

# Mise sous haute surveillance d'un viaduc ferroviaire en maçonnerie

**Bruno GODART**  
Ingénieur Général des Travaux publics de l'État  
Chef de la Division Fonctionnement et durabilité des ouvrages d'art

**Gilles SÈVE**  
Ingénieur des Travaux publics de l'État  
Section Mécanique des sols et fondations  
Division Mécanique des sols et géologie de l'ingénieur

**Jacques EHRlich**  
Directeur de recherche  
Section Electronique  
Service Métrologie et instrumentation

Laboratoire central des Ponts et Chaussées

## Introduction

Le viaduc ferroviaire de La Launa est un ouvrage en maçonnerie construit durant les années 1920. Il est situé sur une ligne SNCF à voie unique qui joint Nice à Breil, dans les Alpes-Maritimes, et permet le franchissement du ravin de La Launa. Il a une longueur de 110 m, avec un rayon en plan de 300 m, et comporte six voûtes plein cintre de 12 m d'ouverture. Les cinq piles de l'ouvrage ont une hauteur variable comprise entre 6 et 23 m (fig. 1).

La culée côté Nice ainsi que la pile adjacente subissent les poussées dues à un mouvement de terrain de grande ampleur. Le viaduc est pris en étau entre les deux versants. Les conditions de site (pente très raide, absence d'accès, végétation importante, etc.), la grande ampleur du mouvement ainsi que la relative lenteur des déplacements ont conduit le gestionnaire à décider de ne pas engager de travaux géotechniques. Un dispositif de surveillance du viaduc a donc été conçu, puis mis en œuvre afin d'assurer une utilisation de l'ouvrage en toute sécurité, dans l'attente d'une décision relative à sa reconstruction.

## RÉSUMÉ

La mise sous haute surveillance permet, dans certaines conditions, d'assurer une utilisation en toute sécurité d'un ouvrage présentant une pathologie importante. Cette méthode a été appliquée au cas d'un viaduc ferroviaire situé dans les Alpes-Maritimes et supportant une faible circulation : une télé-surveillance de la convergence des voûtes, de l'évolution des fissures dans les piles ainsi que leur verticalité a permis, pendant presque trois années, d'assurer le passage du trafic ferroviaire avec toute la sécurité nécessaire.

Cet article présente successivement la pathologie de l'ouvrage, les enjeux qui lui sont associés, le dispositif de télé-surveillance adopté et les mesures de suivi réalisées.

Cette expérience a permis de tirer certaines recommandations, qui sont présentées en conclusion.

**MOTS CLÉS :** 61 - Surveillance - Historique - Pont - Pathologie - Continu - Mesure - Chemin de fer (voie) - Maçonnerie - Méthode - Télévision - Recommandation.

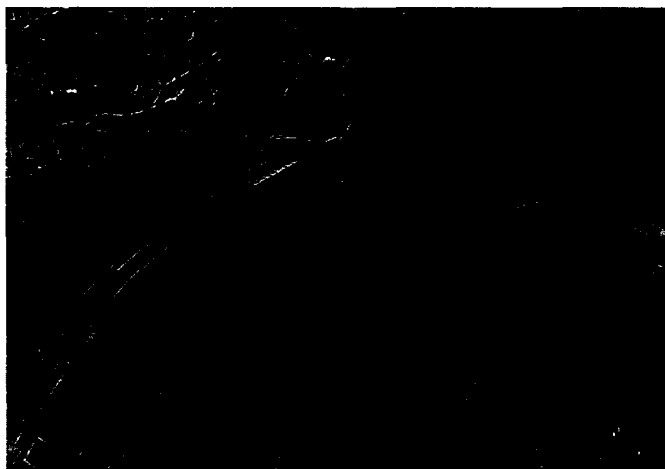
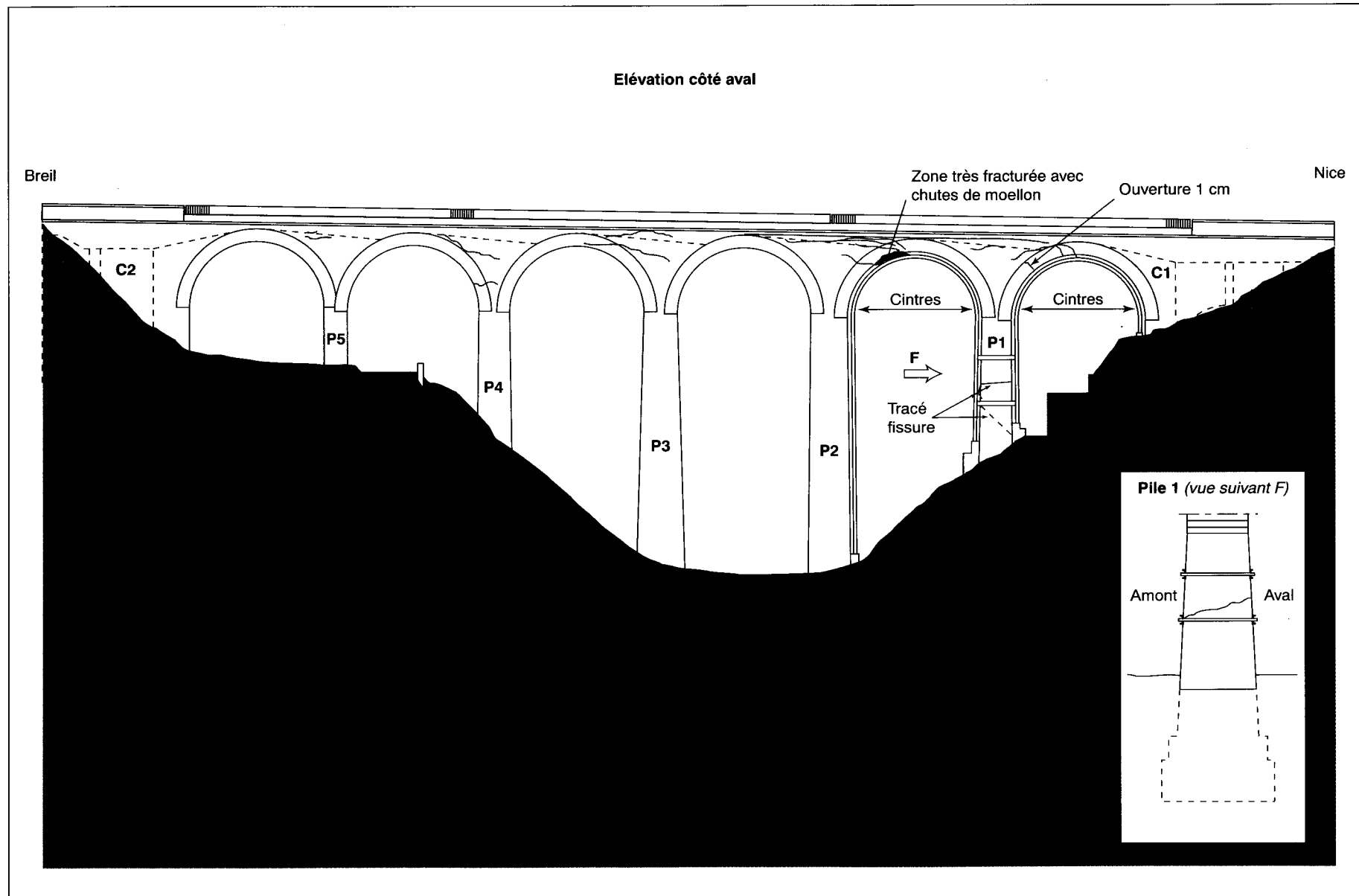


Fig. 1 - Viaduc de La Launa.

Fig. 2 - Schéma de fissuration du viaduc de La Launa en 1988.



## Historique et pathologie de l'ouvrage

La construction du viaduc a commencé en 1924 pour s'achever en 1927. Des problèmes de tassements importants des fondations sont apparus dès le stade de la construction. Les premières fissures ont été constatées sur la maçonnerie des premières voûtes (côté Nice) en 1938.

En 1962, une accélération des désordres est constatée et, en 1966, des butons sont placés sous les voûtes 1 et 2. Après des travaux d'épilage de maçonnerie et d'injection de sol réalisés en 1969, il semble qu'une période de stabilisation se soit installée jusqu'en 1976, date à partir de laquelle une reprise des mouvements a été observée et a conduit en 1978 à la pose de trois travées indépendantes métalliques au-dessus des voûtes 1 à 3. Ces tabliers ont été mis en place après un décaissement partiel des voûtes 1 à 3 ; ils s'appuient directement sur la culée côté Nice et sur les piles P1 à P3, et supportent la circulation des trains (fig. 1).

En 1983, les fondations de la culée (côté Nice) et de la première pile (P1) ont été renforcées par des micro-pieux inclinés. Ces travaux de renforcement ont été poursuivis en 1986 par la pose de cintres sous les deux premières voûtes. Ces cintres s'appuient sur la base de la culée côté Nice et des piles 1 et 2 par l'intermédiaire de poteaux en profilés métalliques bridés régulièrement sur toute la hauteur des piles pour éviter leur flambement. Ces cintres sont dimensionnés pour reprendre le poids propre des voûtes et de leur remplissage.

Cet historique fait donc apparaître une dégradation lente et progressive du viaduc de La Launa, même si quelques phases de répit ont été observées. En 1988, l'état de cet ouvrage était tel que la SNCF a demandé au Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC) de mettre en œuvre un système de télésurveillance. Ce dernier a été conçu et mis en place en collaboration avec le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Nice. Cette mise sous haute surveillance a cessé dans le courant de l'année 1992, quand l'ouvrage a été détruit pour être reconstruit.

## Les raisons de la mise sous haute surveillance

### Analyse des mouvements et de la fissuration

L'examen visuel du profil en long de l'ouvrage montre que toutes les piles ont tassé davantage que les culées. En l'absence de documents relatant le tassement des fondations depuis l'origine, il semble que la fissuration constatée (fig. 2) :

➤ décollement généralisé du couronnement (plinthes, corniches, parapet) par rapport au reste de la structure (fig. 3),



Fig. 3 - Décollement entre le couronnement et le corps de voûte.

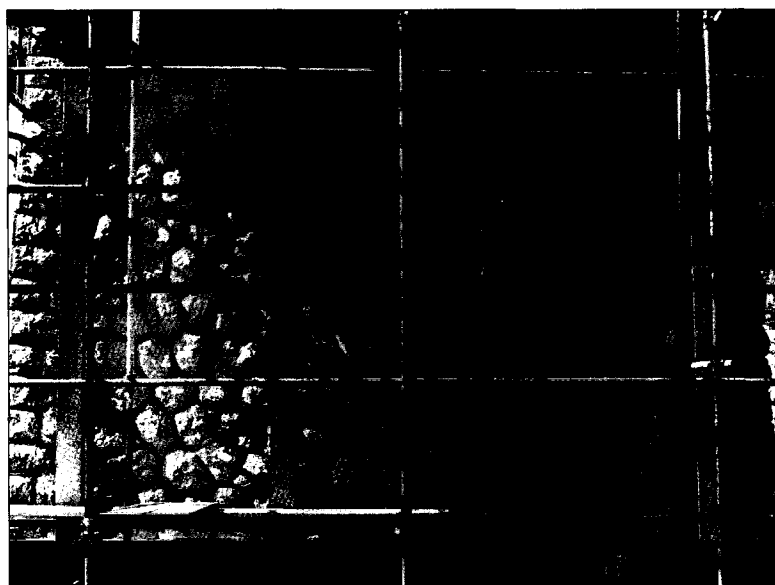


Fig. 4 - Fissuration de la pile P1 visible en arrière-plan des cintres métalliques.

- fissuration longitudinale des tympans au-dessus des cinq piles,
- ouverture d'une fracture au rein (côté Breil) de la voûte 1,
- ouverture d'une fracture dans la pile P1 (fig. 4),

soit la résultante d'un tassement différentiel des piles par rapport aux culées et d'un effort de compression dans la structure provoqué par la prise en étau du viaduc entre les deux versants de la vallée.

Si l'on examine les seules valeurs de déplacements du viaduc en notre possession, valeurs mesurées de 1978 à 1988, on constate que, si les tassements des pieds des piles sont relativement peu importants (environ 5 mm pour les piles et 10 mm pour la culée côté Nice), en revanche les déplacements horizontaux sont particulièrement importants comme l'atteste le schéma de la figure 5. En effet,

Fig. 5 - Déplacements horizontaux des pieds de piles et du couronnement du viaduc de La Launa.

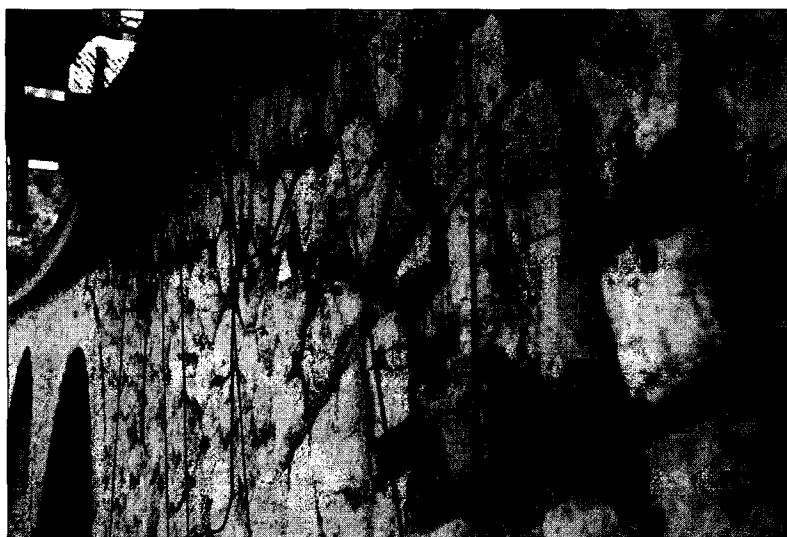
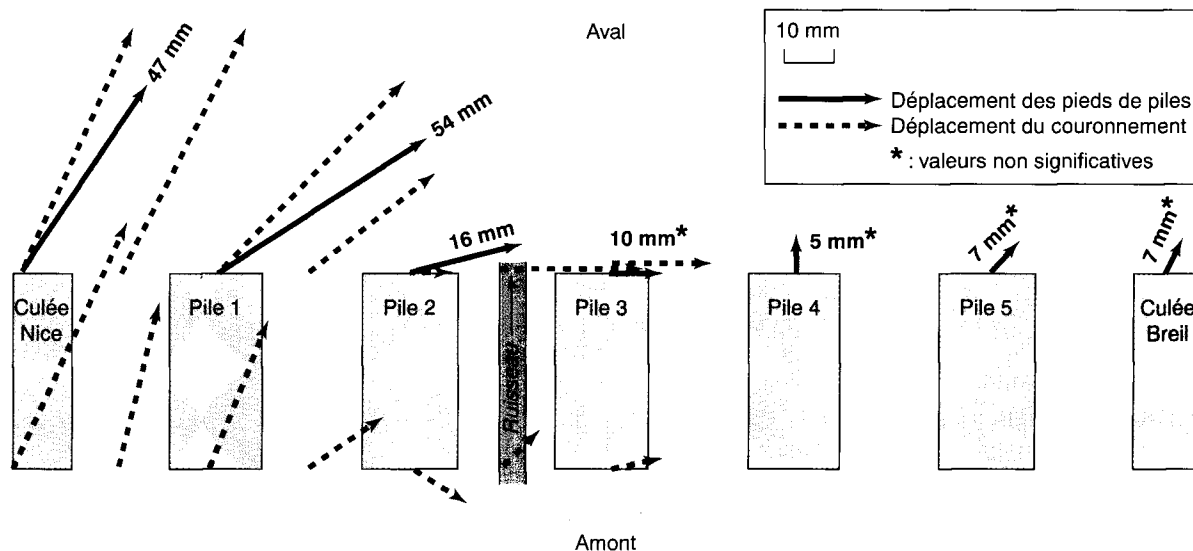


Fig. 6 - Désorganisation de la maçonnerie du tympan de la voûte 2.

le pied de la pile P1 et de la culée côté Nice se déplace de 40 à 50 mm vers l'aval, tandis que le pied de la pile P2 se déplace d'environ 15 mm et les autres pieds de pile d'une valeur inférieure à 10 mm. Le déplacement du couronnement (qui ne représente pas le déplacement véritable de la structure en raison du décollement existant) suit grossièrement celui des pieds de pile, avec cependant un déplacement moindre du couronnement amont par rapport au couronnement aval.

Comme le versant côté Nice connaît le déplacement le plus important, la culée C1 et la pile P1 sont affectées des mouvements les plus grands. La pile P1 comporte, à mi-hauteur, une fracture de forme hélicoïdale d'ouverture supérieure à 1 cm et présente, sur trois faces, une fracture qui résulte d'un cisaillement accompagné de torsion (fig. 2).

La voûte 1 comporte plusieurs fissures en intrados, dont l'une a une ouverture supérieure à 1 cm au voisinage de P1.

La voûte 2 est la plus endommagée car elle se situe entre les piles P1 et P2, dont le mouvement différentiel des fondations est le plus important. En 1982, cette voûte était dans un stade de désorganisation de maçonneries avec chute de moellons sous l'effet des fissurations importantes, de la décompression des voûtes due au décaissement et des vibrations provoquées par le passage des trains (fig. 6).

### La décision de la mise sous haute surveillance

En 1988, le viaduc de La Launa était donc dans un état préoccupant, et ceci malgré la remarquable faculté d'adaptation des ouvrages en maçonnerie. Pour maintenir une circulation en toute sécurité des trains, la SNCF a alors décidé de mettre l'ouvrage sous haute surveillance, en installant sur le site une unité de traitement en temps réel des mesures permettant, par fixation de seuils, de fournir pour la signalisation des trains une information binaire (passage ou arrêt des trains).

### Étude des chemins de ruine potentiels

Avant de mettre un ouvrage sous haute surveillance, il est nécessaire d'imaginer tous les chemins de ruine possibles et de retenir les plus probables afin de déterminer les paramètres à surveiller. Après une analyse du fonctionnement de la structure, les trois chemins suivants ont été retenus :

- ❶ rupture de la pile P1 qui reçoit directement le poids des tabliers métalliques et des charges roulantes ;

- ② rupture de l'une des deux voûtes 1 et 2 résultant d'une défaillance accidentelle des cintres ou d'une dislocation de la maçonnerie avec pour conséquence la déstabilisation de la pile P1 ;
- ③ flambement ou déversement des plinthes, qui provoquerait alors un report des efforts de compression vers les tympans et les voûtes, puis poursuite sur le chemin ②).

Pour chacun de ces mécanismes, le dispositif de surveillance permettrait de suivre :

- l'évolution de la fracture la plus active à l'aide de trois capteurs de déplacement placés selon trois directions orthogonales, et l'inclinaison de la pile P1 à l'aide d'un pendule direct dans le cas ① ;
- la convergence des voûtes par distancemètres dans les cas ② et ③.

## Le système de surveillance

### Description sommaire de l'instrumentation (fig. 7)

L'évolution de la fissure de la pile est suivie à l'aide de capteurs de déplacement à traduction électrique placés à cheval sur la fissure et permettant de suivre son évolution avec une précision de  $\pm 0,10$  millimètre.

Le pendule direct est constitué par un fil accroché en haut de la pile, au bout duquel est suspendue une masse immergée dans un bac

rempli d'un liquide visqueux, ce bac étant solidaire du bas de la pile. L'inclinaison de la pile est obtenue à partir de la mesure du déplacement de la masse par rapport au bord du bac, ce déplacement étant mesuré à l'aide de trois capteurs potentiométriques disposés sur les bords du récipient et répartis à  $120^\circ$ . Le fil est protégé sur toute sa hauteur par un tube en PVC fixé sur la pile. La précision sur la mesure de l'inclinaison est d'environ  $\pm 10^{-5}$  rd.

Le distancemètre, destiné à mesurer la convergence des voûtes, est constitué d'un fil invar ancré d'un côté de la voûte, et qui passe sur une poulie fixée de l'autre côté de la voûte. Une masse est suspendue au fil en dessous de la poulie de façon à assurer une tension constante du fil invar. Un capteur de déplacement permet de suivre le déplacement relatif de l'extrémité du fil par rapport à la voûte et fournit ainsi une valeur de convergence. La précision sur la mesure de convergence est de  $\pm 0,50$  millimètre.

Ce dispositif de mesures est complété par des thermocouples qui sont installés :

- en clé de voûte 2, face aval,
- en clé de voûte 2, face amont,
- à mi-hauteur dans la pile P1,
- sur le cintre métallique de la travée,
- en ambiance.

L'ensemble de cette instrumentation a été mis en œuvre par le LRPC de Nice.

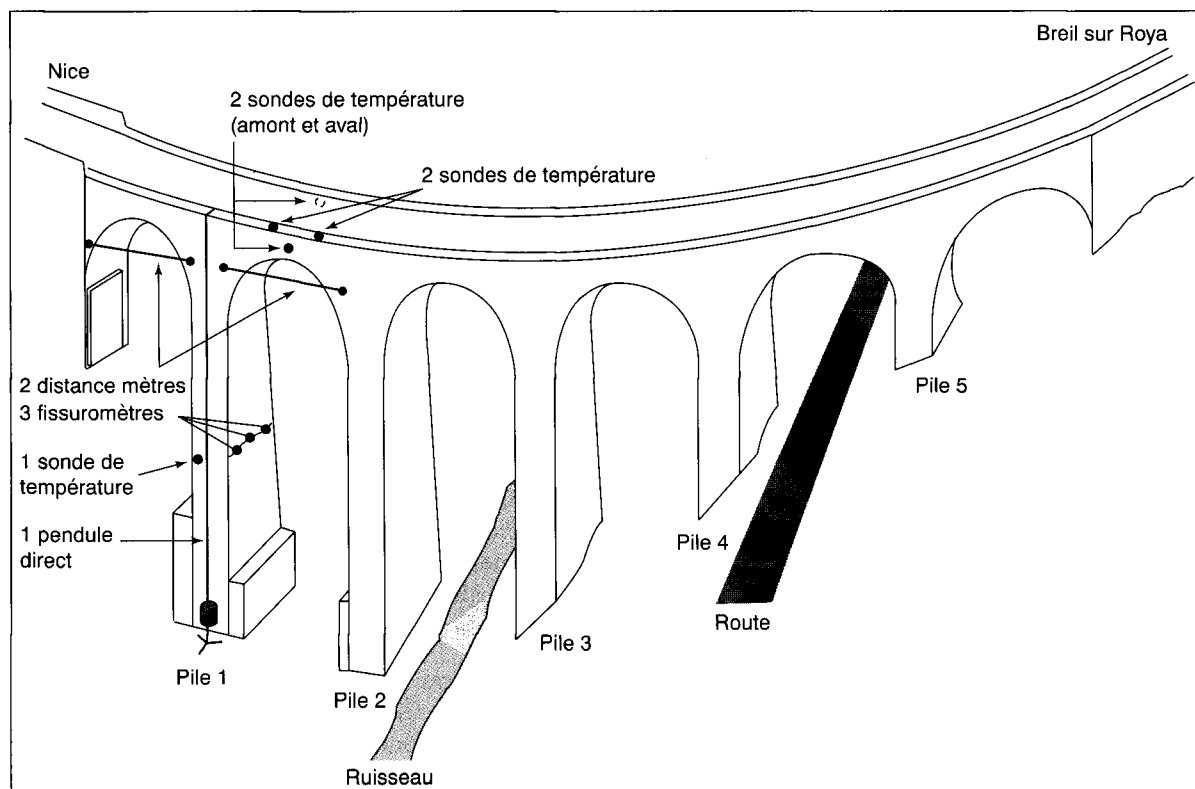


Fig. 7 - Schéma d'instrumentation du viaduc de La Launa.

## Le dispositif de surveillance VIGILOG

Pour répondre à la demande du maître d'ouvrage et aux impératifs de la haute surveillance arrêtés d'un commun accord, il a été décidé de mettre en œuvre un dispositif de surveillance automatique. Ce dispositif (VIGILOG) a été construit sur la base d'un micro-ordinateur PC muni d'une carte d'acquisition et d'une carte modem. Il permet une mesure automatique des paramètres avec stockage *in situ* et un traitement en temps réel des informations sur la base de comparaison à des seuils. Lorsqu'un premier niveau de seuil (seuil orange) est atteint, il y a une alerte avec envoi d'un message au district SNCF par ligne PTT. Lorsqu'un second niveau de seuil (seuil rouge) est atteint, il y a alarme avec action sur la signalisation et arrêt des trains.

VIGILOG a été conçu de façon à pouvoir être implanté sur différents sites. Il remplit les fonctions suivantes :

- **acquisition** : cette fonction consiste à « lire » un capteur, à numériser et convertir en grandeur physique la mesure ;
- **validation** : par comparaison avec les mesures antérieures, de l'écart-type avec une valeur moyenne de plusieurs mois, avec une valeur de référence, par vérification du bon fonctionnement du capteur (contrôle de la dérive dans le temps, capteur témoin), par comparaison entre les capteurs du site ;
- **traitement** : combinaisons de mesures, moyennes temporelles ou spatiales, calcul des vitesses et des accélérations, pour obtenir une ou des grandeurs jugées représentatives de l'évolution du phénomène ;
- **stockage** : le stockage des mesures, qui permet l'interprétation du phénomène, n'est pas forcément systématique. On peut ainsi avoir un stockage temporaire sur le site que l'on vient périodiquement vider par télétransmission ;
- **transmission** : transmission des mesures entre capteurs et centrale d'acquisition, entre centrale d'acquisition et exploitant du système, transmission des alertes et des alarmes ;
- **tests** : vérification des dépassements de seuils (définis à l'avance) après chaque acquisition ;
- **génération d'alertes et d'alarmes** : appel téléphonique, mise au rouge d'un feu, etc.

## Traitement et gestion des informations

Le système d'acquisition de données pour la télésurveillance des sites ou des ouvrages d'art est constitué d'un micro-ordinateur d'acquisition de données appelé système serveur situé sur le terrain, et d'un ou plusieurs micro-ordinateurs de contrôle à distance appelés systèmes clients situés dans des centres de surveillance. La liaison entre systèmes serveur et clients est établie à travers le réseau téléphonique.

Le système serveur effectue la saisie et le traitement d'informations provenant des divers capteurs installés sur le terrain. Le résultat de ce traitement produit des valeurs qui sont comparées à des seuils et peuvent déclencher des alertes et des alarmes. Ces alarmes consistent à actionner des dispositifs se trouvant sur le site ou à émettre automatiquement des messages vers les centres de surveillance.

Le fonctionnement de l'ordinateur serveur est régi par un certain nombre de paramètres (valeur des seuils, période de scrutation, étalonnage des cartes d'interfaces, etc.) qui peuvent être consultés ou modifiés localement ou bien à distance.

L'acquisition est réalisée par scrutation périodique. Toutes les 15 s, l'ensemble des voies d'entrée est exploré, soumis à un traitement et les résultats de ce traitement sont comparés à des seuils. Dès qu'un franchissement de seuil est détecté, les ordinateurs clients peuvent être appelés.

À partir des mesures acquises, le programme effectue le traitement en temps réel suivant :

- **mise à l'échelle** : celle-ci permet de transformer l'information délivrée par le capteur en une grandeur physique exprimée dans l'unité souhaitée par l'utilisateur ;
- **calculs inter-voies** : ils concernent certaines grandeurs physiques qui dépendent de plusieurs voies d'acquisition. C'est notamment le cas pour les pendules, où les résultats proviennent de calculs portant sur deux, trois ou quatre capteurs ;
- **calculs des vitesses, accélérations et moyennes glissantes** : pour chacune des grandeurs physiques obtenues à l'issue des calculs précédents, sont calculées les dérivées première (vitesses), seconde (accélération) et moyennes glissantes (filtre numérique) ;
- **comparaison aux seuils et activation des alarmes** : les valeurs obtenues par les calculs décrits ci-dessus sont comparées à des fourchettes de tolérances larges et serrées. Cette comparaison conditionne l'affichage, l'impression, l'émission de messages d'alerte ou d'alarme vers un ou plusieurs ordinateurs clients et l'activation d'alarmes locales (signaux, sonneries, etc.).

Le système serveur produit un nouveau fichier de résultats chaque jour. Ce sont des fichiers en mode texte organisés en lignes (une ligne par scrutation), qui peuvent être consultés avec un simple éditeur ou traité avec la plupart des tableurs du commerce.

Dès qu'un ou plusieurs résultats de calcul franchissent les seuils de tolérance les plus faibles, la procédure automatique d'émission d'alerte par liaison téléphonique est déclenchée. Pour cela, chaque serveur possède un annuaire des clients susceptibles d'être appelés.

Le serveur tente, de façon cyclique, de transmettre les messages d'alarme à l'ensemble des clients figurant dans l'annuaire. Lorsqu'un message a été reçu par un client, le serveur cesse de l'appeler. Lorsque l'ensemble des clients a reçu le message, la procédure d'émission est terminée.

Lorsqu'un message d'alerte est reçu par un client, il est enregistré dans une boîte aux lettres et conservé dans celle-ci tant que l'utilisateur ne l'en aura pas retiré. L'utilisateur peut à tout moment prendre connaissance du contenu de ces messages au moyen des utilitaires de boîte aux lettres.

Sur apparition d'une alarme, un système serveur peut déclencher sur le site des événements (allumage d'un feu de signalisation, émission d'une sonnerie, fermeture d'une barrière, etc.). Il est doté pour cela de huit sorties à états logiques pouvant prendre les valeurs 0 ou 5 V. L'état 5 V correspond à un état d'alarme.

Dès qu'un ou plusieurs résultats de calcul franchissent les seuils de tolérance larges, une ou plusieurs alarmes locales sont déclenchées à condition qu'elles aient été préalablement validées. La validation d'une alarme locale est réalisée par une intervention de l'utilisateur ; celle-ci peut se faire localement sur le serveur ou bien à distance à partir d'un système client ayant les droits d'accès en modification.

Inversement, si l'on ne souhaite plus déclencher d'alarmes locales, il est possible par une intervention similaire de l'utilisateur d'inhiber une ou plusieurs alarmes.

Chaque système client possède un annuaire des serveurs susceptibles d'être appelés. Le dialogue avec l'utilisateur permet par simple sélection d'un des serveurs figurant dans l'annuaire de lancer la procédure d'appel et de connexion automatique.

Lorsque la liaison est établie, l'utilisateur peut consulter ou modifier certains paramètres de fonctionnement du système serveur (fréquence d'affichage, stockage et impression, seuils de tolérances, etc.), récupérer ou détruire les fichiers contenant les résultats d'acquisition.

Pendant que sont effectuées ces diverses opérations, le système serveur poursuit normalement sa tâche d'acquisition.

Toutefois, les possibilités d'actions sont limitées par un système de droits d'accès. En effet, afin d'éviter des modifications intempestives à distance des paramètres de fonctionnement d'un serveur, un système de droits d'accès a été mis en place limitant les possibilités des clients. Il repose sur la notion de classe d'utilisateur.

Dans le cas du viaduc de La Launa, la SNCF a fixé des seuils pour les déplacements mesurés à l'aide des différents capteurs :

- pour chaque capteur situé sur la fissure, une variation de 5 mm (précision  $\pm 0,1$  mm) correspond au seuil d'alerte, une variation de 15 mm correspondant au seuil d'alarme ;
- pour chaque capteur mesurant la convergence de la voûte, une variation de 5 mm (précision  $\pm 0,5$  mm) correspond au seuil d'alerte, une variation de 15 mm correspondant au seuil d'alarme ;
- pour chaque capteur constitutif du pendule, une variation de 10 mm (précision  $\pm 0,1$  mm) correspond au seuil d'alerte, une variation de 15 mm correspondant au seuil d'alarme.

## Analyse des déplacements mesurés

Les figures 8, 9, 10 et 11 présentent les résultats des mesures obtenues entre le 22 février 1990 et le 30 juin 1992. Cette période de mesure correspond à une télésurveillance parfaitement opérationnelle et succède à une période d'apprentissage qui a duré d'août 1989 à janvier 1990, soit six mois.

### Résultats des mesures de température

La figure 8 présente l'ensemble des résultats de mesure de température. On reconnaît clairement l'évolution saisonnière des températures, sur laquelle vient se superposer une évolution journalière qui produit certains jours quelques pics locaux de température.

On constate une distribution relativement uniforme des températures au sein de la structure, avec cependant une plus grande réactivité thermique des cintres métalliques, ceci étant dû à leur inertie thermique plus faible que celle de la maçonnerie.

La température maximale atteinte dans la structure est de 25 °C en été, et la température minimale est de - 4 °C en février 1991.

Enfin, on observe sur cette figure la température mesurée à l'intérieur d'un boîtier (BOITE) électronique situé dans le local de mesures à proximité de l'ouvrage ; la température du boîtier suit approximativement la température du local avec un différentiel de température correspondant à l'échauffement du boîtier lui-même. Ce type de mesure est uniquement destiné au contrôle du bon fonctionnement du dispositif.

### Résultats des mesures du pendule

La figure 9 présente l'évolution des trois capteurs de déplacement du pendule. L'inclinaison de la pile est soumise à une variation saisonnière



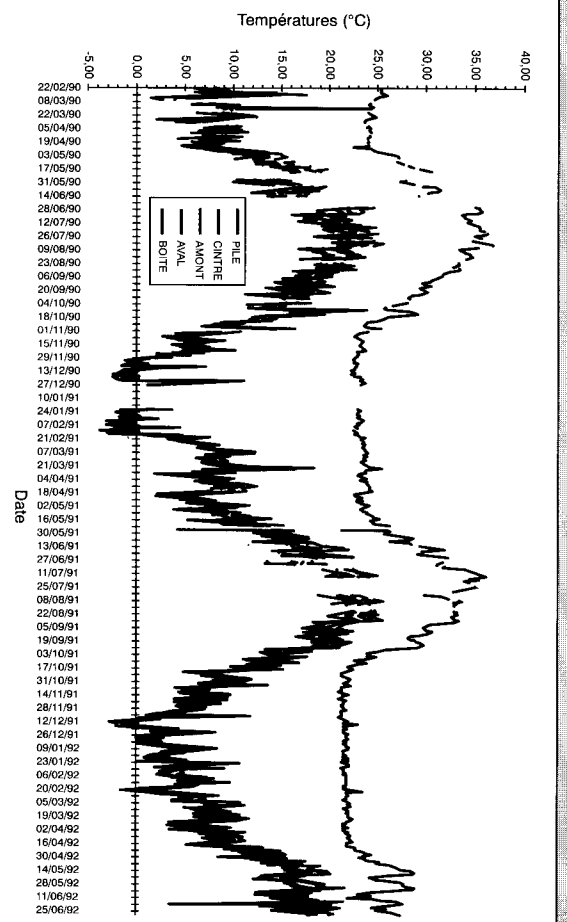


Fig. 8 - Evolution des températures de la structure.

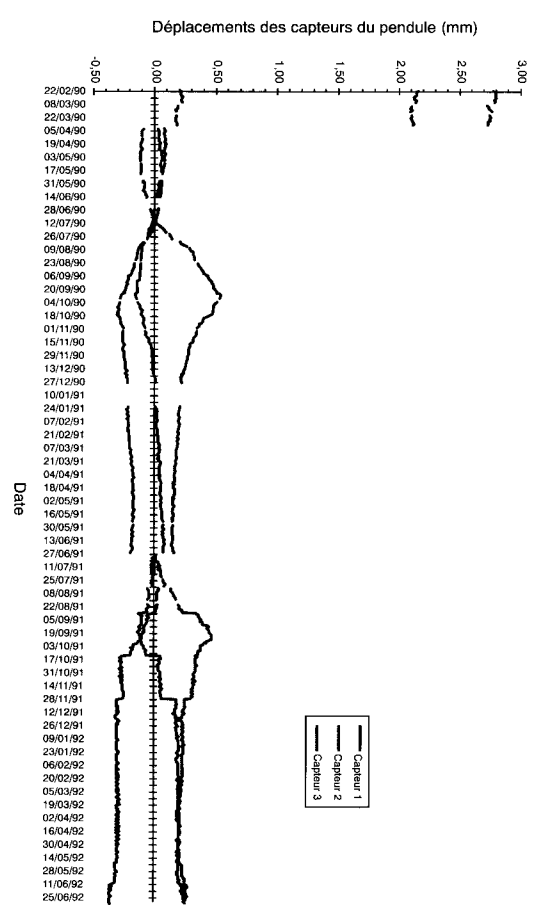


Fig. 9 - Evolution des capteurs de déplacement du pendule.

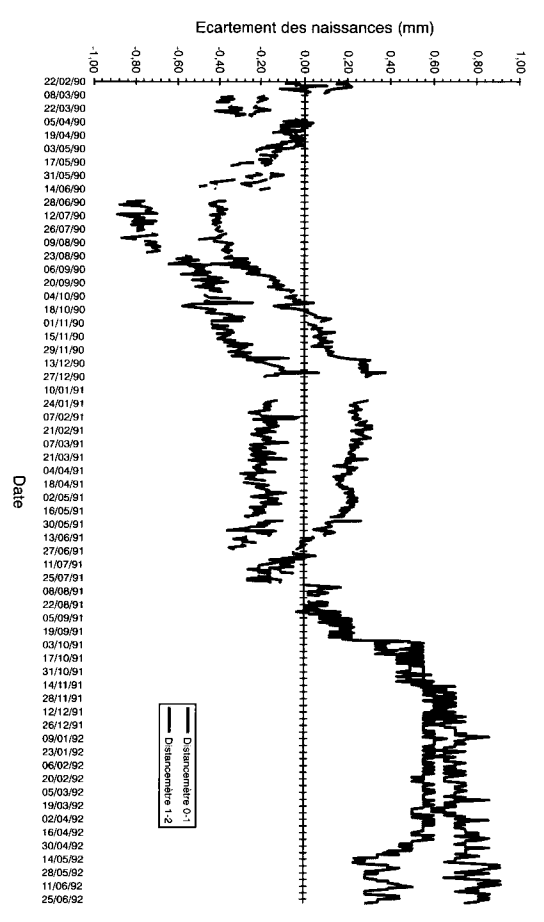


Fig. 10 - Evolution de la convergence des voûtes 1 et 2.

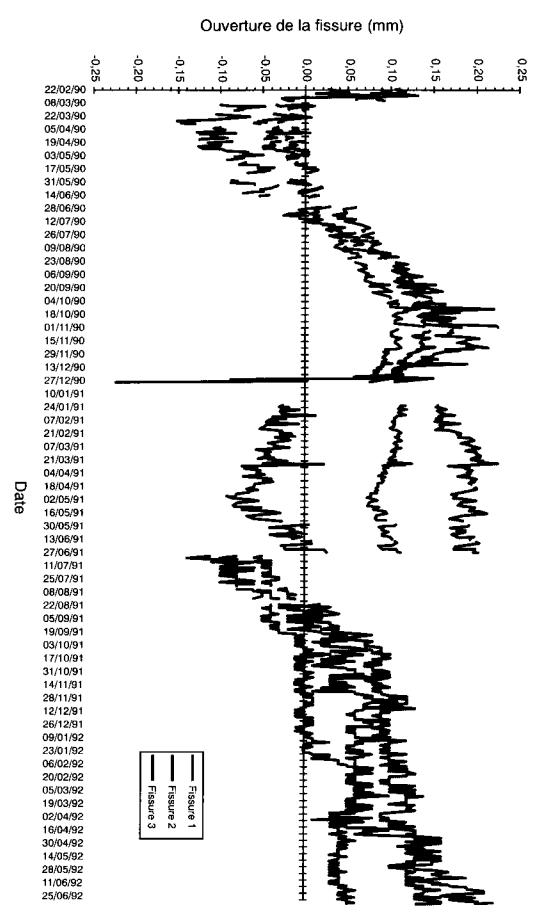


Fig. 11 - Evolution des trois capteurs de fissure sur la fissure principale de la pile 1.



de faible amplitude, sans être soumise à des variations journalières. De février 1990 à mars 1991, et dans des conditions thermiques semblables, on constate un déplacement résiduel et de sens opposé au niveau des capteurs 1 et 3, alors que le capteur 2 reste stable. Compte tenu de l'orientation des capteurs, cela correspond à une inclinaison de la pile P1 vers l'aval, cette inclinaison restant néanmoins très faible : de l'ordre de  $1,5 \cdot 10^{-5}$  rd.

Après un recalage des mesures effectuées le 27 juin 1991, on constate que, de juin 1991 à juin 1992, l'inclinaison de la pile s'est effectuée selon la direction du capteur 3, avec une valeur d'environ  $2 \cdot 10^{-5}$  rd.

L'ensemble des valeurs obtenues reste largement en dessous des seuils d'alerte et d'alarme fixés, qui étaient respectivement 10 mm ( $50 \cdot 10^{-5}$  rd) et 15 mm ( $75 \cdot 10^{-5}$  rd).

### Résultats des mesures de convergence

La figure 10 montre l'évolution des mesures de variation de distance entre les naissances des voûtes 1 et 2. Celles-ci sont soumises à des variations saisonnières marquées, ainsi qu'à des variations journalières négligeables, inférieures à la précision sur la mesure. Outre la respiration naturelle des voûtes (raccourcissement en hiver, allongement en été), on constate au bout de deux ans que les naissances des deux voûtes se sont écartées de 0,6 mm, écartement qui reste cependant bien en dessous des seuils d'alerte et d'alarme fixés (respectivement 5 et 15 millimètres).

### Résultats des mesures de fissuration

La figure 11 présente les résultats de mesure des trois capteurs de déplacement placés à cheval sur la fracture à mi-hauteur de la pile P1. Si l'on tient

compte des recalages qu'il serait nécessaire d'apporter pour assurer la continuité des courbes, on constate, sur deux ans, une ouverture de fissure qui atteint 0,5 mm pour le capteur qui donne l'évolution la plus importante, à savoir le capteur 1 placé horizontalement et indiquant un cisaillement de la pile. Là encore, l'évolution enregistrée reste largement en dessous des seuils d'alerte et d'alarme fixés (respectivement 5 et 15 millimètres).

### Enseignements tirés de la mise sous haute surveillance

L'expérience de la mise sous haute surveillance du viaduc de La Launa a fait ressortir la nécessité de s'assurer de la fiabilité de l'ensemble du système de télésurveillance, et en particulier des points suivants :

- **fiabilité des capteurs** (un seul capteur est tombé en panne et il a pu être remplacé très rapidement car un stock de matériel de secours avait été constitué ; ce stock comprenait un capteur de chaque sorte et une carte d'acquisition complète) ;
- **bon fonctionnement du micro-ordinateur** (prévoir une solution de rechange en cas de panne du matériel ou du logiciel) ; dans le cas présent, plusieurs dispositions avaient été prises : mise en œuvre d'un test sur la jonction imprimante-micro, connexions à distance journalières entre le site et le district SNCF, visites régulières des agents de la SNCF, etc.) ;
- **fiabilité de l'onduleur** (que faire si celui-ci tombe en panne lors d'une coupure de courant ?) ;
- **protection des appareils** contre le vent, les oiseaux, les vandales, etc. ;
- **organisation des astreintes** (week-end et jours fériés) dans les laboratoires pour pouvoir dépanner le système de surveillance.

## Conclusion

Lorsqu'il n'est pas techniquement ou économiquement envisageable de stabiliser un glissement de terrain qui affecte un ouvrage d'art, on peut être amené à mettre en place un dispositif de télésurveillance afin d'assurer l'utilisation de l'ouvrage avec sécurité. C'est ce qui a été fait dans les Alpes-Maritimes sur le viaduc ferroviaire de La Launa.

Pendant plus d'une trentaine de mois, les mouvements des deux premières voûtes et de la première pile de cet ouvrage, qui subissait directement les poussées du versant, ont été suivis. La convergence des voûtes, l'inclinaison de la pile ainsi que l'ouverture de la principale fissure de la pile étaient surveillées en permanence.

Le bilan de cette haute surveillance s'avère très positif car la sécurité de la circulation ferroviaire a pu être assurée pendant presque trois années, à moindre coût, et sans incident notable.

Le dispositif de surveillance VIGILOG a démontré son aptitude à effectuer la mise sous haute surveillance d'un ouvrage, et cette opération a permis de conclure à la nécessité de continuer son développement.

Enfin, cette mise sous haute surveillance a permis d'acquérir des connaissances supplémentaires sur le comportement d'un viaduc en maçonnerie soumis à des cycles thermiques et à des mouvements de ses fondations.

**ABSTRACT**

**Close monitoring of a stone railway viaduct**

**B. GODART - G. SEVE - J. EHRLICH**

Under some circumstances close monitoring can permit completely safe use of an engineering structure with a serious pathology. This technique has been applied to a lightly trafficked railway viaduct in the Département of Alpes-Maritimes. Remote monitoring of vault convergence, changes in pier cracking and verticality has allowed railway traffic to be carried with all due safety for almost three years.

This paper presents successively the pathology of the structure and the issues linked to it, the remote monitoring system and the monitoring measurements which were made.

Some recommendations have been drawn from this experiment and these are presented in the conclusion.