

La surveillance renforcée et la haute surveillance des ouvrages d'art en France

Bruno GODART

Chef de la division Fonctionnement
et durabilité des ouvrages d'art

Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

La surveillance est un élément fondamental d'une politique de gestion des ouvrages d'art ; c'est très souvent elle qui permet d'initier le déclenchement de mesures de sécurité lorsque l'état de l'ouvrage le nécessite, et elle fournit des éléments indispensables à la programmation des actions de maintenance. Après un rappel succinct des trois niveaux de base de la surveillance des ouvrages d'art gérés par l'État et définis par l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979 : la surveillance continue, la surveillance organisée et les actions spéciales de surveillance, l'article présente en détail les objectifs, les principes et les modalités de mise en œuvre des deux actions spéciales de surveillance que sont la surveillance renforcée et la haute surveillance.

La surveillance renforcée a pour objectif de suivre, de façon attentive, l'évolution d'un ouvrage défectueux ou douteux afin de détecter une évolution anormale, ou pour mieux comprendre son comportement ; pendant toute la durée de cette opération, le niveau de sécurité présenté par la structure doit rester suffisant. La haute surveillance est instaurée lorsqu'une défaillance de la structure apparaît possible à court terme ; elle consiste à guetter l'apparition d'un signe avertisseur de défaillance qui puisse permettre de prendre des mesures de sécurité préalablement définies. La mise en œuvre d'une haute surveillance exige donc une évaluation des risques et une étude des différents scénarios de ruine possibles ; la fixation des seuils pour le déclenchement des alarmes nécessite souvent une période d'apprentissage.

Ces actions spéciales de surveillance font généralement appel à de la métrologie sur ouvrages. La mise en œuvre d'un système de haute surveillance exige bien souvent une acquisition automatique et une télétransmission des mesures, et le niveau de fiabilité du système de surveillance doit être choisi en fonction du degré de haute surveillance appliqué.

MOTS CLÉS :

Rappels sur la surveillance des ouvrages

La première étape fondamentale de la gestion des ouvrages d'art est la surveillance. Elle permet de suivre le comportement des ouvrages inventoriés par le gestionnaire pour que ce dernier puisse programmer les opérations de maintenance utiles à la conservation de son patrimoine, et, le cas échéant, puisse déclencher les mesures de sécurité nécessaires à une utilisation normale des ouvrages [1].

La surveillance est en premier lieu visuelle, mais elle peut aussi faire appel à des techniques de mesures ou d'instrumentation. Bien que la surveillance dépende du type d'objet à surveiller et soit étroitement liée à la politique suivie par chaque gestionnaire, on reconnaît généralement trois niveaux de surveillance, à l'image de ce qui est retenu pour la surveillance des ouvrages gérés par l'État, et qui est codifié dans l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art – ITESOA 79 [2] (première partie révisée en décembre 1995).

Ces trois niveaux sont les suivants :

- la surveillance continue,
- la surveillance organisée,
- les actions spéciales de surveillance.

La surveillance continue est exercée par tous les agents du service gestionnaire à l'occasion de leurs déplacements. C'est une surveillance de « routine », qui a pour objectif de déceler l'apparition d'une anomalie manifeste entre deux visites organisées.

La surveillance organisée recouvre les simples visites de contrôle annuel, les visites d'évaluation et les inspections détaillées. On peut y rattacher aussi les actions particulières de surveillance telles que les inspections détaillées initiales permettant de définir l'état de référence et les inspections détaillées exceptionnelles déclenchées à la suite d'événements notables. C'est une surveillance essentiellement visuelle, qui peut être

effectuée à l'échelon local ou réalisée par des ingénieurs spécialistes en pathologie dans le cas d'une bonne partie des inspections détaillées. Elle doit permettre de détecter l'apparition éventuelle de désordres, de donner l'alerte en cas d'inquiétudes relatives à la sécurité des personnes et des biens, et de prendre les mesures de sécurité nécessaires en cas de danger immédiat. Elle permet aussi de suivre les actions subies par les ouvrages et de connaître le comportement dans le temps de chaque élément du parc d'ouvrages.

Les actions spéciales de surveillance englobent la surveillance renforcée et la haute surveillance. Celles-ci sont définies en détail dans le fascicule 03 de l'ITE-SOA 79 [3], qui traite aussi de l'auscultation et des mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde. Ce fascicule définit ces deux actions de la façon suivante :

■ La surveillance renforcée a pour objectif de suivre d'une façon plus attentive l'évolution d'un ouvrage pendant une certaine durée :

- soit, dans le cas le plus général, pour détecter une évolution anormale,
- soit, dans le cas où l'examen de l'ouvrage n'a pas permis d'expliquer les causes exactes des désordres ou que l'auscultation n'a pas permis d'évaluer l'état réel dans lequel se trouve l'ouvrage, pour mieux identifier les problèmes et mieux appréhender son comportement.

■ La haute surveillance consiste à guetter l'apparition d'un signe faisant craindre la possibilité d'une défaillance de l'ouvrage à très court terme, afin de prendre immédiatement les mesures de sécurité nécessaires et préalablement définies.

Le premier objectif de la surveillance : assurer la sécurité

Le premier objectif du gestionnaire d'un parc d'ouvrages est d'assurer la sécurité des usagers et des tiers [4]. Pour cela, il dispose d'un ensemble de moyens d'action qui peuvent être classés en fonction de la rapidité avec laquelle la défaillance de l'ouvrage peut apparaître.

Ainsi, lorsqu'une défaillance de l'ouvrage est à craindre à très court terme, des mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde doivent être prises pour limiter les conséquences possibles de cette défaillance et, en particulier, pour éviter tout accident corporel. Les mesures de sécurité immédiate comprennent les restrictions d'utilisation de l'ouvrage et les dispositions prises pour protéger les tiers. Les mesures de sauvegarde couvrent les confortements provisoires et les étaiements.

Lorsqu'une défaillance de l'ouvrage est possible à court terme, et à condition que la sécurité reste assurée dans l'immédiat et ne puisse être compromise que par une aggravation ultérieure des désordres, la mise en place d'un dispositif de haute surveillance est recommandée.

Enfin, lorsque la défaillance de l'ouvrage n'est envisageable qu'à moyen ou à long terme, l'ouvrage peut faire l'objet d'une surveillance renforcée ou d'une auscultation.

La surveillance renforcée

Objectifs et principes de la surveillance renforcée

En général, la surveillance renforcée a pour objectif de suivre d'une façon plus attentive l'évolution d'un ouvrage défectueux ou douteux, pendant une certaine durée :

- soit, le plus souvent, pour déceler une évolution anormale,
- soit, dans le cas où les investigations n'ont pas permis d'aboutir à un diagnostic ou à une évaluation correcte de l'état de l'ouvrage pour mieux identifier les causes des désordres et mieux appréhender son comportement,
- soit, dans le cas où l'ouvrage a subi une réparation touchant à sa structure, pour vérifier l'efficacité de la réparation pendant la période de garantie particulière ou de responsabilité.

La surveillance renforcée ne peut être mise en œuvre que si la sécurité présentée par la structure n'est pas remise en cause pendant toute la durée de cette opération. Ce point constitue une des différences importantes entre la surveillance renforcée et la haute surveillance.

La surveillance renforcée d'un ouvrage peut être effectuée par des visites fréquentes et régulières de celui-ci, par un suivi quantifié et régulier des désordres (exemple du suivi de la fissuration), ou par la mise en œuvre d'une instrumentation légère avec des relevés périodiques de mesures. La surveillance renforcée est généralement mise en œuvre pour une durée relativement longue, un an étant un minimum pour pouvoir corriger les paramètres mesurés sur l'ouvrage des variations saisonnières, ces variations étant dues à l'influence des conditions thermo-hygrométriques.

Parfois, la surveillance renforcée peut aussi avoir pour objectif de suivre plus attentivement l'évolution d'un ouvrage ne présentant pas de pathologie, soit parce qu'il est exceptionnel, soit parce qu'il présente un caractère innovant. Dans le cas où l'ouvrage ne présente pas de pathologie particulière (exemple des ouvrages surveillés dès leur mise en service), l'objectif prioritaire de la surveillance est de prévoir l'occurrence d'un phénomène aléatoire avec un délai suffisant pour prendre des mesures destinées à limiter les conséquences néfastes de ce phénomène ; un objectif secondaire pouvant être de surveiller l'ouvrage pour mieux comprendre son comportement dans le temps. Dans ce cas, l'étude du fonctionnement mécanique de la structure et les calculs de dimensionnement doivent permettre de

faire ressortir les zones où les contraintes sont les plus élevées et où des états-limites risqueraient d'être dépassés au cours de la vie de l'ouvrage, ainsi que les grandeurs physiques (déformations globales ou locales, forces, déplacements, accélérations, etc.) les plus caractéristiques des sollicitations subies par la structure sous des actions extérieures susceptibles d'évoluer suivant un sens défavorable (action du vent, séisme, tassement différentiel, etc.).

Utilité d'une surveillance métrologique

Dans un bon nombre de cas de surveillance renforcée, il est nécessaire de faire appel à la métrologie, celle-ci étant basée sur de la topométrie ou sur de l'instrumentation. Ainsi, lorsqu'il s'agit de vérifier l'existence de désordres ou d'en déterminer les mécanismes (exemple de la mesure et du suivi de l'expansion d'un ouvrage pour confirmer le diagnostic d'une alcali-réaction), ou lorsque le suivi d'un ouvrage ne peut être réalisé que par des moyens de mesure (exemple du suivi de l'ouverture de fissures non détectables à l'œil dans les ponts en béton précontraint), ou lorsque l'ouvrage est d'accès difficile (exemple d'une pile de grande hauteur ou d'un barrage situé en altitude), alors une surveillance métrologique s'impose.

Les mesures les plus couramment pratiquées font appel à la fissurométrie, à la topométrie ou à la mesure de grandeurs géométriques ; c'est par exemple le cas du suivi du tassement d'une pile, du basculement d'une culée, de la flèche prise par un tablier, de la convergence d'une portion de tunnel, de la déplanation d'un mur de soutènement, etc.

Mais il arrive aussi que l'on fasse appel à des mesures utilisant des techniques spécialisées identiques à celles utilisées dans le cadre de l'auscultation ; c'est notamment le cas du suivi de la corrosion des aciers dans les ouvrages en béton armé, du suivi de la rupture des fils de câbles par émission acoustique dans les ponts suspendus et dans les ponts en béton précontraint, du suivi de la propagation de fissures dans des assemblages de ponts métalliques, etc.

Les mesures directement nécessaires à la surveillance d'un ouvrage demandent parfois à être accompagnées par la mesure de paramètres liés à l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage, que ce soit pour pouvoir interpréter les résultats ou pour les besoins de corrections des appareils de mesures. C'est par exemple le cas de relevés piézométriques, de relevés de température, voire de mesures d'hygrométrie.

Par ailleurs, la mise en place d'une surveillance métrologique nécessite une période d'observation afin de préciser la signification des mesures, d'en évaluer la précision, de permettre aux équipes de se familiariser avec le dispositif de mesures, et d'examiner l'évolution des résultats sous l'effet des actions cycliques normalement appliquées à l'ouvrage (notamment les actions thermiques journalières).



Exemple d'instrumentation de fils d'un câble de précontrainte au droit d'un joint entre voussoirs, dans le cadre de la surveillance renforcée d'un pont-caisson en béton précontraint.

La fréquence des mesures est très variable et dépend de l'objectif assigné à la surveillance. Le développement de la télésurveillance permet actuellement de faire des acquisitions très fréquentes de mesures.

Enfin, lorsqu'il est fait appel à des moyens de mesures automatisés, des moyens plus rustiques doivent être prévus à titre de recoupement. Ces derniers permettent par ailleurs de fournir des éléments de repère permettant, dans le cas où des appareils de mesure seraient détériorés, de recalculer par rapport à la situation de référence, les mesures délivrées par les appareils de remplacement (exemple de plots scellés de part et d'autre d'une fissure instrumentée par un capteur de déplacement à traduction électrique, et dont on peut suivre l'écartement à l'aide d'un pied à coulisse ou d'un extensomètre).

La haute surveillance

Objectif et principes de la haute surveillance

C'est un type de surveillance qui consiste à guetter l'apparition d'un signe faisant craindre la possibilité d'une défaillance à très court terme, afin de prendre immédiatement les mesures de sécurité nécessaires et préalablement définies.

Dans la pratique, la haute surveillance consiste à suivre l'évolution d'une ou plusieurs grandeurs physiques, mesurables de préférence, et à provoquer, dès que ces grandeurs physiques atteignent un seuil permettant de caractériser une situation dangereuse, l'application des mesures de sécurité prédéfinies.

La mise en place d'un régime de haute surveillance se distingue donc de celle d'un régime de surveillance renforcé par le fait qu'elle doit être conditionnée par l'exécution préalable des deux opérations suivantes :

- ❶ une analyse poussée des phénomènes susceptibles de se produire et permettant une évaluation raisonnable des risques correspondants,
- ❷ un établissement de consignes précises, adaptées au cas particulier, et qui doivent être appliquées strictement en cas de nécessité. Cet ensemble de consignes doit inclure les consignes d'exploitation du trafic à appliquer en cas de restriction d'utilisation de l'ouvrage.

Examinons à présent le contenu de l'analyse préalable des phénomènes.

Analyse préalable

Un dispositif de haute surveillance ne peut permettre de déceler l'apparition d'une défaillance que si celle-ci se produit par un mécanisme supposé connu. La mise en

œuvre de la haute surveillance ne doit pas laisser de place à l'improvisation et nécessite une analyse préalable comportant les cinq étapes suivantes [3] :

- ❶ analyse de l'état de l'ouvrage conduisant à une mise en cause de la sécurité des usagers, des tiers ou de la tenue de l'ouvrage ; cette analyse étant généralement effectuée après une étude approfondie de l'état de la structure (auscultation et/ou recalculs) ;
- ❷ étude des différents chemins de ruine possibles, et choix du (ou des) chemin(s) de ruine ayant la plus grande probabilité de se produire. À ce stade, il convient de noter que s'il existe un risque de rupture de type fragile de la structure, c'est-à-dire un risque de ruine brutale sans alerte préalable, la haute surveillance est inopérante, et l'ouvrage doit faire l'objet de mesures immédiates de sauvegarde ;
- ❸ sélection des grandeurs physiques mesurables qui soient représentatives d'une évolution défavorable de l'ouvrage dans le cadre des chemins de ruine retenus. La sélection des paramètres peut aussi être facilitée par une approche fiabiliste du comportement des ouvrages, qui permet d'évaluer les probabilités de défaillance de tout ou partie d'une structure ;
- ❹ fixation de seuils sur les grandeurs physiques au delà desquels des mesures conservatoires sont prises (notions d'alerte, d'alarme, de feu rouge, de fermeture d'ouvrage à telle ou telle catégorie d'usagers) ;

Fiabilité du système de surveillance

La surveillance d'ouvrages suppose que les mesures réalisées soient fiables et le restent au cours du temps. Cela suppose une fiabilité de l'ensemble de la chaîne de mesures et donc de chacun des éléments qui la constituent : capteurs et instruments de mesure, centrale d'acquisition, unité de traitement, et système de télétransmission.

Le niveau de fiabilité du système de surveillance est choisi en fonction du degré de haute surveillance appliqué, des risques encourus et du coût du système. Le niveau de sécurité du système peut généralement être choisi entre deux niveaux :

- le niveau 1, qui tolère des interruptions momentanées du système de surveillance dont la durée est à définir au cas par cas. Pour ce niveau, les éléments défaillants de la chaîne sont simplement remplacés dans les délais fixés.
- le niveau 2, qui limite au maximum les risques d'interruption du système de surveillance. Pour ce niveau, il est fait appel au principe de redondance et les éléments de la chaîne doivent être doublés. En outre, des précautions spéciales doivent être prises pour assurer une protection totale du système vis-à-vis de la foudre (installation de dispositifs parafoudre), des coupures de courant (mise en place d'un onduleur avec alerte téléphonique en cas de coupure d'électricité), et des coupures de transmission (doublement de la liaison téléphonique).

Suivant le niveau de fiabilité du système de surveillance retenu, le contrôle de fiabilité de la chaîne de mesure et de transmission peut être réalisé à l'aide d'un test d'autocontrôle, comme par exemple l'envoi d'un « bip » régulier au centre de surveillance.

Cette modulation du niveau de sécurité peut donc aller du simple remplacement d'un élément de la chaîne à partir d'un stock plus ou moins important d'éléments disponibles, jusqu'au doublement complet de la chaîne d'acquisition et de transmission de l'information. Dans la pratique, les problèmes les plus difficiles à résoudre se posent au niveau du remplacement de certains instruments de mesure qui sont particulièrement difficiles d'accès. En effet, certains appareils comme les cordes vibrantes noyées dans le béton sont impossibles à remplacer, et la seule solution consiste à augmenter le nombre de points de mesure prévus initialement pour palier la défaillance de ces appareils qui, par ailleurs grâce à leur constitution et leur principe de fonctionnement, apparaissent comme parmi les instruments de mesures les plus fiables. D'autres appareils comme les capteurs à traduction électrique peuvent aussi aboutir à une perte d'information lors de leur remplacement, si l'on n'a pas prévu à l'origine leur doublement par des dispositifs de mesures manuels.

Quel que soit le niveau de fiabilité retenu, les instruments de mesures installés à demeure doivent être sans dérive, robustes et protégés contre le vandalisme et les actions des animaux.

⑤ définition du plan d'interventions en cas de dépassement de seuils (réception et validation des alarmes, consignes pour les personnes chargées d'intervenir, gestion du trafic dévié, etc.), ce plan d'interventions étant conçu en fonction des moyens disponibles et surtout de la cinétique de déroulement de la défaillance.

Nécessité d'une surveillance métrologique

La mise en œuvre d'un système de haute surveillance repose généralement sur l'acquisition automatique de mesures fournies par des instruments placés sur l'ouvrage. Elle suppose l'existence d'une programmation et fait généralement appel à de la télétransmission pour pouvoir récupérer à distance les mesures. Elle permet le déclenchement d'alerte ou d'alarme, et le traitement des mesures peut être réalisé sur le site ou chez le gestionnaire, en fonction de la configuration du système de surveillance retenu.

L'opération la plus délicate est la fixation des seuils qui servent de base aux déclenchements des alertes et des alarmes. Une période d'apprentissage est généralement nécessaire pour valider les seuils fixés provisoirement et pour tester le bon fonctionnement du système de surveillance, ainsi que la bonne application des consignes de sécurité.

La mise en œuvre d'un système de haute surveillance est souvent une opération lourde qui nécessite des moyens techniques appropriés en métrologie, en acquisition et traitement de mesures, et en télétransmissions. Ces moyens doivent être fiables pendant toute la durée de la haute surveillance. Cela suppose une fiabilité de l'ensemble de la chaîne de mesures et donc de chacun des éléments qui la constitue : capteurs et instruments de mesure, centrale d'acquisition, unité de traitement, et système de télétransmission. Le niveau de fiabilité du système de haute surveillance doit donc être défini au préalable et communiqué à tous les intervenants.

Consignes de sécurité

Dans la plupart des cas de haute surveillance, il existe un dispositif automatique dont le déclenchement est

assuré par les appareils de mesure mis en place sur l'ouvrage : deux modalités peuvent être envisagées :

➤ le déclenchement automatique d'une alerte ou d'une alarme, qui a pour effet de prévenir instantanément un responsable (ainsi que, le cas échéant, d'autres intervenants) lorsqu'un seuil est atteint ; il appartient alors à ce dernier d'appliquer immédiatement les consignes prévues :

➤ la mise en application automatique de mesures de sécurité : il s'agit par exemple d'une interruption immédiate du trafic par des signaux ou des barrières dont la fermeture est déclenchée directement par le système de surveillance.

Les différents types de surveillance métrologique

Du point de vue métrologique, on peut distinguer deux grands types de surveillance qui correspondent grossièrement aux niveaux de surveillance renforcée et de haute surveillance ; il s'agit de la « surveillance manuelle » et de la « surveillance automatisée ». Entre ces deux grands types de surveillance métrologique vient parfois s'intercaler un type de surveillance qui peut être dénommé « surveillance partiellement automatisée ».



Exemple de surveillance métrologique d'un grand pont suspendu grâce à la détection de la rupture de fils par émission acoustique.

Quatre conditions indispensables à une mise sous haute surveillance :

- ① Être sûr que la défaillance de la structure ne peut résulter que de l'un des modes de ruine envisagés ; il est en effet absolument inutile et même dangereux de se prémunir contre les conséquences d'un mode de défaillance donné si un autre mode, contre lequel aucune protection n'est assurée, présente des risques non négligeables de provoquer également une défaillance.
- ② Avoir déterminé une grandeur physique mesurable dont l'évolution puisse traduire significativement le degré d'avancement de la dégradation de l'ouvrage, dans le cadre d'un mécanisme de ruine donné.
- ③ Définir des seuils susceptibles de caractériser l'occurrence d'une situation dangereuse avec suffisamment de certitude, sinon, fixer ces seuils par défaut à des valeurs telles qu'il soit quasi certain que la situation n'est pas dangereuse tant qu'ils ne sont pas atteints.
- ④ Être sûr que la vitesse d'évolution de la dégradation est telle que les mesures de sécurité pourront être appliquées en temps voulu pour éviter des conséquences graves ; en effet, la haute surveillance ne peut prévenir d'une rupture de type fragile.

■ La **surveillance manuelle** repose sur l'installation d'appareils de mesure sur l'ouvrage, et par un relevé des mesures effectué de façon intermittente par un homme qui doit se déplacer sur le site pour pouvoir acquérir les mesures. Elle requiert généralement des délais de traitement et d'exploitation des mesures relativement longs et suppose une bonne accessibilité de l'ouvrage à surveiller.

■ La **surveillance partiellement automatisée** est utilisée dans quelques cas particuliers où l'on ne souhaite pas laisser en place un matériel de mesure et d'acquisition coûteux pour des raisons de vol ou de dégradation, etc. On effectue alors une saisie automatisée des mesures de façon intermittente.

■ La **surveillance automatisée** est basée sur l'acquisition automatique des mesures fournies par les instruments placés sur l'ouvrage. Elle permet le stockage des mesures ainsi que leur télétransmission pour un traitement à distance. Ce traitement peut être réalisé en temps réel, ce qui permet le déclenchement d'alerte ou d'alarme. Avec le développement prodigieux des télécommunications, ce type de surveillance tend de plus en plus à supplanter les autres modes de surveillance.

Intérêt des mesures pour la surveillance

L'utilisation des mesures dans le cadre de la surveillance présente de nombreux avantages dont le premier est certainement celui de la **sécurité**. En effet, les mesures permettent une surveillance en continu d'un ouvrage, ce qui permet une plus grande sûreté dans son exploitation et rend possible, dans les cas les plus graves, sa mise sous haute surveillance dans des conditions de sécurité bien définies (possibilité de déclenchement d'alertes et d'alarmes).

Le deuxième avantage est d'ordre **économique**. Les mesures, qui sont de plus en plus accompagnées par une acquisition automatique et par une télétransmission des résultats, permettent le suivi à distance d'un ouvrage et évitent le déplacement répétitif d'une équipe de surveillance sur le site. Du point de vue de la gestion de l'ouvrage, elles permettent aussi de maintenir en état de service un ouvrage endommagé, et de différer dans le temps une réparation ou un renforcement pour lesquels on ne dispose pas immédiatement de crédits.

Le troisième avantage est d'ordre **technique**. Dans certains cas, l'évolution d'un ouvrage est difficilement perceptible par l'œil, et le recours à des mesures s'avère alors indispensable pour pouvoir suivre finement l'évolution des paramètres représentatifs de la dégradation de l'ouvrage (suivi de l'ouverture d'une fissure, suivi de l'inclinaison d'une pile, etc.). Elles constituent ainsi parfois le seul moyen de réaliser une gestion prévisionnelle des risques et de prévenir toute défaillance prématurée d'un ouvrage.

Enfin, le couplage des mesures et de leur télétransmission apparaît incontournable dans certains cas particuliers comme la surveillance d'ouvrages en site dangereux (exemple d'un glissement de terrain sur lequel il n'est pas souhaitable d'envoyer un surveillant établir un relevé), ou la surveillance d'ouvrages en site « inaccessible » (exemple du suivi d'un barrage situé dans une zone isolée de la montagne en hiver).

Conclusion

Dans le processus de gestion d'un parc d'ouvrages, la surveillance constitue une étape indispensable et préalable à toute autre action de gestion, et dans le cadre de cette surveillance, les mesures représentent des enjeux importants. Ceci est notamment vrai pour les deux actions spéciales de surveillance que sont la surveillance renforcée et la haute surveillance ; dans ce dernier cas, les mesures sur ouvrages constituent même une condition indispensable à l'existence même de la haute surveillance, car elles seules sont capables de donner en temps réel une information précise sur l'évolution défavorable d'un ouvrage.

Si dans des domaines connexes au Génie civil, les mesures sont très utilisées pour opérer de la surveillance (télésurveillance des réseaux d'eau ou d'électricité, ou aide à la maintenance de bâtiments par exemple, etc.), en revanche les mesures sont encore peu utilisées pour effectuer un suivi préventif des ouvrages de Génie civil en service, hormis quelques ouvrages importants ou exceptionnels comme les barrages, les enceintes nucléaires et les ponts et viaducs de grande dimension.

Si la surveillance visuelle des ouvrages d'art reste la technique de base en matière de surveillance, l'instrumentation des ouvrages constitue un outil supplémentaire mis à la disposition des gestionnaires pour mieux surveiller leurs ouvrages : elle leur permet de mieux comparer l'évolution réelle d'une structure à son modèle de comportement, et grâce à la continuité de cette surveillance métrologique qui peut se faire en temps réel, elle apporte une plus grande sûreté dans l'exploitation des ouvrages et facilite la prise de décisions dans les cas les plus graves.

L'instrumentation d'un ouvrage ne s'improvise pas ; outre la compétence nécessaire en métrologie de chantier, elle demande une maîtrise des paramètres liés à l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage, une évaluation de la fiabilité de l'ensemble de la chaîne de mesures, et parfois le recoupement avec des moyens de mesures plus rustiques.

Enfin, si l'instrumentation présente des avantages indéniables en matière de surveillance, elle permet aussi d'avancer sur la connaissance du comportement in-situ des ouvrages et permet, en tirant profit du retour d'expérience, d'en améliorer leur conception.

Recueil, traitement et exploitation de l'information

Le recueil, le traitement et l'exploitation des données sont des opérations généralement présentes dans tout processus de surveillance métrologique, chacune d'entre elles ayant une importance variable selon le degré de haute surveillance retenu.

Le recueil de l'information comprend essentiellement une phase : l'acquisition qui consiste à interroger les appareils de mesure, à numériser leurs réponses analogiques le cas échéant, et à convertir leurs réponses en valeurs prises par des grandeurs physiques. L'acquisition nécessite donc une définition des fréquences et des modes de scrutation, ainsi qu'une définition des modalités de stockage des valeurs brutes. Dans le cas d'une surveillance automatisée, le volume des mesures est tel qu'il pose souvent des problèmes d'encombrement de mémoire. Il faut alors gérer ces données en les effaçant au bout d'un certain temps, ou en les transférant sur d'autres supports par télétransmission. Une solution pour éviter les problèmes d'encombrement consiste à utiliser des capteurs dits intelligents qui effectuent un pré-traitement de l'information avant de l'envoyer vers le pilote de l'acquisition.

La périodicité des mesures doit être fixée à l'avance, en s'appuyant sur les critères suivants :

- vitesse possible d'évolution du phénomène de défaillance ;
- délai nécessaire pour mettre en action les mesures de sécurité ;
- performance du système d'acquisition.

Parfois, des mesures en continu avec déclenchement automatique sont nécessaires comme dans le cas de la détection de ruptures de fils de câbles. Les mesures en continu sont également utilisées pour disposer d'enregistrements pendant la période d'apprentissage.

Le traitement de l'information consiste à transformer les valeurs prises par les grandeurs physiques en valeurs interprétables par le gestionnaire de l'ouvrage. Il comporte généralement :

- la validation des mesures qui a pour objet de vérifier le bon fonctionnement des appareils de mesures. Ceci peut être réalisé par comparaison avec des mesures précédentes (application de la moyenne glissante, etc.), par comparaison d'appareils entre eux, ou par comparaison avec des valeurs fournies par des capteurs témoins (détection de dérive dans le temps, etc.).
- le traitement proprement dit qui consiste à réaliser des corrections sur les mesures (corrections thermiques ou hygrométriques, etc.), à effectuer des combinaisons ou des corrélations entre différentes grandeurs, des traitements statistiques, des calculs de vitesse ou d'accélération, etc. (le contenu de cette phase est très dépendant du problème de surveillance posé).
- le stockage et l'édition des valeurs traitées
- la transmission des valeurs traitées vers le centre de surveillance et éventuellement vers d'autres destinataires.

L'exploitation de l'information peut prendre deux formes suivant le niveau de surveillance adopté.

Dans le cas d'une surveillance renforcée, elle vise à mettre en forme les résultats de mesures (généralement sous forme de graphiques, etc.), et à les comparer avec un modèle prédictif d'évolution ou avec des résultats de calculs.

Dans le cas d'une haute surveillance, elle vise à convertir les résultats des mesures en décisions à prendre ou en actions à mener suivant des phases d'intervention préalablement définies. Elle est généralement fondée sur la comparaison de résultats de mesures à des seuils dont le dépassement génère des alertes ou des alarmes.

L'alerte correspond à l'occurrence d'un événement permettant de mettre en éveil le système de surveillance ; elle précède l'**alarme** qui correspond au dépassement du seuil à partir duquel le fonctionnement de l'ouvrage présente des risques. Le mode de gestion des alertes et des alarmes peut être de différentes natures :

- soit sur des niveaux de seuils différents,
- soit sur la répétition dans le temps d'une même alerte pour un capteur donné,
- soit sur la redondance d'alertes données par différents capteurs, etc.

La fixation des seuils est toujours une opération délicate qui nécessite souvent le recours à une **période d'apprentissage**. Cette période permet de modifier ou de valider des seuils fixés provisoirement, ainsi que de tester le bon fonctionnement du système de surveillance, y compris les consignes de sécurité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- | | |
|--|---|
| <p>[1] BOIS C., <i>Surveillance et réparation des ponts routiers en France. La doctrine technique actuelle</i>. Colloque international sur la gestion des ouvrages d'art, Paris-Bruxelles, Éd. ENPC, 13 au 17 avril 1981.</p> <p>[2] <i>Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art</i> – 1re partie : dispositions applicables à tous les ouvrages, Ministère des Transports – Direction des routes et de la circulation routière, 19 octobre 1979 (révisée le 26 décembre 1995).</p> <p>[3] <i>Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'Art</i> – 2e partie, fascicule 03 : Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde,</p> | <p>ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement – Direction des routes, 1998.</p> <p>[4] GODART B. (1999), La gestion des ouvrages d'art dans les pays développés, <i>Annales des Ponts et Chaussées</i>, 90, juillet, pp. 12-18.</p> <p>[5] DUCHENE J.-C., CHRETIEN C., Mise sous haute surveillance de trois ouvrages d'art, <i>Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées</i>, 146, novembre-décembre.</p> <p><i>Télésurveillance des ouvrages d'art et des sites</i>, Projet National ITELOS, Éditions KIRK, 1994, 442 pages.</p> <p><i>Télésurveillance des ouvrages d'art. Guide Technique</i>, Techniques et méthodes des LPC (à paraître).</p> |
|--|---|