéciales en lieu et place des réglets. Un tel dispositif pourrait mettre en œuvre des panneaux de signalisation obligeant les convois à passer sur l'ouvrage à allure réduite ou à stopper selon l'importance du tassement.

La seule limite à l'utilisation d'un matériel de ce genre est d'ordre psychologique : il s'agit en fait d'un matériel sophistiqué, très onéreux à l'achat ou à la location. Les manipulations n'étaient pas faites sans crainte d'une fausse manœuvre, d'une chute, ou d'une destruction ou disparition par vandalisme ou vol.