

LES GRANDS PONTS ROUTIERS : ANALYSE DES RISQUES ET SURVEILLANCE

Thierry KRETZ, Directeur du Centre des techniques d'ouvrages d'art au Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (France)
Membre du comité technique AIPCR D3 'Ponts routiers'

Les grands ponts routiers sont des ouvrages d'une grande valeur qui doivent faire l'objet d'une surveillance, afin d'évaluer et d'atténuer les risques, ainsi que d'assurer la très longue durée de vie pour laquelle ils sont conçus. L'analyse du risque et la surveillance de leur état font aujourd'hui partie intégrante de leur gestion.

Cet article dresse un panorama de la situation, à partir des résultats d'une enquête réalisée par le comité technique D.3 'Ponts routiers', auprès des maîtres d'ouvrage et des exploitants de ponts de grandes dimensions.

Réponses à l'enquête

Dix réponses ont été reçues sur la gestion des grands ponts. Le *tableau 1* présente une brève description des plus grands ponts inclus dans l'étude.

ANALYSE DES RISQUES

Une analyse des risques, réalisée explicitement ou implicitement, permet de définir les mesures spécifiques nécessaires pour obtenir une très longue durée de vie et d'atténuer les risques pouvant survenir pendant cette période. Elle s'appuie sur une liste des risques à prendre en compte, adaptée en fonction du projet. Chaque risque est évalué selon la probabilité de danger, la vulnérabilité de l'ouvrage et les conséquences des dommages. Une liste type de risques peut être divisée en trois catégories :

- Risques concernant la durabilité de l'ouvrage – Vieillesse lié aux actions environnementales : physiques et mécaniques [*gel-dégel, fatigue, retrait, fluage, relaxation*] ; chimiques [*carbonatation, pénétration des chlorures, corrosion*]

PONT	PAYS	DESCRIPTION
 Storebælt	Danemark	Pont Est : 6 790 m, troisième plus grand pont suspendu du monde (travée centrale de 1 624 m), poutre caisson en acier Pont Ouest : 6 611 m, poutre caisson en béton, travée de 110 m Date de construction : 1998
 Viaduc de Millau	France	Pont à haubans à travées multiples Travée de 342 m, longueur totale de 2 460 m Poutre caisson en acier Date de construction : 2004 (<i>photo 1, page de droite</i>)
 Charilaos Trikoupis (Rion-Antirion)	Grèce	Pont Charilaos Trikoupis (ancien pont Rion-Antirion) reliant la Grèce continentale au Péloponnèse Pont principal multi-haubané, constitué de 3 travées de 560 m et de 2 travées de rive de 286 m (<i>photo 2, page suivante</i>) Tablier composite : poutres en acier, dalle en béton Date de construction : 2004
 Akashi-Kaikyo	Japon	Pont suspendu en acier, permettant le passage de l'autoroute Kobe-Awaji-Naruto entre l'île de Honshu et l'île de Shikoku, doté de six voies de circulation Longueur totale de 3 911 m, configuration constituée d'une travée centrale de 1 911 m (plus grande travée du monde) et de deux travées de rive de 960 m Tablier en acier, poutres treillis (<i>photo 3, p. 30-31</i>)

- Risques concernant la durabilité de l'ouvrage – Vieillesse lié à un matériau défectueux ou à un défaut d'exécution : matériaux défectueux [*béton poreux (mauvais ratio eau-ciment), acier de précontrainte sensible à la corrosion sous contrainte*] ; défauts d'exécution [*mauvaise injection de coulis, enrobage des armatures insuffisant, étanchéité défectueuse, béton défectueux (cure du béton insuffisante, etc.)*]
- Actions accidentelles : naturelles [*tremblements de terre, inondations, glissements de terrain*] ; impacts, incendies, actes de vandalisme ; surcharge

Les risques sont pris en compte dès le début des études de projet, pour la conception de la structure, la sélection des matériaux et des méthodes d'exécution, pendant l'exécution

Photo 1 (page de droite) - Viaduc de Millau © Eiffage CEVM/Foster + Partners/D. Jamme

LARGE ROAD BRIDGES: RISK ANALYSIS AND MONITORING

Thierry KRETZ, Director, Structure Engineering division, Center transport and road studies, France
Member of the PIARC Technical Committee D3 'Road Bridges'



Large road bridges are very expensive assets which require monitoring in order to assess and mitigate the risks and to ensure the very long life span for which they are designed. Risk analysis and monitoring of their condition are now an integral component in the management of large bridges.

This article outlines the findings of a survey carried out by Technical Committee D.3 'Road bridges'. The survey target group was owners and managers of large bridges.

Answer to the survey

A total of ten responses were received with *table 1* outlining a short description of the largest bridges considered in this study.

RISK ANALYSIS

A risk analysis, carried out explicitly or implicitly, is helpful to derive the specific provisions necessary to obtain the very long lifetime that is expected for large road bridges and to mitigate the hazards that may occur during their lifespan. The risk analysis is based on a check-list of hazards to consider which is customized for the specific project. Each risk is assessed, depending of the hazard probability, the vulnerability of the structure and



BRIDGE	COUNTRY	DESCRIPTION
 Great Belt East Bridge	Denmark	East bridge: 6,790 m, including the third largest suspension bridge (main span 1,624 m); steel box girder West bridge: 6,611 m; concrete box girder, span length 110 m Built: 1998
 Viaduc de Millau	France	Multi span cable stayed bridges - Span length 342 m; total length 2,460 m - Steel box girder - Built: 2004
 Harilaos-Trikoupis (Rion-Antirion)	Greece	Harilaos Trikoupis Bridge (ex Rion - Antirion Bridge) links mainland Greece with Peloponnese. The main bridge is a 5-span cable stayed bridge that consists of 3 spans of 560 m and 2 side spans of 286 m. (<i>picture 2, next page</i>) Composite steel beams - concrete deck Built: 2004
 Akashi-Kaikyo	Japan	Akashi Kaikyo Bridge is a steel suspension bridge, which is located on Kobe-Awaji-Naruto Expressway between Honshu island and Shikoku island. It has six traffic lanes. Total length is 3,911 m with span configuration of a centre span 1,991 m and two 960 m outer spans. The centre span length is the longest single span in the world. Bridge girder is a truss type with steel deck. (<i>picture 3, pp. 30-31</i>)

Picture 1- Millau Viaduct © Eiffage CEVM/Foster + Partners/D. Jamme

de la structure, ainsi qu'au cours de la gestion de l'ouvrage, afin d'obtenir les niveaux élevés de durabilité, de service et de sécurité attendus sur les grands ponts routiers.

La surveillance est un élément essentiel de l'évaluation des risques. Les trois objectifs d'un système de surveillance sont les suivants :

- vérifier que l'ouvrage se comporte comme prévu, pendant la phase de construction, sous les charges de service et au cours d'événements extrêmes ;
- contrôler les propriétés et la durabilité des matériaux ;
- détecter les risques internes ou externes pouvant affecter l'ouvrage.

La surveillance fournit des informations complémentaires aux inspections, qui sont effectuées périodiquement.

À titre d'exemple, le *tableau 2* donne une présentation simplifiée de l'analyse des risques et des opérations de surveillance sur le viaduc de Millau (France).

SYSTÈMES DE SURVEILLANCE POUR PONTS DE GRANDES DIMENSIONS

La surveillance a pour principal objectif d'offrir une connaissance précise de l'état du pont. Elle permet d'agir préventivement, avant la survenance de dommages importants. Le comité technique propose les termes « *d'entretien préventif conditionnel* » et « *d'entretien durable* » pour décrire cette activité. Le système de surveillance vérifiera en permanence ou à intervalles donnés le comportement structurel, ainsi que les matériaux constitutifs et les composants de l'ouvrage.

Photo 2 (page de droite) - Pont Charilaos Trikoupis. Millau et Charilaos Trikoupis sont deux ponts à haubans à travées multiples, remarquables et modernes, sur lesquels a été mis en place un système de surveillance permanent © Gefyra SA

Comme indiqué plus haut, le système de surveillance est conçu pour contrôler les risques : le meilleur système n'est pas celui qui sera doté du plus grand nombre de capteurs, mais celui qui sera adapté aux risques prévus, dont chaque capteur et chaque donnée seront réellement nécessaires et utilisés.

Le système de surveillance peut être aisément décrit en faisant une distinction entre deux catégories :

- surveillance de santé structurale : surveillance du comportement statique et dynamique ;
- surveillance de santé des matériaux : vérification des matériaux ou des composants.

Dans tous les cas, les paramètres physiques influant sur le comportement de l'ouvrage doivent être relevés :

- Température (température extérieure, température des haubans, capteurs de température sur des sites spécifiques du béton), afin de déterminer les champs de température dans les différentes sections. Ces données sont fondamentales pour interpréter les mesures relatives aux déformations et à la géométrie de l'ouvrage.
- Humidité à l'extérieur et à l'intérieur de la poutre caisson.
- Vitesse et direction du vent (anémomètres sur le haut de chaque tour).

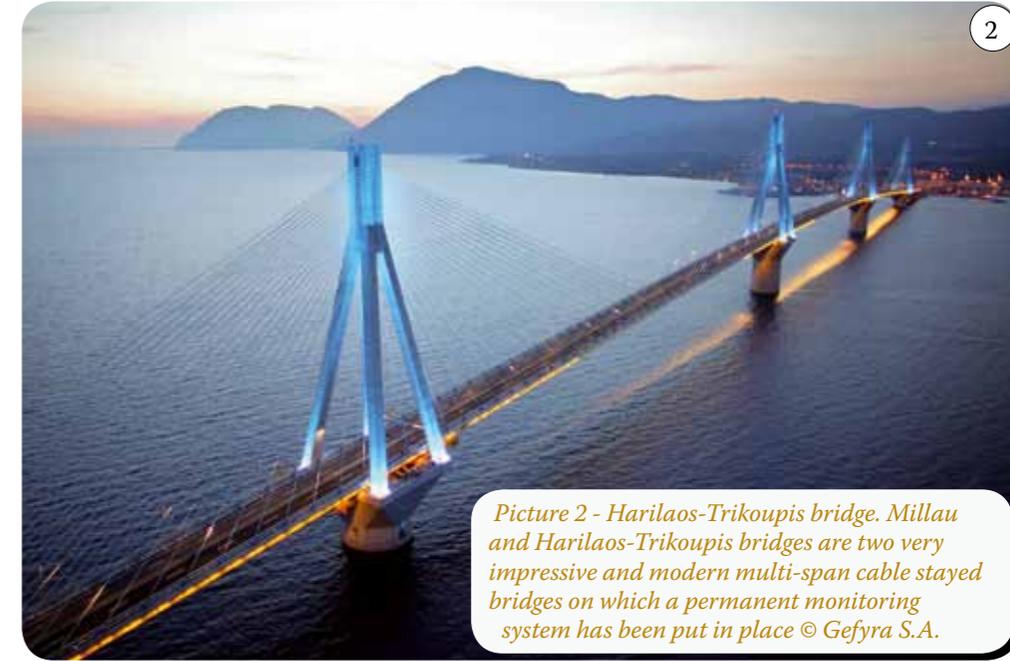
Surveillance de santé structurale

Le système de surveillance de santé structurale fait appel à différentes techniques, allant du levé géométrique à la surveillance de la réponse dynamique.

the consequences of the damages. A typical check-list of hazards can be subdivided into three categories:

- Hazards affecting the durability of the structure - Ageing due to environmental actions: Physical/mechanical [*freeze and thaw, fatigue, shrinkage, creep, relaxation*]; Chemical [*carbonation, chloride ingress, corrosion*]
- Hazards affecting the durability of the structure - Ageing due to defective materials or execution defect: Defective materials [*porous concrete (w/c ratio not appropriate), prestressing steel susceptible to stress corrosion*]; Execution errors [*Bad grouting, insufficient reinforcement cover, defective waterproofing, defective concrete (insufficient concrete curing, etc.)*]
- Accidental actions: Natural [*earthquakes, floods, soils movements*]; Impacts, fires, vandalism; Overloading

The risks are taken into account at the design stage - decisions regarding the most appropriate materials, as well as the execution methods and the management of the structure. These decisions ensure high durability, serviceability and required safety levels expected on large bridges.



Picture 2 - Harilaos-Trikoupis bridge. Millau and Harilaos-Trikoupis bridges are two very impressive and modern multi-span cable stayed bridges on which a permanent monitoring system has been put in place © Gefyra S.A.

Monitoring is a necessary component of risk assessment. The three objectives of a monitoring system are:

- to ensure that the structure behaves as expected, during the construction phase, under service loads and during extreme events;
- to control material properties and durability;
- to detect internal or external hazards that can affect the structure.

Monitoring provides complementary information to the inspections which are done periodically.

As an example, *table 2* gives a simplified presentation of risk analysis applied to the Millau viaduct (France) and its related monitoring.

MONITORING SYSTEMS FOR LARGE BRIDGES

The main objective of the monitoring is to have a precise knowledge of

TABLEAU 2 - VIADUC DE MILLAU. ANALYSE DES RISQUES ET OPÉRATIONS DE SURVEILLANCE

RISQUES	SURVEILLANCE
Mouvements de terrain : glissements de terrain ; tassement général d'une pile ; tassement différentiel et rotation d'une pile ; déplacement latéral	<ul style="list-style-type: none"> • Géométrie générale de l'ouvrage • Inclinaison des piles et des pylônes • Ouverture des joints de dilatation
Comportement structurel anormal : déformations excessives : fluage, retrait, fissuration ; comportement dynamique non conforme à l'hypothèse de conception ; vibrations excessives des haubans ; tension des haubans	<ul style="list-style-type: none"> • Levé géométrique général • Déformations locales des sections aux contraintes élevées (jauges de contrainte) • Ouverture des joints de dilatation Comportement dynamique des haubans (fréquences et amortissement) • Comportement dynamique de l'ouvrage • Vidéosurveillance permanente du haut des pylônes
 Vieillesse rapide des matériaux : corrosion d'un hauban ; fatigue du tablier orthotrope en acier ; fissures de fatigue ; corrosion des armatures en acier	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance acoustique d'une sélection de haubans • Contrôle de la carbonatation et de la pénétration des chlorures dans des échantillons de béton
Actions extérieures excessives ou cumulées : charges de poids lourds excessives ; fatigue due aux charges de poids lourds ; vent	Système de pesage dynamique pour détecter les charges excessives et évaluer les dommages liés à la fatigue (dommages cumulés de Miner)
Risques sur la qualité de service : vent ; verglas	<ul style="list-style-type: none"> • Détecteurs de verglas • Anémomètres
Actions accidentelles : incendie, accidents de la route ; actes de vandalisme	Vidéosurveillance permanente

TABLE 2 - MILLAU VIADUCT. SIMPLIFIED RISK ANALYSIS AND SUBSEQUENT MONITORING

HAZARDS	CORRESPONDING MONITORING
Soil Movements: Slopes sliding; General settlement of a pier; Differential settlement and rotation of a pier; Lateral shift	<ul style="list-style-type: none"> • General geometry of the structure • Inclination of piers and pylons • opening of expansion joints
Abnormal structural behaviour: Excessive deformations : creep, shrinkage, cracking; Dynamic behaviour not in accordance with design assumption; Excessive vibrations of cable stays, tension of stay cables	<ul style="list-style-type: none"> • General geometry survey • Local deformations in highly stressed sections (strain gauges) • Opening of expansion joints • Dynamic behaviour of cables (frequencies and damping) • Dynamic behaviour of the structure • Permanent video surveillance from top of pylons
Rapid ageing of materials: Corrosion of a stay cable; Fatigue of steel orthotropic deck, fatigue cracks; Corrosion of concrete reinforcement steel	<ul style="list-style-type: none"> • Acoustic monitoring of a selection of stay cables • Control of chloride and carbonation ingress in concrete samples
Excessive or cumulative external actions: Excessive truck loadings; Fatigue due to truck loadings; Wind	<ul style="list-style-type: none"> • Weigh-in-motion system to check excessive loadings and to evaluate fatigue damage (Cumulative Miner damage)
Hazards for serviceability: Wind; Ice	<ul style="list-style-type: none"> • Ice detectors • Anemometers
Accidental actions: Fire, traffic accidents; Vandalism	<ul style="list-style-type: none"> • Permanent video surveillance

La surveillance de la géométrie de l'ouvrage peut être effectuée périodiquement avec des dispositifs traditionnels (prismes optiques, station totale) ou en continu avec une technologie GPS. Pour les piles et les pylônes, il est possible de mesurer les déplacements à l'aide d'inclinomètres (capteurs de fibre optique) situés sur les piles et les pylônes, par l'intégration de la courbure le long de l'élément.

La surveillance du comportement dynamique est utile pour les ouvrages souples et de grandes dimensions, sensibles au vent ou situés en zone sismique. Une surveillance dynamique très détaillée est également un outil efficace pour détecter une modification dans la rigidité d'ensemble liée à la dégradation éventuelle d'une partie de l'ouvrage. Toutefois, cette application est une technologie naissante, très innovante et coûteuse, car de nombreux capteurs sont nécessaires, qui ne peut pas être recommandée de manière générale.

Pour le viaduc de Millau, la surveillance dynamique a été réalisée pendant l'inspection initiale de l'ouvrage et sera reproduite à chaque inspection majeure. Une surveillance dynamique continue et plus limitée est en place de manière permanente et au sein du système de télésurveillance ; qui est complété par d'autres capteurs pour chaque inspection majeure.

Les instruments de surveillance dynamique comprennent des jauges de contrainte et des accéléromètres d'une sensibilité et d'une fréquence d'échantillonnage appropriées.

Les résultats du système de surveillance de santé structurale permanent sont stockés et interprétés. Il est habituel de procéder à deux niveaux d'interprétation :

- Interprétation automatique en temps réel, permettant de vérifier les principaux résultats (déplacements, fréquences, etc.), ainsi que leur corrélation avec les paramètres physiques (vitesse du vent, température) et de générer des rapports automatiques en cas de dépassement des niveaux prédéfinis ou des rapports périodiques à la demande.
- Interprétation spécifique sur les données enregistrées les plus sévères, effectuée périodiquement ou après un événement extrême (vent extrême, tremblement de terre).

Surveillance de santé matérielle

La surveillance de santé matérielle comprend toutes les mesures prises pour surveiller l'état des matériaux ou des composants. Elle a pour but de fournir des informations permettant de décider des interventions d'entretien préventif conditionnel ou des actions de réhabilitation ou de réparation. La surveillance spécifique peut comprendre les aspects suivants :



Photo 3 - Le pont Akashi Kaikyo possède la plus grande travée centrale suspendue (1 991 m), ainsi que des caractéristiques innovantes pour répondre à des contraintes de gestion élevées © HSBE

the bridge condition. It helps acting preventively before expensive damages occur. The technical committee proposes the terms of "Conditional Preventive Maintenance" and "Maintenance for Durability" to describe these actions. The monitoring system will check continuously or at given intervals the structural behaviour and the constitutive materials and components of the structure.

As explained, the monitoring system is designed to survey hazards: the best system is not the one with the highest number of sensors, but the one that fits with the anticipated risk, where each sensor and data is actually necessary and used.

The monitoring system can conveniently be described with a distinction between:

- Structural health monitoring : monitoring static and dynamic behaviour
- Material health monitoring : checking materials or components

In any case, physical parameters that influence the behaviour of the structure have to be monitored. These are:

- Temperature (outside temperature, temperature of stay cables, temperature sensors inside the concrete at specific locations) in order to determine the temperature fields in different sections; this data is fundamental to check the soundness of the deformation and the measured geometry of the structure;
- Humidity outside and inside of the box girder.
- Wind speed and direction (anemometers at the top of each tower).

Structural health monitoring

Structural Health Monitoring (SHM) includes many different techniques, from geometrical survey to the dynamic response monitoring.

The monitoring of the geometry of the structure may be done periodically with traditional devices (optical prisms, total station) or continuously with GPS technology. For piers and pylons, it is possible to obtain displacements with inclinometers (or fibre optic sensors) located along the piers and pylons, with the integration of curvature on the member length.

The monitoring of the dynamic behaviour of the structure is useful for large and flexible structures, sensible to wind or situated in seismic areas. A very detailed dynamic monitoring is also a powerful tool to detect modification in the stiffness of the structure that result from potentially deteriorated parts of the structure. Yet, that application is still an emerging technology, innovative and expensive, and cannot be recommended generally.

For the Millau viaduct the dynamic monitoring has been performed during the initial inspection of the structure and will be reproduced at each major inspection. A continuous and more limited dynamic monitoring system, is permanently in place and integrated into the remote surveillance system; this system is complemented with more sensors for each major inspection.

Dynamic monitoring instruments include strain gauges and accelerometers with the adequate sensibility and frequency of sampling.

The results of a permanent SHM are stored and interpreted. It is usual to proceed with two levels of interpretation:

- An automatic and real-time interpretation, that will check the main results (displacements, frequencies, etc.), their correlation with the physical parameters (wind velocity, temperature) and will give automatic reports when exceeding predefined levels and periodic reports on request.
- A specific interpretation of the most severe recorded data, done periodically or after an extreme event (extreme wind, earthquake).

Material health monitoring

Material health monitoring includes all the measures taken to monitor the condition of materials or components. It is intended to give information in order to decide conditional preventive maintenance actions, or retrofitting or repair works. The specific monitoring may include the following aspects:

- Monitoring of local deformations of highly stressed sections: If adequately chosen, the strain gauges that monitor these strains will also be part of the dynamic monitoring of the structure. The records of strains in steel parts will also be very useful to assess fatigue deterioration, with a Miner cumulative approach.
- Checking of the durability of the concrete structure: Concrete blocks cast simultaneously with the construction of the structure may be provided and exposed in the same environment that the concrete is placed, in order to measure durability parameters, such as carbonation and chloride ingress. Steel probes may be embedded in the concrete cover to check periodically chloride ingress and the onset of reinforcement corrosion.
- Monitoring of stay cables: stay cables may be equipped with accelerometers to check their tension (calculated from their frequencies)

Picture 3 - Akashi Kaikyo Bridge displays the longest main suspended span (1991 m) and innovative features to achieve high management requirements © HSBE

TABLEAU 3 - SYSTÈMES DE SURVEILLANCE POUR PONTS DE GRANDES DIMENSIONS

PONT	SURVEILLANCE DE SANTÉ STRUCTURALE	SURVEILLANCE DE SANTÉ MATÉRIELLE
 Storebælt	450 dispositifs pour évaluer le comportement matériel et structural Levè géométrique : Déplacements de la superstructure (GPS) Surveillance opérationnelle : • Stations météorologiques • Déverglacage de la chaussée • Débit de circulation • Contrôle de la circulation maritime • Systèmes de secours et panneaux à messages variables	• Sondes en acier dans le béton d'enrobage (système de surveillance de la corrosion) • Fatigue du tablier orthotrope en acier (jauge de contrainte) • Blocs en béton placés à proximité du pont, en partie immergés, aux fins d'essais Surveillance des composants : • Mouvements des joints de dilatation et des amortisseurs hydrauliques • Position des appuis (longitudinale) du pont
 Viaduc de Millau	Le pont est équipé d'un système de surveillance en continu des paramètres représentant la capacité de service (évaluation de l'état matériel et structural), décrits dans cet article. Ce système comprend : • Surveillance géométrique (GPS) • Surveillance dynamique	• Surveillance du comportement et de la durabilité d'un échantillon de haubans • Vérification de la durabilité de la structure en béton sur des blocs de béton • Jauges de contrainte dans la poutre caisson en acier • Ouverture des joints de dilatation
 Charilaos Trikoupis (Rion-Antirion)	Le système instrumenté contient environ 100 capteurs (300 canaux) et est très similaire à celui du viaduc de Millau. Mesures effectuées avec un échantillonnage à haute fréquence généré à des périodes spécifiques, sur demande et au déclenchement du canal (lors du dépassement de seuils prédéfinis)	• Jauges de contrainte dans l'ancrage inférieur des haubans • Mur de béton sacrificiel construit dans la zone intertidale pour vérifier le vieillissement du béton
 Akashi-Kaikyo	Surveillance dynamique + GPS pour surveiller le comportement saisonnier, journalier et horaire du pont. Résultats utilisés pour confirmation de la sécurité et de la conception.	Système d'injection d'air sec pour les câbles porteurs et les selles d'épanouissement. Méthode électromagnétique pour identifier la corrosion interne des suspentes.

- Surveillance des déformations locales des sections aux contraintes élevées : bien sélectionnées, les jauges de contrainte feront également partie de la surveillance dynamique de l'ouvrage. Les données sur les contraintes s'exerçant sur les parties en acier seront aussi très utiles pour évaluer la dégradation par fatigue, à l'aide d'une approche cumulée de Miner.
- Vérification de la durabilité de la structure en béton : des blocs de béton coulés en même temps que l'ouvrage peuvent être exposés au même environnement, afin de vérifier les paramètres de durabilité, comme la carbonatation et la pénétration des chlorures. Des capteurs en acier peuvent être intégrés dans le béton d'enrobage pour vérifier périodiquement la pénétration des chlorures et l'apparition d'une corrosion des armatures.
- Surveillance des haubans : les haubans peuvent être équipés d'accéléromètres pour vérifier leur tension (calculée en fonction de leurs fréquences) et leur amortissement. Certains haubans peuvent être dotés de capteurs acoustiques et être surveillés en permanence pour détecter et localiser toute rupture de fil.

Coût d'un système de surveillance d'un pont de grande dimension

Les réponses reçues par le comité ne comprenaient pas de données quantitatives sur les coûts, la fiabilité et l'efficacité des systèmes de surveillance. Compte tenu des autres sources d'information, on peut avancer un coût compris entre 0,1 et 0,3 % du coût de construction, selon la taille du pont et les objectifs du système de surveillance.

Le *tableau 3* donne une vue d'ensemble des systèmes de surveillance spécifique utilisés sur des ponts de grandes dimensions.

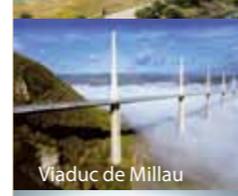
CONCLUSION

Les progrès récemment réalisés dans les matériaux en acier et en béton, ainsi que dans la connaissance des processus de vieillissement permettent d'envisager une durée de vie beaucoup plus longue que la durée de vie habituelle d'une centaine d'années. Mais pour cela, trois conditions doivent être remplies :

- une conception très soignée de l'ouvrage et un choix très minutieux des matériaux, en fonction d'une analyse des risques, intégrant les contraintes de gestion, notamment le remplacement de tous les composants dont la durée de vie est limitée ;
- une bonne exécution ;
- une approche moderne de la gestion du patrimoine et techniques de surveillance offrant des informations précises sur les matériaux, les composants, et la santé structurale et sur leur vieillissement.

Ces conditions sont remplies pour tous les ponts de grandes dimensions examinés dans cet article. De manière plus générale, les grands ponts constituent un patrimoine d'une grande valeur, construits dans une perspective d'avenir durable. En réalité, la notion même de cycle de vie est inadaptée à ces ouvrages, construits pour une durée presque illimitée.#

TABLE 3 - MONITORING SYSTEMS FOR LARGE BRIDGES

BRIDGE	STRUCTURAL HEALTH MONITORING	MATERIAL HEALTH MONITORING
 Storebælt	450 devices to assess material and structural behaviour Geometrical survey: Superstructure displacements (GPS) Operational monitoring: • Weather stations; • De-icing on the road; • Traffic flow; • Vessel traffic control; • Emergency systems and variable traffic sign	• Steel probes in the concrete cover (corrosion monitoring system); • Fatigue in orthotropic steel deck (strain gauge) • Concrete blocks for testing have been placed partly submerged close to the bridge Monitoring of components: • Expansion joint and hydraulic buffers movements • Position of bridge bearings (longitudinal)
 Viaduc de Millau	The bridge is equipped with a monitoring system that provides continuous monitoring of parameters representing its ability to service (assessment of material and structural conditions), as described in the text of this article. It includes : • Geometrical monitoring (GPS) • Dynamic monitoring	• Monitoring of the behaviour and sustainability of a sample of stay cables • Checking of the durability of the concrete structure on concrete blocks • Strain gauges in the steel box girder • Expansion joints openings
 Charilaos Trikoupis (Rion-Antirion)	The instrumented system contains about 100 sensors (300 channels) and is quite similar to Millau viaduct system. Measurements with high frequency sampling generated on specific time periods, after request and when a channel is triggered (when pre-set thresholds are exceeded)	• Strain gauges on the lower anchorage of cable stays • Sacrificial concrete wall has been constructed in the tidal zone to check concrete ageing.
 Akashi-Kaikyo	Dynamic monitoring + GPS to monitor seasonal, daily, and hourly behaviour of the bridge. Results are utilized for confirmation of safety and of design.	Dry air injection system for the main cables and the spray saddle rooms. Electromagnetic method to identify internal corrosion of suspender ropes.

and damping. Some cables may be equipped with acoustic sensors and permanently monitored to detect and locate any wire breakage.

Cost of a large bridge monitoring system

The answers that the committee received didn't include quantitative data regarding cost, reliability and efficiency of monitoring systems. Based on other sources of information, it is expected that the cost is between 0.1% and 0.3% of the construction cost, depending of the bridge size and monitoring system objectives. *Table 3* gives an overview of the specific

monitoring systems used on large bridges.

CONCLUSION

Recent progress in steel and concrete materials and knowledge of their ageing processes make it possible to consider a much longer life span than the usual one hundred year life span. However, the following three conditions must be achieved:

- Very careful design of the structure and choice of materials, based on a risk analysis and on the integration of the management constraints,

including the replacement of all components whose life span is limited.

- Good execution.
- A modern asset management approach and monitoring techniques to provide accurate information on materials, components and structural health and on their ageing.

These conditions have been achieved on the large bridges outlined in this article. More generally, large bridges are very expensive assets that are built for a sustainable future. In fact, the very notion of life cycle is inappropriate for these structures, and we expect that they are built almost forever.#

REFERENCES

- PIARC TC D3 'Road bridges'/AIPCR CT D3 'Ponts routiers'- *Large bridges Management* – To be on the PIARC website in 2012/Publication sur le site internet en 2012
- Imed BEN FREDJ and al - *Millau viaduct (France), Monitoring design and implementation*. Fib Avignon 2004 : concrete structures, the challenge of creativity
- Gilles Hovhanessian - *Health Monitoring of Cable Stayed Structures, Experience and Implementation*, IMAC 2005 USA/États-Unis
- A. Chaperon - *Risk based Approach of Life Cycle Management Systems* – IABMAS Porto 2006 - Portugal