

NOUVELLES TECHNIQUES POUR L'AMÉLIORATION ET L'OPTIMISATION DES PROCESSUS D'INSPECTIONS PRÉVENTIVES ET DE MAINTENANCE SUR LES PONTS DE GRANDE PORTÉE

Aris VLAMIS-STATHOPOULOS

GEFYRA

Gilles HOVHANESSIAN

ADVITAM

1. INTRODUCTION

Situé à 250 km à l'ouest d'Athènes, le pont Charilaos Trikoupi aussi appelé pont de Rion-Antirion est un pont à haubans à 4 pylônes dont le tablier présente la particularité d'être suspendu et continu d'une rive à l'autre, ce qui avec une longueur de 2,252 m fait de lui le plus long tablier suspendu du monde. Ses travées intermédiaires d'une longueur de 560 m le placent dans le top 10 des ponts à haubans mondiaux.

Néanmoins, la principale particularité de cet ouvrage est l'exceptionnelle combinaison d'agressions environnementales qui ont dues être prévues lors des études:

- Des tremblements de terre fréquents avec une forte probabilité d'évènement majeure durant la durée de vie de l'ouvrage (120 ans)
- Des mouvements tectoniques dont l'amplitude peut atteindre 2m dans toutes les directions entre deux piles.
- Des vents pouvant atteindre 266km/h
- Un risque de collision de bateaux de 180000t DWT approchant à une vitesse pouvant atteindre 18 nœuds.
- Une hauteur d'eau de 65m avec un sous sol constitué principalement d'argiles compressibles.

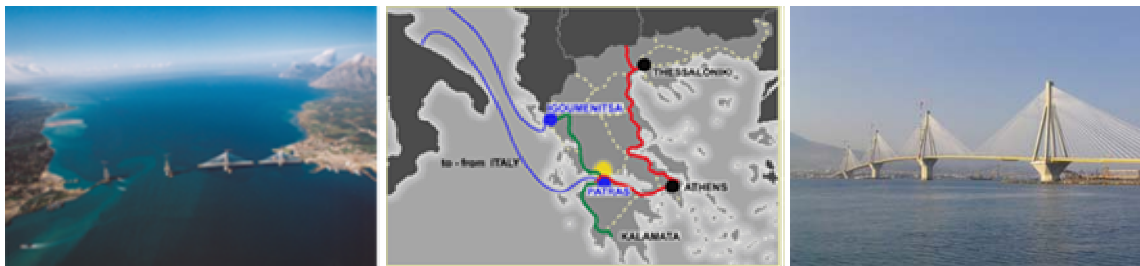


Figure 1 – Vues et position du pont

Pour s'adapter à cet environnement, les ingénieurs de VCGP et les experts missionnés par Gefyra ont du faire appel à des solutions inhabituelles et impressionnantes :

- Les fondations superficielles de 90m de diamètre ont été préfabriquées et installées sur un matelas de sol amélioré par des inclusions rigides
- Des systèmes d'amortisseurs et de fusibles ont été dimensionnés pour résister à un séisme de 7 sur l'échelle de Richter and acceptant 2m de déplacement entre piles.

Le cout total du projet était d'environ 800 M€. Le concessionnaire, Gefyra S.A. est responsable devant les autorités Grecques pour la durée de la concession qui est de 35ans. Cette responsabilité incluse la construction, mais aussi l'exploitation et la maintenance. Pour cette raison, Gefyra a souhaité mettre en place une méthodologie de surveillance et de gestion de la maintenance à long terme. Cette mission, confiée à Advitam comprend :

- Un manuel d'inspection et de maintenance
- Un système informatique pour les inspections et la maintenance
- Une télé instrumentation permettant de surveiller l'ouvrage en temps réel



2. MANUEL D'INSPECTION ET DE MAINTENANCE

Le manuel d'inspection et de maintenance est le document opérationnel qui reste après la fin du chantier et fait le lien avec la phase d'exploitation. Ce document faisait parti des documents contractuels devant être remis par le constructeur au concessionnaire. Il était réalisé sous le contrôle du concédant, à savoir les autorités Grecques.

Il contient toutes les informations importantes qui vont permettre de gérer la structure et ses risques particuliers à long terme. L'information contenue dans ce document est conçue pour être facile à lire et pour synthétiser tous les paramètres qu'il est nécessaire et suffisant de suivre. Le manuel définit le contenu, les moyens et la fréquence des inspections. Il a donc d'importantes conséquences sur les coûts d'inspection du viaduc.

Dans le cas du pont de Rion Antirion, les moyens d'accès représentaient un enjeu majeur. Il était donc indispensable de bien définir le programme d'inspection nécessaire et suffisant pour éviter de sévères conséquences financières à long terme.

Le manuel définit le contenu et le programme des inspections périodiques et de la maintenance préventive pour les 20 premières années :

Types d'inspection

- Régulières et détaillées
 - Type A (tous les ans)
 - Type B (tous les 2 ans)
 - Type C (tous les 4 ans)
 - Type D (après 4 ans, puis tous les 8 ans)
- Après des événements particuliers, tels que des tremblements de terre, des accidents, des incendies, ...

Maintenance spécialisée

Tests

- Tests sur la durabilité des bétons
- Contrôle des soudures

Maintenance de l'instrumentation

Le contenu et le programme des inspections périodiques ont été définis suite à une analyse spécifique des risques structurel, suivant une méthodologie développée par Advitam. Cette méthode permet de gérer l'ensemble des risques spécifiques à un ouvrage exceptionnel :

- Les risques liés à la conception : ignorance d'un problème spécifique ou erreur de dimensionnement pouvant conduire à une insuffisance structurelle.
- Les risques liés à la construction : risques liés à un écart entre les prévisions du concepteur et la réalité du terrain.
- Les risques liés au vieillissement des matériaux : le vieillissement est un phénomène inévitable, bien connu et en général contrôlable. Le contrôle doit être placé au bon niveau pour éviter à terme les insuffisances structurelles.
- Les risques d'opération : d'autres risques peuvent apparaître lors de la vie de l'ouvrage et peuvent causer des modifications structurelles. Citons par exemple, les risques liés au venues d'eau ou à la formation de glaces.
- Les aléas, tels que les tremblements de terre, les vents violents, les incendies, les collisions, ... même si ils sont prévus lors des études, nécessitent des plans de réactions spécifiques.
- Enfin, les risques de maintenance. La maintenance lourde peut impliquer une modification du schéma statique de l'ouvrage et donc est un risque à gérer. Une connaissance insuffisante des conséquences possibles d'une mauvaise opération ou la mise en œuvre d'une méthodologie inadaptée peut avoir des conséquences graves sur l'ouvrage et sa durabilité.

Chacune des risques cités ci dessus apparait à une différente période de la vie de l'ouvrage, et nécessite des moyens de détection, de prévention et de correction spécifiques. Le manuel spécifie donc :

- Le planning général des inspections par élément d'ouvrage
- Des check listes détaillées pour chaque élément
 - Quels défauts peuvent apparaître ?
 - Comment détecter et suivre l'évolution des défauts ?
 - Quelle action de maintenance est elle recommandée ?

STRUCTURAL INSPECTION PROGRAM	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Antirion Access Viaduct		B		D		B		C		B		D
Rion Access Viaduct	B	A	B	A	D	A	B	A	C	A	B	A
Main Deck M1 + T5	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	C	A
Main Deck M2	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	C	A
Main Deck M3	A	A	A	D	A	A	A	C	A	A	A	D
Main Deck M4 + T5	A	A	A	A	D	A	A	A	C	A	A	A
Main Bridge Dampers and Fuses M3 & M1		B		B		B		B		B		B
Main Bridge Dampers and Fuses M4 & M2	B		B		B		B		B		B	
Maurer Expansion Joints Specialized Inspection						M						M
Pier & Pylon M1	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A
Pier & Pylon M2	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A
Pier & Pylon M3	A	A	A	C	A	A	A	C	A	A	A	C
Pier & Pylon M4	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A	A	A
External Face of Pier Head and Pylons	A	A	A	C	A	A	A	C	A	A	A	C
External Face of Pier and Footing (underwater)				D								D
Staycables Visual Inspection (50%)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Staycables Specialized Inspection (10%)		F		F		F		F		F		F

Figure 2 – Planning des inspection périodiques

3. GESTION INFORMATISÉE DE LA MAINTENANCE (GMAO)

La maintenance d'un ouvrage sur une durée de 35 ans requiert des moyens particuliers permettant de gérer l'historique et les énormes quantités d'informations, tout en garantissant une totale indépendance vis à vis des personnes impliquées, qui changeront forcément au cours du temps. Le système mis en place a été adapté à partir du logiciel d'aide à l'inspection et à la gestion d'ouvrages ScanPrint développé par Advitam. Ce système a déjà été mis en place sur de nombreux grands ouvrages tels que le Pont Vasco De Gama à Lisbonne, le pont de la Confédération au Canada, ou celui de Nanjing en Chine.

- L'ouvrage a été décomposé en éléments structuraux et en équipements qui sont tous référencés et décrits dans le système à l'aide d'une gestion électronique des documents intégrée
- Les check listes d'inspection ont été numérisées
- Une base de connaissance récapitulant tous les défauts possibles associés aux risques spécifiques de l'ouvrage a été mise en place. Cette base de connaissance permet de standardiser la description et le suivi des défauts

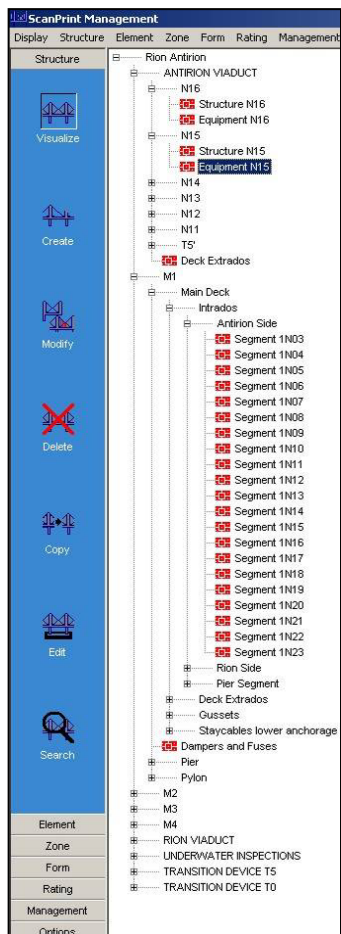
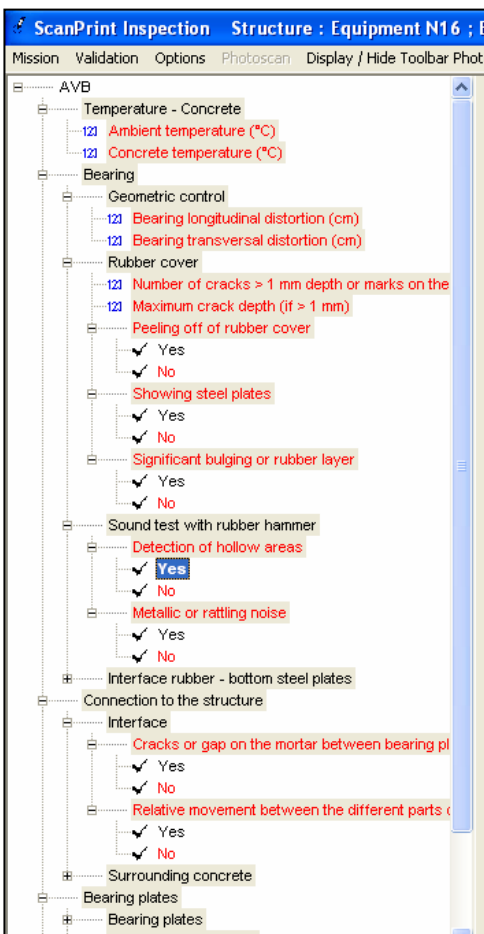



Figure 3 – Décomposition de l'ouvrage / Exemple de check liste d'inspection

Les informations du manuel d'inspection et de maintenance sont accessibles depuis la GMAO. Les équipes d'inspection travaillent sur le terrain avec des tablet PC accèdent donc directement à toute l'information nécessaire :

- Les informations de construction, y compris les non conformités si il y en a
- Les check listes d'inspection permettant de guider le travail d'inspection
- Les plans d'inspection qui sont utilisés pour faire un rapportage précis des défauts observés
- L'historique des données des inspections précédentes pour chaque élément, y compris l'accès aux plans et aux photos
- Les actions de maintenance recommandées

Les équipes d'inspection utilisent également les tablet PC pour introduire les nouvelles données dans le système. Toutes les informations sont saisies immédiatement sur le terrain, évitant ainsi les temps de ressaisie et les risques d'erreur.

En conséquence, les inspections sont très précises, et accessibles immédiatement. Les informations sont calibrées suivant un formalisme pré défini, ce qui permet un gain de temps très important sur l'édition des rapports automatiques et l'analyse des données.

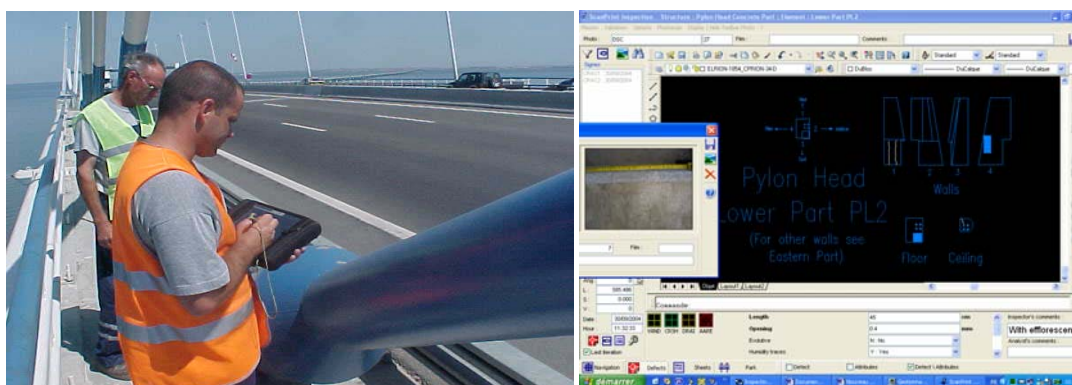


Figure 4 – Système d'inspection électronique

4. INSTRUMENTATION TEMPS RÉEL

Le manuel d'inspection et de maintenance est le principal guide pour la surveillance et la maintenance à long terme. Néanmoins, les inspections visuels et les essais non destructifs ne donnent pas accès à toute l'information nécessaire :

- Certains problèmes ne sont pas visibles et donc ne sont pas détectables par l'inspection visuelle
- L'inspection visuelle ne permet pas une réaction immédiate face à certains problèmes ou événements qui nécessitent une réaction rapide.
- Parce que dans certains cas pour lesquels les accès sont complexes, les inspections visuelles peuvent être coûteuses

C'est la raison pour laquelle, lors de l'analyse des risques, tous les problèmes possibles sont passés en revue de façon à identifier quel est le moyen de surveillance le plus pertinent.

L'instrumentation du pont de Rion Antirion comprend plus de 100 capteurs, soit plus de 300 canaux de mesure. L'information est acquise et transmise en temps réel à une fréquence pouvant atteindre 500Hz. Le système a été spécifié lors des études, installé pendant les travaux et a été utilisé pendant les travaux et est finalement utilisé pour la surveillance à long terme. Le système a pour principaux objectifs de détecter des défauts, gérer le trafic, et valider les hypothèses utilisées par les bureaux d'études.

Le système comprend des capteurs environnementaux qui permettent de suivre les charges appliqués sur l'ouvrage, ainsi que des capteurs permettant de suivre sa réponse structurale (Accéléromètres, inclinomètres, cellules d'effort, capteurs de déplacement, jauges de contraintes, ...)



Figure 5 - Exemple accéléromètres placés en rive, sur le tablier, dans les pylones et sur les haubans.

Un logiciel spécifique a été développé pour gérer l'acquisition, la transmission et la visualisation des données, mais aussi pour réaliser une pré analyse en temps réel et déclencher des alertes soit en cas de panne d'un des composants du système ou en cas de fonctionnement anormal de l'ouvrage.

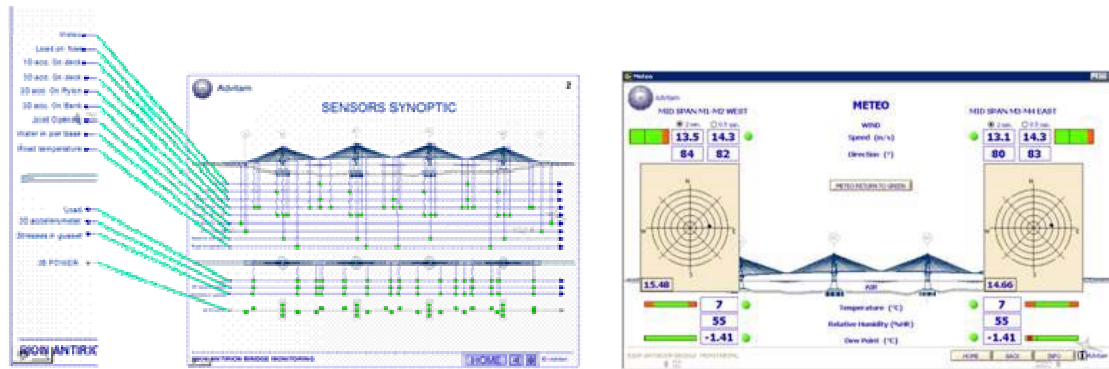


Figure 6 – Synoptique des capteurs installés et exemple de vue d'écran

Après deux ans de fonctionnement, le système d'alerte temps réel a été amélioré pour intégrer un système d'alerte beaucoup plus fin, ainsi qu'une gestion du trafic en cas d'incident. Le système gère maintenant des indicateurs de santé évolués de façon à ce qu'en cas d'évènement imprévu, comme par exemple un tremblement de terre ou des vibrations de l'ouvrage, le système détecte l'évènement, prévient par envoi d'email et appel téléphonique, adapte la politique d'acquisition des données en modifiant les fréquences d'acquisition, analyse les données et délivre automatiquement un rapport recommandant ou non une interruption du trafic.

Par exemple, en cas de tremblement de terre, l'intensité de la secousse est évaluée, la réponse de l'ouvrage analysée de façon à déterminer si cette réponse est normale ou non, et le PC de contrôle est informé. En cas de vent ou de phénomènes de vibrations supérieures à la normale compte tenu des conditions de vent, le système réalise le même type d'analyse en recherchant le risque d'excitation paramétrique.

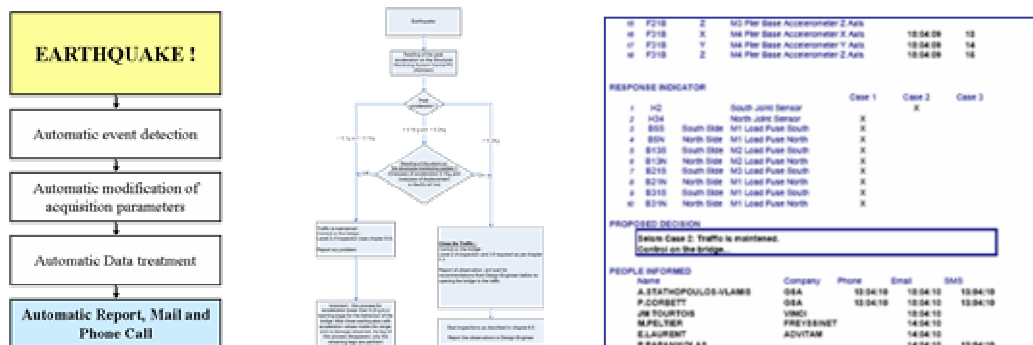


Figure 7 – Arbre de décision et rapport automatique pour la gestion du trafic en cas de tremblement de terre

5. CONCLUSION

Le manuel d'inspection et de maintenance, ainsi que l'instrumentation mise en place sur le pont de Rion Antirion permet de garantir :

- La surveillance globale de l'ouvrage et un haut niveau de sécurité pour les usagers
- La détection précoce des détériorations possibles avec un temps et un coût d'inspection minimal grâce à l'utilisation intensive des outils informatiques modernes
- L'archivage organisé de toutes les données dans une base de données unique
- L'accès immédiat à toutes les informations sur l'ouvrage et son état.
- L'optimisation de la maintenance (réduction des coûts, des durées, et des restrictions de trafic)