



Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Deuxième partie

Fascicule 03

Auscultation
Surveillance renforcée
Haute surveillance
Mesures
de sécurité immédiate
ou de sauvegarde



Instruction technique du 19 octobre 1979

2^e partie

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES

Fascicule 03

Auscultation

Surveillance renforcée

Haute surveillance

Mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde

Document édité et diffusé par

le Laboratoire central des Ponts et Chaussées
58 boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS Cedex 15
Téléphone 01 40 43 52 26
Télécopie 01 40 43 54 95
sur Internet <http://www.lcpc.fr>

le Service d'études techniques des routes et autoroutes
46, avenue Aristide Briand
BP 100
92225 BAGNEUX Cedex
Téléphone 01 46 11 31 31
Télécopie 01 46 11 31 69

Avertissement

Le présent document est l'un des fascicules dont l'ensemble constitue la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979. La liste de ces fascicules est la suivante :

Fasc. 01. Dossiers d'ouvrage

Fasc. 02. Généralités sur la surveillance

Fasc. 03. Mesures de sécurité - Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance

Fasc. 04. Surveillance topométrique

Fasc. 10. Fondations en site aquatique

Fasc. 11. Fondations en site terrestre

Fasc. 12. Appuis

Fasc. 13. Appareils d'appui

Fasc. 20. Zone d'influence - Accès - Abords

Fasc. 21. Équipements des ouvrages (protection contre les eaux - revêtements - joints de chaussée et de trottoirs - garde-corps - dispositifs de retenue)

Fasc. 30. Ponts et viaducs en maçonnerie

Fasc. 31. Ponts en béton non armé et en béton armé

Fasc. 32. Ponts en béton précontraint

Fasc. 33. Ponts métalliques (acier, fer, fonte)

Fasc. 34. Ponts suspendus et ponts à haubans

Fasc. 35. Ponts de secours

Fasc. 40. Tunnels, tranchées couvertes, galeries de protection

Fasc. 50. Buses métalliques

Fasc. 51. Ouvrages de soutènement

Fasc. 52. Déblais et remblais

Fasc. 53. Ouvrages de protection

L'élaboration de ces fascicules est confiée à un groupe de travail placé sous la présidence de M. Claude Bois, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, membre de la mission d'inspection spécialisée des ouvrages d'art, dans lequel sont représentés :

- la MISOA,
- les directions départementales de l'Équipement,
- le réseau technique (CETE, SETRA, LCPC, CETU)
- la direction régionale de l'Équipement d'Ile-de-France,
- des maîtres d'ouvrages extérieurs (SNCF, RATP, Concessionnaires d'autoroutes).

Le rapporteur du présent fascicule est M. Godart, IDTPE au LCPC.

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Auscultation
Surveillance renforcée
Haute surveillance
Mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde

Deuxième partie

Chapitre 1 - Champ d'application7

Chapitre 2 - Généralités - Démarches à suivre9

2.1 Résultats de l'action de surveillance9
 2.1.1 État normal ou quasi-normal9
 2.1.2 État défectueux10
 2.1.3 État douteux10
2.2 Premier objectif : assurer la sécurité11
2.3 Investigations11
2.4 Coordination des intervenants12

Chapitre 3 - L'auscultation13

3.1 Objectifs de l'auscultation13
3.2 Nature des investigations14
3.3 Moyens d'auscultation15
3.4 Programme d'auscultation16

Chapitre 4 - La surveillance renforcée17

4.1 Objectifs de la surveillance renforcée17
4.2 Consistance18
 4.2.1 Examens réguliers et fréquents18
 4.2.2 Suivi à l'aide d'une instrumentation18
4.3 Programme et organisation de la surveillance renforcée19

| | |
|--|----|
| Chapitre 5 - La haute surveillance | 21 |
| 5.1 Objectifs de la haute surveillance | 21 |
| 5.2 Analyse préalable | 22 |
| 5.3 Système de haute surveillance | 22 |
| 5.4 Consignes de sécurité | 23 |
| 5.5 Programme et organisation de la haute surveillance | 24 |
| 5.6 Conditions particulières d'application | 24 |
| | |
| Chapitre 6 - Les mesures de sécurité immédiate et de sauvegarde | 27 |
| 6.1 Restrictions d'utilisation | 27 |
| 6.1.1 Restrictions de circulation | 27 |
| 6.1.2 Restrictions pour les occupants du domaine public | 29 |
| 6.2 Protection des tiers | 30 |
| 6.3 Confortements provisoires et étaitements | 30 |
| 6.4 Organisation | 31 |
| | |
| Annexe 1 - Schéma d'aide au processus décisionnel | 32 |
| | |
| Annexe 2 - Principales méthodes d'auscultation | 33 |
| | |
| Annexe 3 - Systèmes de haute surveillance : gestion de l'information et niveau de fiabilité | 35 |
| | |
| Annexe 4 - Bibliographie | 38 |
| | |
| Annexe 5 - Liste des sigles utilisés | 41 |

Chapitre 1

Champ d'application

Tous les ouvrages visés dans la première partie de l'instruction sont susceptibles de bénéficier des dispositions contenues dans le présent fascicule. Celles-ci concernent :

- l'auscultation qui est un ensemble d'examens et de mesures spécifiques faisant le plus souvent appel à des techniques élaborées, et qui vise à mieux connaître l'état réel d'un ouvrage pour aboutir à un diagnostic de sa pathologie ;
- la surveillance renforcée dont l'objectif est 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 qui 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 ;
- les mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde qui peuvent s'avérer nécessaires pour préserver la sécurité des usagers et des tiers, dans le cas où la ruine de l'ouvrage est à craindre dans un délai très court.

Les dispositions du présent fascicule sont donc applicables aux ouvrages dont l'état ou le caractère nécessitent une attention particulière :

- soit parce que des désordres ont été constatés, que ceux-ci soient ou non susceptibles de s'aggraver ou de mettre en cause la sécurité (fig. 1) ;
- soit parce que l'existence de désordres est soupçonnée, sans pour autant que ceux-ci aient pu être constatés lors d'un examen visuel ou d'une auscultation légère (fig. 2) ;
- soit parce que la défaillance éventuelle pourrait avoir des conséquences extrêmement importantes ;
- soit parce que l'ouvrage, en bon état, présente un caractère exceptionnel (par exemple, cas d'un grand ouvrage : le pont d'Iroise sur l'Élorn) (fig. 3) ;
- soit encore, parce que l'ouvrage est constitué par une structure innovante dont on souhaite connaître le comportement en service (fig. 4).

Les dispositions du présent fascicule ne s'appliquent pas aux ouvrages dont un ou plusieurs éléments présentent des risques pour la sécurité immédiate des usagers (altération des dispositifs de retenue, décalage entre éléments des joints de chaussée, dégradations importantes de la chaussée, chutes de morceaux de béton, etc.).

En effet, de tels risques doivent faire l'objet d'un traitement spécifique d'urgence : c'est le cas en particulier des ouvrages affectés de la mention « S » à l'issue d'une visite IQOA (Image de la qualité des ouvrages d'art). Ce traitement ne rétablit pas nécessairement l'intégrité de l'ouvrage.



Fig. 1 - Buse métallique présentant un aplatissement et une inversion de courbure du radier mettant en cause la sécurité de l'ouvrage.



Fig. 2 - Ouvrage de type VIPP (viaducs indépendants à poutres précontraintes) présentant des traces d'humidité et des efflorescences pouvant faire craindre une corrosion de la précontrainte.



Fig. 3 - Exemple d'un grand ouvrage nécessitant une attention particulière : le pont d'Iroise sur la rivière Elorn.



Fig. 4 - Exemple d'ouvrage innovant nécessitant une attention particulière : le viaduc de Maupré à Charolles.

Chapitre 2

Généralités

Démarches à suivre

2.1 Résultats de l'action de surveillance

L'état de service d'un ouvrage, défini par l'alinéa I-1 de la première partie de l'instruction, s'apprécie à la suite d'une action de surveillance, celle-ci étant une des diverses actions définies par le fascicule 02, *La surveillance organisée, les actions particulières de surveillance, et la surveillance continue*. Cet état de service peut être classé comme :

- normal ou quasi normal,
- défectueux (ou anormal),
- douteux.

2.1.1 État normal ou quasi normal

L'état d'un ouvrage est qualifié de normal lorsque cet ouvrage est en bon état général et que les seuls défauts qu'il présente sont ceux auxquels l'entretien courant peut remédier. C'est en particulier le cas des ouvrages classés I à l'issue d'une visite d'évaluation IQOA.

L'état d'un ouvrage est considéré comme quasi normal lorsque cet ouvrage présente des désordres mineurs et s'il a été vérifié, au besoin par une inspection détaillée exceptionnelle, que les deux conditions suivantes sont réunies :

- ces désordres ou défauts ne sont pas susceptibles d'engager la sécurité des usagers ou des tiers avant remise en état ;
- leur remise en état fait appel à des techniques d'entretien spécialisé (fig. 5).



Fig. 5 - Cas d'un ouvrage en état quasi normal : pont métallique présentant un enrrouillement et nécessitant une remise en peinture.

Les ouvrages classés 2 ou 2E à l'issue d'une visite d'évaluation IQOA entrent généralement dans cette catégorie : on y trouve par exemple les ouvrages métalliques à repeindre rapidement, les ouvrages dont les joints de chaussée sont abîmés mais ne sont pas dangereux pour les usagers, les ouvrages en maçonnerie nécessitant un rejointoiment.

2.1.2 État défectueux

L'état d'un ouvrage est qualifié de défectueux lorsque des désordres majeurs ont été mis en évidence, que leur gravité a pu être appréciée au moins sommairement, et que ces désordres sont susceptibles, soit tels quels, soit après évolution, de mettre en cause la sécurité ou la pérennité de l'ouvrage (fig. 6).



Fig. 6 - Cas d'un ouvrage défectueux : pont voûté en béton non armé fissuré.

Les ouvrages de cette catégorie sont le plus souvent classés 3 ou 3U à l'issue d'une visite d'évaluation IQOA.

2.1.3 État douteux

L'état d'un ouvrage est qualifié de douteux lorsque l'analyse effectuée à la suite d'une action de surveillance ne permet pas de conclure :

- soit parce que des désordres ont été constatés, mais que l'analyse n'a pas permis d'apprécier leur gravité réelle ou potentielle (exemple d'un ouvrage qui présente les symptômes d'une alcali-réaction dont la présence demande à être établie et dont la gravité doit être déterminée) (fig. 7) ;
- soit parce que des désordres n'ont pas été mis en évidence, mais des indices permettent d'en soupçonner l'existence ont été reconnus (exemple des VIPP - viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes - sur lesquels des coulures de calcite ont été observées, celles-ci pouvant faire craindre une corrosion des câbles de précontrainte) (fig. 8).

Cette situation doit être transitoire, et les investigations effectuées selon les dispositions du présent fascicule doivent permettre de lever les doutes afin de reclasser les ouvrages dans la catégorie des ouvrages en état normal ou quasi normal, ou dans celle des ouvrages en état défectueux.

Fig. 7 - Cas d'un ouvrage dans un état douteux : présence de fissures verticales sur les pylônes d'un pont suspendu, ces fissures étant attribuables à de l'alcali-réaction.



Fig. 8 - Cas d'un autre ouvrage dans un état douteux : fissuration longitudinale en sous-face de talon d'un VIIP, accompagnée d'efflorescences et de stalactites témoignant d'une circulation d'eau dans les gaines de précontrainte.

2.2 Premier objectif : assurer la sécurité

Lorsqu'il est constaté qu'un ouvrage est dans un état défectueux, ou lorsque l'état de l'ouvrage présente un caractère douteux, chacun des intervenants doit se poser la question de la sécurité et prendre à son niveau les mesures nécessaires si celle-ci est compromise. Cette question doit rester au premier rang des préoccupations durant toute la période pendant laquelle l'état de l'ouvrage ne peut être considéré comme normal.

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. Ces mesures sont décrites au chapitre 6.

Lorsqu'une défaillance de l'ouvrage est envisageable 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, il convient d'envisager la mise en place d'un dispositif de haute surveillance. Les conditions nécessaires à sa mise en place ainsi que sa consistance sont précisées dans le chapitre 5.

Enfin, dans les autres cas, 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 (chapitre 4) ou d'une auscultation (chapitre 3) afin de lever les doutes s'il y en a, ou de préparer sa réparation ou son renforcement si l'ouvrage est défectueux.

Le schéma de l'annexe 1 fournit une aide à la prise de décisions.

2.3 Investigations

Les investigations à mener doivent être définies dans un programme établi sous la responsabilité du gestionnaire de l'ouvrage, en collaboration avec des organismes spécialisés (laboratoires, bureaux d'études, etc.). Ce programme d'investigations définit les actions du type inspection détaillée, examen spécifique, auscultation, calcul, etc., nécessaires au traitement du problème.

Lorsque l'état d'un ouvrage est considéré, à la suite d'une action de surveillance, comme douteux ou défectueux, il doit d'abord faire l'objet d'une inspection détaillée (si celle-ci n'a pas déjà été accomplie), puis d'investigations nécessaires pour :

- confirmer l'existence ou l'absence de désordres s'il y a doute ;
- déterminer les causes des désordres et les mécanismes de leur évolution ;
- définir les réparations ou renforcements à effectuer ;
- le cas échéant, effectuer l'analyse préalable qui sert à définir le dispositif de haute surveillance.

L'inspection détaillée, au besoin, peut être remplacée par un examen spécifique qui peut ne porter que sur une partie de l'ouvrage, si cela suffit pour lever des doutes : cet examen spécifique doit être réalisé par un spécialiste, selon un programme bien défini. Dans le cas d'un ouvrage défectueux, l'inspection détaillée doit être complète : il convient en effet de saisir l'occasion de la nécessité d'une réparation pour ne laisser aucun défaut dans l'ombre, afin que la remise en état concerne l'ensemble de l'ouvrage (fig. 9).



Fig. 9 - La passerelle EPSILON du Centre d'études techniques de l'Équipement de Lyon en position sur un ouvrage en maçonnerie dans le cadre d'une inspection détaillée.

Lorsque les résultats de l'inspection détaillée ne permettent pas d'atteindre l'ensemble des objectifs énumérés ci-dessus, et en particulier pour déterminer plus complètement les causes et les mécanismes d'évolution des désordres, il peut être nécessaire d'effectuer :

- une auscultation (sa consistance est définie au chapitre 3) ;
- une étude par le calcul ;
- une auscultation et une étude par le calcul menées conjointement.

S'il s'avère impossible de conclure à l'issue de ces investigations, un complément d'information, pouvant porter en particulier sur l'évolution des désordres, peut être recherché dans une surveillance renforcée dont la consistance est définie au chapitre 4 du présent fascicule. Si, pendant cette période de surveillance renforcée qui peut durer de quelques mois à plusieurs années, une défaillance de l'ouvrage est à redouter, il convient alors de procéder à une mise sous haute surveillance (chapitre 5), ou de prendre des mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde (chapitre 6).

2.4 Coordination des intervenants

Du début de l'expertise jusqu'à la fin de la réparation, la continuité des opérations doit être assurée : cela nécessite une bonne coordination entre le maître d'œuvre de la réparation et le gestionnaire de l'ouvrage.

Chapitre 3

L'auscultation

L'auscultation est un ensemble d'examens et de mesures spécifiques faisant le plus souvent appel à des techniques élaborées, destiné à approfondir la connaissance réel d'un ouvrage, à partir des résultats d'une inspection détaillée. Elle nécessite l'intervention d'une équipe compétente et, le plus souvent, l'utilisation de moyens spécialisés ou de techniques de laboratoires. Effectuée le plus couramment lorsque l'état de l'ouvrage est douteux ou défectueux, elle peut aussi être appliquée dans le cas d'un ouvrage en état normal ou quasi-normal, lorsqu'il est envisagé d'apporter à celui-ci une modification touchant à la structure (exemple de l'élargissement d'un ouvrage existant en béton, en bon état apparent, dont il faut connaître l'état, la nature et la position des armatures, la capacité portante des fondations, etc.).

Comme l'indique l'alinéa 4.2 de la première partie de l'instruction technique, toute réparation doit être précédée d'une inspection détaillée et d'une étude approfondie de l'ouvrage : l'auscultation, au même titre que les calculs ou recalculs, fait partie de cette étude approfondie. Mis à part les cas où un diagnostic fiable peut être établi sans investigations, l'expérience montre que la phase d'auscultation ne doit pas être négligée sous peine d'aller au devant de gros problèmes au moment des travaux d'entretien spécialisé ou de réparation.

L'établissement d'un programme d'auscultation succède à un examen très détaillé (inspection détaillée) des désordres constatés lors des diverses actions de surveillance. Dans la pratique, il est nécessaire de se faire d'abord une idée des causes possibles des désordres, ce sera l'idée directrice de l'auscultation.

3.1 Objectifs de l'auscultation

Les investigations conduites avant l'établissement d'un projet de réparation doivent répondre aux objectifs suivants :

- évaluer l'ampleur des désordres : cette évaluation fait souvent appel à une conjugaison de techniques de contrôles non destructifs (généralement qualitatives) et de techniques quantitatives appliquées sur des prélèvements. Lorsque les désordres sont cachés, cette évaluation peut devenir très difficile. Si nous prenons l'exemple de la corrosion des armatures, dans le cas du béton armé, la méthode du potentiel d'électrode permet d'obtenir une bonne image de l'état de corrosion des aciers ; par contre dans le cas du béton précontraint, et plus particulièrement des VIPP (viaducs indépendants à poutres précontraintes), l'état de corrosion des câbles de précontraintes ne peut être estimée qu'au prix de l'ouverture de plusieurs fenêtres dont l'emplacement aura été guidé par des radiographies ou de la radioscopie (fig. 10) ;

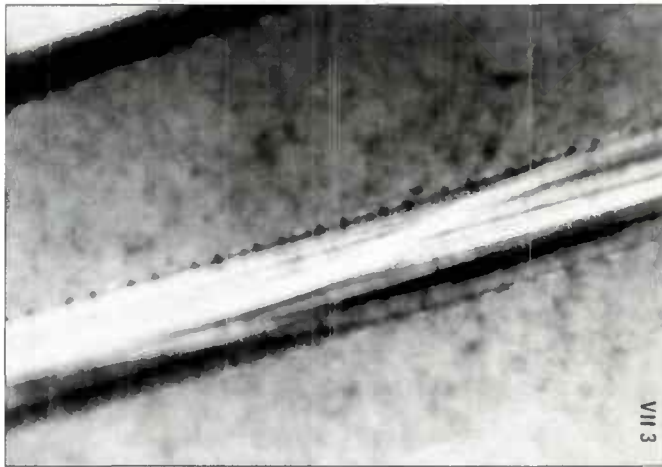


Fig. 10 : Cliché obtenu par gammagraphie permettant de visualiser une absence de coulis dans la gaine ainsi que des fils de précontrainte détendus.

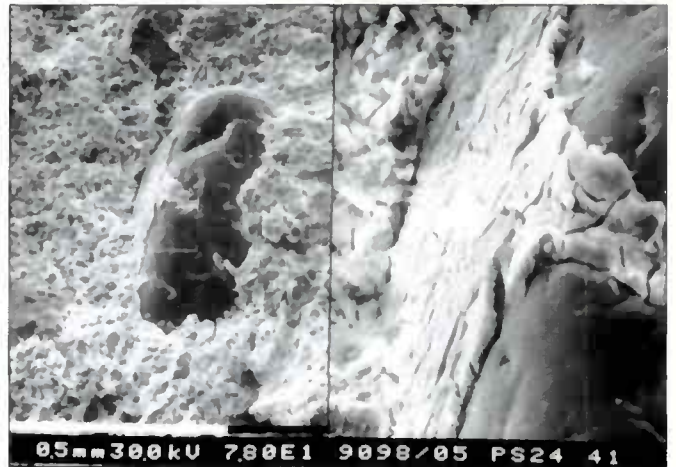


Fig. 11 : Cliché obtenu par microscopie électronique à balayage permettant de visualiser la présence d'ettringite comprimée à l'interface pâte-granulat (réaction sulfatique).

- établir le diagnostic : mis à part les cas simples où le pré-diagnostic réalisé à l'issue de l'inspection visuelle suffit pour se forger une opinion sur la maladie affectant un ouvrage, et les cas compliqués où des recherches sont encore nécessaires pour identifier l'origine de la maladie (exemple de la délamination (feuilletage) de hourdis de pont en béton armé), dans tous les autres cas, des investigations bien menées doivent permettre l'obtention du bon diagnostic (fig.11) ;
- définir ou étayer des hypothèses de calcul : la détermination de caractéristiques mécaniques des matériaux constitue un cas courant ; si la résistance à la rupture, la limite d'élasticité ou le module sont des caractéristiques qui peuvent être évaluées sans trop de difficultés, il existe par contre d'autres caractéristiques comme l'adhérence entre une armature et du béton qui sont impossibles à obtenir.

3.2 Nature des investigations

Il n'existe pas de méthode générale d'auscultation applicable à tous les ouvrages d'art, ni même à une famille donnée d'entre eux. Les explications recherchées, donc les méthodes d'auscultation à utiliser, diffèrent suivant la nature des désordres constatés. Les investigations peuvent être de deux natures :

- appréciation de l'état ou des propriétés des matériaux en place, (matériaux constitutifs de l'ouvrage et/ou des terrains avoisinants),
- analyse du mode de fonctionnement réel de la structure ou d'un de ses éléments, à vide et/ou sous chargements.

Assez souvent, ces deux types d'analyse existent dans une même campagne d'investigations. Il peut en effet arriver qu'une défectuosité du matériau ait une incidence directe sur le fonctionnement de la structure (exemple de la corrosion des armatures qui entraîne une fissuration de la structure) ; inversement, le mauvais fonctionnement d'un ouvrage pour des raisons structurelles se manifeste par une détérioration, au moins partielle, de certains des matériaux constitutifs (cas du tassement à la naissance d'un pont en arc encastré à ses extrémités qui provoque un éclatement du béton par excès de compression).

Les deux natures d'investigations précédemment définies font appel à divers moyens d'auscultation dont une liste non exhaustive est présentée en annexe 2, et dont certaines descriptions figurent dans les références citées en annexe 4.

3.3 Moyens d'auscultation

Les moyens permettant d'apprécier l'état des matériaux comprennent :

- les études et analyses sur prélèvements,
- les techniques d'examen des matériaux en place, soit visuel, soit par des méthodes plus raffinées et plus puissantes (radiographie, auscultation sonore, auscultation électromagnétique, méthodes électrochimiques, etc.).

Le prélèvement d'un échantillon sur un ouvrage a l'inconvénient d'être partiellement destructif. Il est donc recommandé d'extraire des échantillons les plus petits possible, en nombre limité, et aux endroits les moins vitaux de la structure. Il en résulte un second inconvénient, à savoir que les renseignements obtenus ne peuvent être représentatifs de l'ensemble de l'ouvrage.

Le plus souvent, on utilise donc ces échantillons comme référence d'étalonnage, ou comme élément comparatif, afin de compléter les informations que l'on peut tirer d'essais non destructifs effectués sur l'ouvrage. À notre connaissance, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de méthode non destructive pouvant donner des résultats suffisamment sûrs sans aucun rattachement à un étalonnage sur le même matériau.

Les moyens permettant d'apprécier le fonctionnement de la structure sont variés, et il est souvent nécessaire de les associer dans une même auscultation.

On peut distinguer :

- les mesures d'ordre topométrique ou géométrique (évolution du nivellement ou mesure de déformation générale ou de déplacement sous chargement (se reporter au fascicule 04 de la deuxième partie de la présente instruction),
- les mesures directes de forces (fig. 12),
- les mesures locales de fonctionnement (mesure de déformation locale, extensométrie, fissurométrie, etc.) (fig. 13).

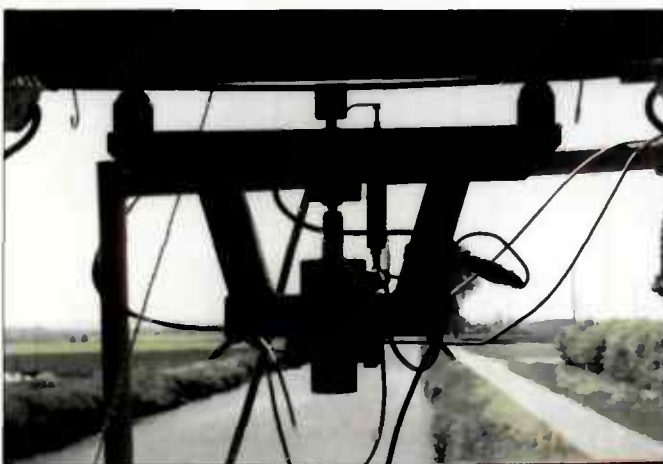


Fig. 12 : Mesure de la tension résiduelle de fils de précontrainte à l'aide de la méthode de l'arbalète.

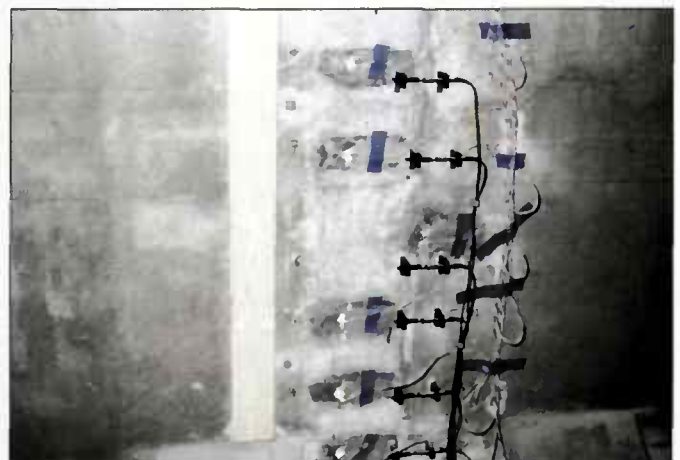


Fig. 13 : Équipement d'un joint entre voussoirs d'un pont-caisson en béton précontraint, à l'aide de couples Jauge/Capteur (jauge de mesure de déformation collée sur le béton et capteur de mesure de déplacement placé à cheval sur le joint).

L'utilisation de ces moyens techniques et l'interprétation des résultats nécessitent en général le recours à des spécialistes. Il est rappelé que l'intervention conjointe d'un agent spécialisé de laboratoire et d'un agent spécialisé de bureau d'études est très souhaitable dans la plupart des cas, le maître d'œuvre de la réparation, s'il est désigné, devant toujours y être associé ainsi que le gestionnaire.

3.4 Programme d'auscultation

L'auscultation d'un ouvrage d'art doit faire l'objet d'un programme qui en fixe les objectifs généraux, et qui précise la nature des investigations à effectuer. Le programme d'auscultation est établi par la CDOA (cellule départementale des ouvrages d'art) et arrêté par le RGR (responsable de la gestion de la route), après consultation et avis des spécialistes dont l'intervention est souhaitable, ou même, le cas échéant sur leur proposition. Ce programme est établi en concertation avec le maître d'œuvre de la réparation, et le chef de la subdivision est informé de son contenu.

Les méthodes d'auscultation sont parfois fort coûteuses, et l'une des difficultés de l'établissement d'un bon programme d'auscultation est de procéder à toutes les investigations nécessaires à la détermination des causes des désordres et de leurs mécanismes, ainsi qu'à l'établissement du projet de réparation, tout en évitant les essais et recherches inutiles ou qui ne permettraient pas de répondre aux questions que l'on se pose.

L'établissement du programme doit donc être précédé d'une phase de réflexion, et le programme peut être revu en cours d'exécution, si nécessaire, en fonction des premiers résultats obtenus et de l'interprétation qui peut en être faite.

Chapitre 4

Surveillance renforcée

Comme l'indique l'alinéa 2.4.1 du texte révisé de l'instruction technique, lorsque l'état d'un ouvrage le justifie, ou en cas d'incertitude sur l'existence de désordres, le directeur départemental de l'Équipement peut décider de le soumettre à une surveillance renforcée.

4.1 Objectifs 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, dans le cas le plus général, pour détecter une évolution anormale ou déceler toute aggravation susceptible de mettre en jeu la sécurité,
- soit, dans le cas où l'examen de la structure n'a pas permis d'expliquer les causes exactes des désordres ou lorsque 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,
- 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.

Parfois, la surveillance renforcée peut aussi avoir pour objectif de suivre plus attentivement l'évolution d'un ouvrage en état normal ou quasi normal :

- soit parce que l'ouvrage présente un caractère exceptionnel nécessitant une surveillance météorologique pour faciliter sa gestion,
- soit parce que l'ouvrage présente un caractère innovant qui requiert un suivi attentif pour pouvoir valider l'innovation.

La nature de ces objectifs implique qu'un régime de surveillance renforcée ne peut être appliquée pendant une durée trop courte ; sauf exception, un délai de l'ordre d'un an constitue un minimum (un an représente effectivement la durée minimale pour pouvoir se corriger des variations saisonnières des paramètres mesurés sur l'ouvrage, variations dues à l'influence des conditions thermo-hygrométriques).

La décision de mise sous surveillance renforcée d'un ouvrage peut intervenir à l'issue d'un contrôle annuel, d'une visite d'évaluation ou d'une inspection détaillée. La surveillance renforcée se distingue des actions de surveillance organisée et des actions particulières de surveillance telles que définies dans le fascicule 02, par le fait qu'elle impose un suivi plus intense de l'ouvrage pendant une durée minimale.

Elle se distingue aussi de la haute surveillance par le fait que la sécurité présentée par la structure ne doit pas être mise en cause pendant toute la durée de cette opération, et que des consignes ne sont pas indispensables.

4.2 Consistance

La surveillance renforcée d'un ouvrage dans un état défectueux ou douteux peut être effectuée par des examens réguliers et parfois fréquents de celui-ci, accompagnés ou non par une instrumentation permettant un suivi de l'évolution des désordres grâce à des relevés périodiques de mesures.

4.2.1 Examens réguliers et fréquents

La forme la plus simple de surveillance renforcée est constituée par des examens visuels périodiques qui peuvent porter sur tout ou partie de l'ouvrage. Ces examens sont effectués avec une fréquence plus élevée que les actions de surveillance organisée du type visites ou inspections. Cette fréquence est en général de plusieurs fois par an, et peut être semestrielle, trimestrielle, mensuelle, hebdomadaire, voire quotidienne dans quelques rares cas.

Ces examens peuvent être accompagnés par l'utilisation de moyens de mesure simples à mettre en œuvre. C'est par exemple le cas du relevé de fissures dont l'ouverture est mesurée à l'aide d'un fissuromètre (plaque de plastique transparente sur laquelle sont gravés des traits de largeur différente et que l'on vient appliquer sur le parement de l'ouvrage en faisant correspondre la largeur de la fissure avec la bonne largeur de trait (fig. 14).

4.2.2 Suivi à l'aide d'une instrumentation

Lorsqu'il s'agit de vérifier l'existence de désordres ou d'en déterminer les mécanismes (exemple 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



Fig. 14 : Fissuromètre placé sur une fissure.



Fig. 15 : Suivi de l'ouverture d'un joint à l'aide d'un capteur de mesure de déplacement.

suivi de l'ouverture de fissures dans les ponts en béton précontraint), ou lorsque l'ouvrage est d'accès difficile, alors il est nécessaire de faire appel à de l'instrumentation (fig. 15).

Les mesures les plus couramment pratiquées sont d'ordre fissurométrique, topométrique ou géométrique ; 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.

D'autres types de mesures peuvent être effectuées, dont certaines nécessitent l'utilisation de techniques spécialisées identiques à celles utilisées dans le cadre de l'auscultation ; c'est le cas du suivi de la corrosion d'aciers de béton armé, de la détection de ruptures de fils par émission acoustique, du suivi de la propagation de fissures dans des pièces 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.

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 ou saisonnières).

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.

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 recalibrer 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).

4.3 Programme et organisation de la surveillance renforcée

La décision de placer un ouvrage sous surveillance renforcée est prise par le directeur départemental de l'Équipement, après proposition du RGR qui est responsable de son exécution.

Lorsque la surveillance renforcée ne comporte que des examens visuels, le programme de surveillance se limite à la décision du directeur qui en fixe les objectifs particuliers et la fréquence. L'organisation de ces examens est de la responsabilité du RGR qui désigne un ou plusieurs agents spécialement affectés pour cette tâche. Ces agents peuvent être issus de la subdivision ou de la CDOA suivant la compétence nécessaire pour réaliser le suivi. L'interprétation des résultats est du ressort de la CDOA qui doit avertir le RGR en cas d'évolution défavorable du comportement de l'ouvrage.

Lorsque la surveillance renforcée comporte l'utilisation d'instruments de mesures, le programme de surveillance est établi par la CDOA après consultation et avis des spécialistes dont l'intervention est souhaitable. Il est ensuite arrêté par le directeur.

Ce programme définit :

- les objectifs particuliers,
- la consistance,
- les mesures à effectuer et leur périodicité,
- les responsables de la mise en place des différents instruments de mesures,
- les responsables des acquisitions des différents types de mesures,
- la circulation des informations (résultats de mesures, propositions, décisions, etc.),
- l'interprétation des résultats qui nécessitent souvent l'intervention des spécialistes de la mesure,
- la durée prévue.

Ce programme est inséré dans le sous-dossier 3 (Vie de l'ouvrage) du dossier d'ouvrage.

Le RGR est responsable de l'organisation et de la mise en œuvre du programme de surveillance. À cet effet, il désigne les responsables des différents types de mesure : agents de la subdivision lorsque l'exécution de la mesure est simple, agents de la CDOA ou agents d'organisme spécialisé pour les mesures plus complexes à réaliser.

À la fin du délai prévu pour la mise sous surveillance renforcée, une analyse de l'état de l'ouvrage doit être effectuée par la CDOA pour évaluer si les objectifs ont été atteints. Sur la base de cette analyse, le RGR propose au directeur départemental de l'Équipement de lever, de maintenir ou de modifier le régime de surveillance renforcée.

Chapitre 5

La haute surveillance

Comme l'indique l'alinéa 2.4.2 du texte révisé de l'instruction technique, lorsque des désordres constatés sur un ouvrage paraissent susceptibles de mettre en cause la sécurité ou la tenue de l'ouvrage, le directeur peut décider de le placer sous haute surveillance de manière à permettre, en cas de danger imminent, le déclenchement immédiat par les autorités compétentes des actions nécessaires pour assurer la sécurité.

5.1 Objectifs de la haute surveillance

La mise sous haute surveillance s'applique uniquement à un ouvrage en état défectueux. C'est une mesure d'exception 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 tous les cas pour garantir la sécurité physique des usagers et des tiers,
- dans certains cas, pour limiter les conséquences matérielles de la défaillance, voire pour l'empêcher de se produire.

Dans la pratique, la haute surveillance consiste à suivre l'évolution d'une ou plusieurs grandeurs physiques*, mesurables** de préférence (ou à défaut susceptibles d'être caractérisées qualitativement), et à provoquer, dès que ces grandeurs physiques atteignent un seuil (ou prennent une valeur qualitative) 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, 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.

* Une grandeur physique est une grandeur caractérisant l'état d'avancement d'une dégradation de matériau ou d'une évolution du comportement mécanique de la structure : la surtension d'un câble de précontrainte, l'ouverture d'un joint, le tassement d'une culée, l'inclinaison d'un mur, etc.

** Une grandeur mesurable est une grandeur directement accessible par les moyens de mesures : la déformation d'un fil de toron de précontrainte, le déplacement des bords d'un joint, le déplacement vertical d'une culée, l'angle de rotation d'un mur, etc.

5.2 Analyse préalable

Un dispositif de haute surveillance ne peut permettre de détecter l'apparition d'une défaillance que si celle-ci se produit par un mécanisme supposé connu, en fonction duquel le dispositif est défini. 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 :

- 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) ;
- étude des différents schémas de ruine possibles, et choix du (ou des) schéma(s) de ruine ayant la plus grande probabilité de se produire ; cette étude est souvent facilitée par l'analyse des mécanismes de formation et d'évolution des désordres déjà constatés. A 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 généralement inopérante, et l'ouvrage doit faire l'objet de mesures immédiates de sauvegarde telles que définies au chapitre 6 ;
- sélection des grandeurs physiques pouvant faire l'objet de mesures significatives (ou à défaut d'une description qualitative) et qui soient représentatives d'une évolution défavorable de l'ouvrage dans le cadre des chemins de ruine retenus. Le choix des paramètres surveillés est conditionné par la précision et la fiabilité des diverses techniques de mesures existant actuellement. Ces grandeurs mesurables (déplacements, rotations, déformations, pressions, etc.) sont généralement complétées par un relevé des grandeurs physiques extérieures ayant une influence sur le fonctionnement de la structure (température, hygrométrie, etc.), et parfois par une mesure des actions extérieures agissant sur l'ouvrage (mesure de trafic, niveau de la retenue d'eau, mesure du glissement d'un terrain, etc.). Enfin, 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 ;
- 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) ; une évaluation de la vitesse possible de déroulement de la défaillance à partir de l'instant où les seuils sont atteints doit être tentée, afin de définir, au moins par défaut, le délai minimal disponible pour appliquer les mesures de sécurité prévues en cas de défaillance ;
- 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.

Toute cette analyse préalable doit être effectuée par une équipe de spécialistes, réunissant notamment bureau d'études et laboratoire. Pendant cette phase d'analyse préalable, une surveillance renforcée spécifique doit être mise en place pour prévenir d'une défaillance éventuelle.

5.3 Système de haute surveillance

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 (fig. 16). 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

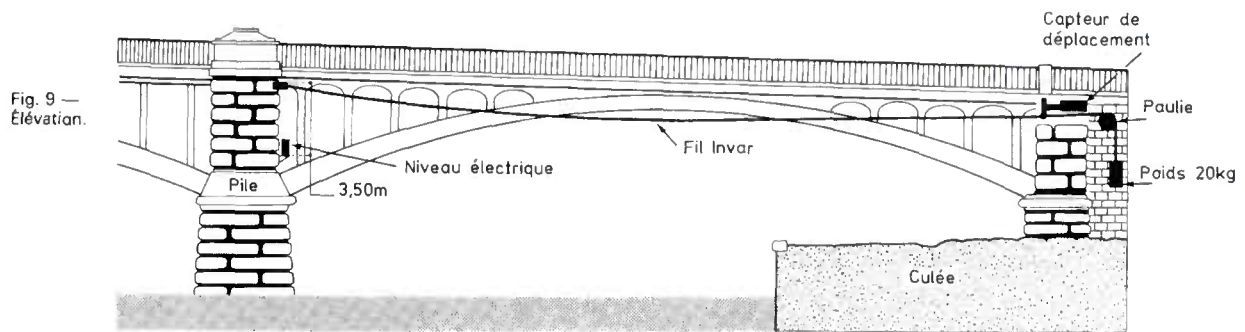


Fig. 16 : Instrumentation installée lors de la mise sous haute surveillance du pont de l'Île-Saint-Denis pour prévenir d'un basculement éventuel de la pile intermédiaire.

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'annexe 4 fournit des éléments d'information sur le recueil, le traitement et l'exploitation des données. 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. L'annexe 3 donne quelques indications pour la fixation de ce niveau.

5.4 Consignes de sécurité

Les mesures de sécurité à appliquer lorsqu'une alerte ou une alarme est déclenchée doivent faire l'objet de consignes écrites établies à l'avance. Ces consignes doivent définir, dans le plus grand détail, le déroulement des opérations, depuis le moment où il est constaté un dépassement de seuil jusqu'à l'achèvement de la mise en application des mesures de sécurité. Elles doivent être portées, dès la mise en place du dispositif, à la connaissance de tous les intervenants (agents de la DDE (Direction départementale de l'Équipement), police, gendarmerie, pompiers, préfecture, etc.). Elles définissent le rôle de chacun et doivent être appliquées strictement. Le subdivisionnaire veille à ce que ces consignes restent connues en permanence par les intéressés, et soient transmises en cas de changement de personnes.

Lorsque le délai disponible avant la défaillance est suffisant, les consignes peuvent prévoir une phase de réflexion et d'analyse des phénomènes constatés, au terme de laquelle un choix peut être fait entre plusieurs séries de consignes de sécurité ; si cette phase de réflexion ne permet pas de conclure dans le temps imparti, le choix doit se porter sur les mesures de sécurité adaptées à l'hypothèse la plus défavorable.

Dans la plupart des cas, il existe un dispositif automatique dont le déclenchement est assuré par les appareils de mesure mis en place sur l'ouvrage : deux niveaux peuvent être envisagés :

- ❶ 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.
- ❷ 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.

Dans ce dernier cas, ce dispositif ne doit être utilisé qu'avec la plus grande prudence. Il nécessite une fiabilité totale du système de surveillance, et il est illusoire d'escompter interrompre effectivement le trafic à l'aide d'un déclenchement automatique de feux rouges ou d'abaissement de barrières si des forces de police ou de gendarmerie ne sont pas en permanence sur place pour faire respecter ces signaux.

5.5 Programme et organisation de la haute surveillance

C'est le directeur qui prend la décision de placer un ouvrage sous haute surveillance, et qui en fixe les principaux objectifs. L'organisation et la mise en place de cette haute surveillance est de la responsabilité du RGR.

Le programme de mise sous haute surveillance est établi par la CDOA, en concertation avec le bureau d'études, le laboratoire chargé de la mise en place du système de surveillance et le subdivisionnaire. Il est ensuite soumis à l'accord du RGR, puis arrêté par le directeur.

L'IGOA (Inspecteur général d'ouvrages d'art) doit être informé du projet de mise sous haute surveillance d'un ouvrage, et au besoin, il peut provoquer la création d'un comité technique réunissant, par exemple, des représentants du SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes), du LCPC (Laboratoire central des Ponts et Chaussées), du CETE (Centre d'études techniques de l'Équipement) ou du CETU (Centre d'études des tunnels), afin d'apporter une assistance technique à la DDE.

Le programme de mise sous haute surveillance doit comporter les éléments suivants :

- l'analyse préalable telle que définie à l'alinéa 5.2,
- la description du système de surveillance (capteurs, acquisition, périphériques, etc.),
- les mesures à effectuer et leur périodicité,
- la circulation des informations (résultats de mesures, propositions, décisions, etc.),
- la fixation des seuils,
- la durée de la période d'apprentissage,
- les consignes (y compris celles relatives à la gestion du trafic).

5.6 Conditions particulières d'application

Les quatre conditions indispensables pour l'application d'une mise sous haute surveillance sont récapitulées ci-dessous :

- Si l'on n'est pas sûr que la défaillance de la structure ne puisse résulter que de l'un des modes de ruine envisagés, la haute surveillance ne peut pas être mise en place. Il est en effet

absolument inutile 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.

- S'il n'est pas possible pour un mécanisme donné de déterminer une grandeur physique mesurable dont l'évolution puisse traduire significativement le degré d'avancement de la dégradation de l'ouvrage, alors la haute surveillance ne peut être envisagée.
- Si les seuils susceptibles de caractériser l'occurrence d'une situation dangereuse ne peuvent être définies avec suffisamment de certitude, il convient de les fixer 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.
- Si la vitesse possible d'évolution de la dégradation est telle qu'aucune mesure de sécurité ne puisse être appliquée en temps voulu pour éviter des conséquences graves, alors la haute surveillance ne peut être mise en œuvre : elle ne peut généralement prévenir une rupture de type fragile.

Dans le cas où les conditions permettant d'exercer utilement une haute surveillance ne sont pas réunies, il convient de prendre, à titre préventif, les mesures nécessaires pour assurer la sécurité. Ces mesures sont décrites au chapitre 6.

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 6

Les mesures de sécurité immédiate et de sauvegarde

Les mesures de sécurité immédiate et de sauvegarde sont à prendre dès lors qu'une défaillance est à craindre à très court terme. Elles comprennent les restrictions d'utilisation de l'ouvrage, la protection des tiers, ainsi que les confortements provisoires et étaitements. Elles concernent les ouvrages en état défectueux.

Seules les restrictions d'utilisation et certaines mesures de protection des tiers peuvent être considérées comme des mesures de sécurité immédiate, car leur mise en application peut se faire très rapidement. Les confortements provisoires et étaitements sont considérés comme des mesures de sauvegarde ; ils ne peuvent être utilisés que lorsqu'il n'y a pas d'urgence immédiate, ou lorsqu'ils sont accompagnés de mesures d'application plus rapide, ces dernières pouvant être instaurées à titre provisoire jusqu'à ce que les confortements ou étaitements aient eu le temps d'être installés.

Pour les ouvrages des itinéraires importants, il est utile de préparer, même en l'absence de désordres, les consignes nécessaires à l'application des mesures de sécurité immédiate, afin que ces dernières puissent être prises le plus rapidement possible en cas de nécessité. Ces consignes doivent alors figurer dans le dossier de l'ouvrage (sous-dossier 2).

6.1 Restrictions d'utilisation

6.1.1 Restrictions de circulation

En principe, toute mesure de restriction de circulation doit faire l'objet d'un arrêté de la part de l'autorité compétente, et nécessite une phase d'instruction qui demande généralement un délai incompatible avec la prise de mesure de sécurité immédiate. C'est pourquoi, en cas de danger immédiat, des mesures de restriction peuvent être appliquées d'abord, et régularisées ensuite.

Il convient de souligner l'intérêt de préparer convenablement des mesures qui ne doivent ensuite être mises en application que si un événement particulier le justifie. Cette préparation comprend notamment toute la phase d'instruction jusqu'à la signature des arrêtés nécessaires, et la mise en place de la signalisation qui peut être masquée jusqu'à son application effective.

Les restrictions de circulation peuvent porter sur les points suivants :

- catégories d'usagers admis sur l'ouvrage,
- largeur offerte au trafic,
- espacement entre véhicules, ou le cas échéant entre poids lourds seulement,
- limitation de vitesse, éventuellement adaptée en fonction des catégories de véhicules.

Les restrictions sur les catégories d'usagers admis à utiliser l'ouvrage sont justifiées lorsque le risque est lié au poids des véhicules circulant sur la chaussée ; les seules restrictions dont il soit généralement possible d'obtenir l'application effective sont :

- l'interdiction de tout poids lourd par une limitation à 3,5 t,
- l'interdiction à tout véhicule automobile,
- la fermeture totale de l'ouvrage (y compris aux piétons) (fig. 17).

Cette dernière restriction est nécessaire dès lors que le risque encouru est celui d'un effondrement de l'ouvrage à vide.

D'une façon générale, les restrictions apportées à la circulation pour des raisons de sécurité doivent être appliquées rigoureusement (fig. 18). Pour cela, elles doivent être matérialisées par des obstacles qui empêchent physiquement les infractions. À titre d'exemple, le seul dispositif permettant de faire appliquer effectivement une interdiction de circulation des poids lourds consiste à placer, de part et d'autre de l'ouvrage des portiques robustes de limitation de gabarit (à titre indicatif, de largeur inférieure à 2,50 m, et de hauteur inférieure à 3 mètres). C'est la raison pour laquelle une limitation de poids supérieure à 3,5 t est généralement physiquement inapplicable.



Fig. 17 : Fermeture totale d'un ouvrage.

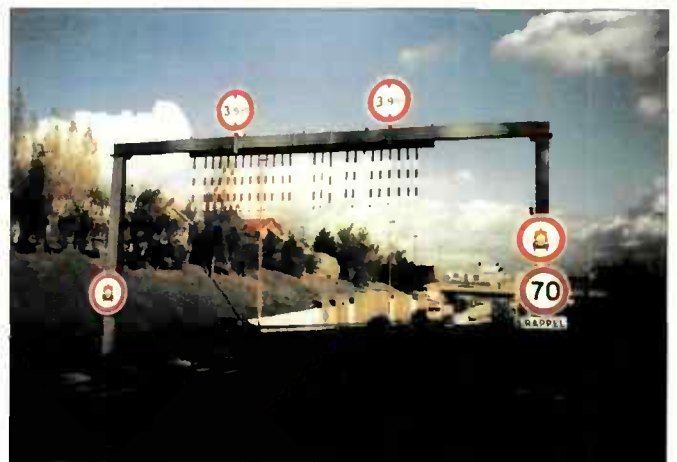


Fig. 18 : Dispositif destiné à limiter la circulation des poids lourds.

□ Une réduction de la largeur offerte au trafic.

Celle-ci se traduit le plus souvent par la réduction du nombre de voies, elle est justifiée par exemple, dans le cas où le risque est lié à la position transversale des véhicules (exemples : cas d'un pont en maçonnerie dont les tympans ont tendance à se séparer des voûtes, cas d'un mur de soutènement en mauvais état). Là encore, une réduction de la largeur utilisable doit être matérialisée par des obstacles latéraux, situés à la limite de la largeur autorisée sur toute la longueur faisant l'objet de cette restriction (fig. 19).



Fig. 19 : Dispositif accompagnant une réduction de la largeur utilisable.

□ La limitation de la vitesse des véhicules lourds.

C'est un moyen peu efficace pour diminuer de façon significative les effets dynamiques, sauf dans le cas où il existe des irrégularités de chaussée sur l'ouvrage ou une irrégularité de profil en long située juste avant l'ouvrage.

□ La réglementation de l'espacement entre véhicules, le plus souvent les poids lourds.

cette dernière a pour objectif de n'admettre qu'un véhicule à la fois sur une même travée.

La limitation de vitesse et la réglementation de l'espacement entre poids lourds sont des mesures difficiles à faire respecter sans l'appui des forces de police. Si quelques infractions à ces deux mesures sont de nature à entraîner des conséquences graves sur l'ouvrage, il est nettement préférable de se tourner vers les deux premiers types de restrictions citées précédemment.

6.1.2 Restrictions pour les occupants du domaine public

Le subdivisionnaire doit informer les occupants du domaine public des risques présentés par l'ouvrage et des conséquences potentielles d'une défaillance de l'ouvrage sur les réseaux que ces occupants gèrent, afin que ces derniers puissent prendre les mesures de sécurité adéquates (par exemple, mise en place de réseaux de secours pour la fourniture d'eau, dérivations par un réseau existant pour l'électricité et le téléphone, sectionnement d'un réseau pour le gaz, etc.).

6.2 Protection des tiers

Lorsque la défaillance éventuelle de l'ouvrage est susceptible de provoquer des accidents dans sa zone d'influence, le subdivisionnaire doit informer les tiers de la situation afin que ces derniers puissent prendre les mesures adéquates pour se protéger.

Ces mesures comprennent notamment :

- des restrictions d'utilisation des voies de communication franchies par l'ouvrage (routes, voies ferrées, canaux, etc.),
- évacuation le cas échéant des zones habitées menacées par un effondrement de l'ouvrage,
- études de déviation pour des services d'urgence implantés à proximité de l'ouvrage (pompiers, hôpitaux, police, gendarmerie, etc.) : ces informations devraient pouvoir être trouvées dans le dossier d'ouvrage.

6.3 Confortements provisoires et étaitements

Les confortements provisoires et les étaitements (mise en place de cintres sous une voûte, mise en place de butons pour des murs de soutènement, pose de poteaux sous les extrémités de poutres, etc.) peuvent être employés :

- soit pour éviter une défaillance ou une rupture de l'ouvrage,
- soit dans des cas extrêmes, pour en limiter les conséquences (fig. 20).

*Fig. 20 :
Étaie
provisoire
d'une voûte
en maçonnerie
pour éviter
son effondrement.*



De telles mesures ne doivent être prises qu'après une étude préalable, aussi approfondie que possible, et dont le délai soit compatible avec le degré d'urgence : cette étude porte sur :

- le fonctionnement du confortement envisagé,
- les effets, éventuellement néfastes, que le confortement peut avoir sur l'ouvrage.

En particulier, un étaie mal positionné peut engendrer, du fait de l'application de réactions non prévues, des dégâts importants, même dans des parties saines de l'ouvrage.

Parfois, un étaie peut être strictement passif en étant constitué d'appuis provisoires, sur lesquels la structure ne porte pas en fonctionnement courant (un jeu correspondant aux flèches

normales doit être prévu), et sur lesquels elle viendrait reposer en cas de rupture. Une telle solution, qui évite que la rupture n'entraîne des accidents, implique cependant une mise hors service immédiate de l'ouvrage si une rupture vient à se produire (fig. 21).



*Fig. 21
Étatement passif
pour prévenir la
chute de quelques
poutrelles
précontraintes
par armatures
adhérentes
fissurées à l'une de
leurs extrémités.*

6.4 Organisation

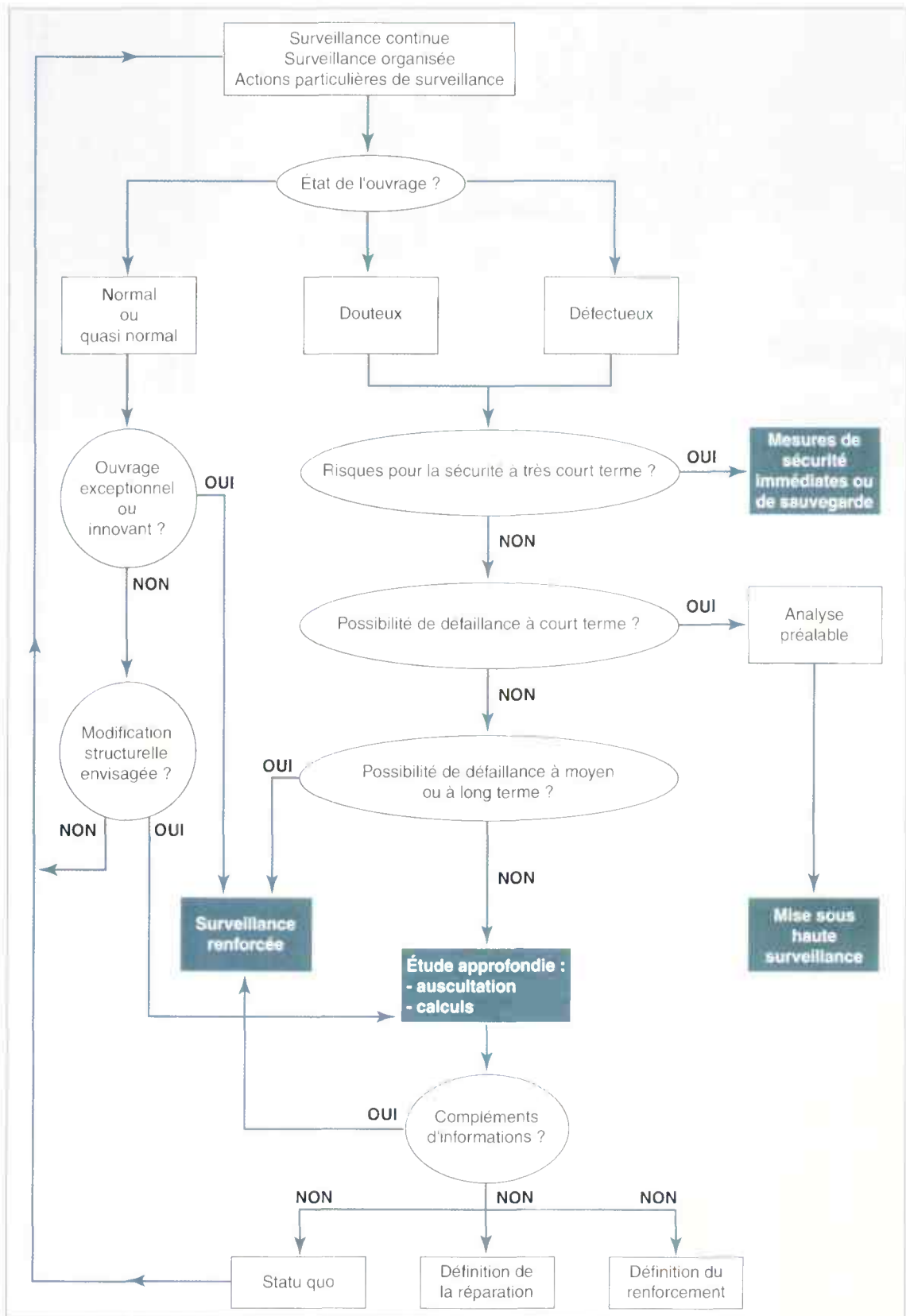
Les mesures de sécurité immédiate sont prises ou proposées au directeur par le RGR, en liaison avec le chef de subdivision et le chef de la CDOA. Dans les cas d'extrême urgence, le chef de subdivision peut mettre en application les mesures nécessaires, puis en rendre compte au RGR. La subdivision et la CDES (Cellule départementale d'exploitation et de sécurité) sont chargées, chacune en ce qui les concerne, de mettre en œuvre les restrictions de circulation, de contacter les forces de police ou de gendarmerie, et d'avertir les tiers concernés.

Les mesures de sauvegarde de l'ouvrage sont prises ou proposées au directeur par le RGR. La CDOA étudie ou fait étudier le projet de confortement provisoire et le propose au RGR. Les travaux de confortement sont réalisés par la subdivision ou par une entreprise, sous le contrôle de la CDOA.

Dans ces deux cas, l'IGOA est tenu informé des mesures prises.

Annexe 1

Schéma d'aide au processus décisionnel



N.B. Ce schéma doit être considéré comme une aide au processus de décision, et ne concerne que la première étape de ce processus. C'est ainsi qu'une surveillance renforcée ou une mise sous haute surveillance peuvent faire l'objet en parallèle d'une étude approfondie, et que des mesures de sécurité immédiates ou de sauvegarde peuvent être suivies par une étude approfondie.

Annexe 2

Principales méthodes d'auscultation

1. Auscultation du matériau

1.1 Études sur prélèvements

Examens pétrographiques

Examens métallographiques

Essais mécaniques

- compression, traction, cisaillement,
- dureté,
- résistance à la fissuration, au choc.

Essais physiques

densité, porosité, perméabilité à l'eau ou au gaz.

Essais chimiques

- analyses chimiques élémentaires,
- diffractométrie des rayons X,
- analyses thermique différentielle et thermogravimétrie,
- spectrométrie infrarouge,
- observation au Microscope électronique à balayage.

1.2 Examen du matériau en place

Auscultation des bétons

- le seléromètre,
- l'auscultation sonore (ou dynamique), la tomographie sismique.

Diagnostic de l'état du béton armé

- détection de la corrosion des aciers (mesure du potentiel d'électrode),
- contrôle de la profondeur de carbonatation,
- contrôle de la teneur en chlorures,
- mesure de la perméabilité de surface,
- localisation des armatures (profomètre, ferroskan, etc.).

Auscultation des structures en acier

- contrôle des soudures (ressuage, magnétoscopie, ultra-sons, radiographie),
- mesures des épaisseurs de tôle,
- détermination des pertes de section par corrosion.

Auscultation électromagnétique des câbles de ponts suspendus

Surveillance acoustique

Gammagraphie, radiographie et radioscopie

Thermographie infrarouge

Auscultation par méthodes Radar

2. Auscultation de la structure

2.1 Mesure des déformations générales et des mouvements

- suivi topométrique,
- mesure de la déformation sous chargement (flèche),
- mesure de distance (distancemètre à fil d'Invar ou à infrarouge).

2.2 Mesures de force sur ouvrages

- pesée de réactions d'appuis,
- mesures de forces de précontraintes (par pesage ou à l'aide de pesons),
- mesure de la tension des câbles par méthode vibratoire,
- mesure de la tension de fils ou de torons de précontrainte avec l'arbalète.

2.3 Mesures locales de fonctionnement

Mesures de déplacement

fissuromètre, comparateur mécanique, capteur électrique.

Mesures de rotation

nivelle, pendule, inclinomètre.

Mesures de vibration et d'accélération

sismomètres, accéléromètres.

Mesures de déformations

- jauges de déformations à fil résistant,
- extensomètres mécaniques,
- témoins sonores (ou cordes vibrantes).

Mesures de contrainte (par la méthode de libération)

Mesures de température

sonde au platine, thermocouple.

Mesures de teneur en eau et d'humidité

Annexe 3

Systemes de haute surveillance

Gestion de l'information et niveau de fiabilité

A. 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.

A.1 Recueil de l'information

Il comprend essentiellement une phase : l'acquisition qui consiste à interroger les appareils de mesure et à convertir leur réponse 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'engorgement 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.

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.

Elle peut, si nécessaire, être modifiée en fonction de l'amélioration de la connaissance de l'état réel de l'ouvrage et de son évolution. Elle est aussi très variable suivant le cas traité et peut aller d'un relevé toutes les cinq minutes jusqu'à des relevés hebdomadaires.

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.

A.2 Traitement de l'information

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...), par comparaison d'appareils entre eux, ou par comparaison avec des valeurs fournies par des capteurs témoins (détection de dérive dans le temps...) ;
- 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.

A.3 Exploitation de l'information

L'exploitation de l'information 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.

B. Niveau de fiabilité du système de surveillance

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 selon 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 para-foudre), 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. Certains 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.

Enfin, la mise en œuvre d'un système de haute surveillance nécessite l'installation d'une ligne de courant électrique jusqu'à l'ouvrage, ainsi qu'une liaison téléphonique. Il est aussi conseillé de fixer sur l'ouvrage ou à proximité une armoire (chauffée l'hiver) pour abriter les matériels électroniques et informatiques.

Annexe 4

Bibliographie

Cette bibliographie fournit, dans une première partie, une liste non exhaustive d'articles décrivant l'application de certaines méthodes d'auscultation présentées en annexe 3 et donne, dans une seconde partie, quelques références relatives à la surveillance des ouvrages.

Première partie

CHATELAIN J. (1969), L'extensométrie par jauges à fil résistant, *Supplément au Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **39**, août, 111 pages.

PROST J. (1974), L'auscultation dynamique des structures. Son application à la pathologie des ouvrages d'art, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **72**, juil.-août, pp. 145-154.

CARRACILLI J. (1974), Auscultation dynamique des pieux par transparence, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **72**, juil.-août, pp. 119-124.

CAUSSIGNAC J.-M. (1975), Le flexigraphe laser. Nouvel appareil de mesure des flèches d'ouvrages d'art, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **75**, janv.-fevr., pp. 20-25.

FRITSCH D. (1975), Auscultation des pieux et des parois moulées en béton, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **78**, juil.-août, pp. 65-70.

AMBROSINO R., BRUNEAU J., CAUSSIGNAC J.-M. (1977), Essais réalisés pendant la construction d'un grand pont à haubans, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **87**, janv.-févr., pp. 79-84.

DELOYE F.-X. (1977), Analyse minéralogique des bétons durcis, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **89**, mai-juin, pp. 25-32.

CHATELAIN J. (1978), La pesée des réactions d'appui, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **97**, sept.-oct., pp. 170-178.

CHATELAIN J., BRUNEAU J., DUCHENE J.-L. (1981), *Estimation par des essais de chargement du défaut de résistance à la flexion de certains tabliers en béton précontraint*, Colloque international sur la gestion des ouvrages d'art, Paris-Bruxelles, 13-17 avr., Ed. ENPC.

LAFUENTE R. (1983), Mesure de la tension dans les câbles. Application au réglage des ponts suspendus, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **125**, mai-juin, pp. 31-36.

BREVET P. (1983), Application et interprétation des mesures de potentiel d'électrode des aciers enrobés de béton, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **125**, mai-juin, pp. 125-128.

CHABERT A., AMBROSINO R. (1983), Pesées des réactions d'appui, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **128**, nov.-déc., pp. 23-30.

GRIMALDI G. et al. (1984), Visualisation des fissures des bétons par la méthode du ressuage, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **129**, janv.-févr., pp. 51-55.

ABDUNUR C. (1985), Mesure de contraintes sur ouvrage d'art par une méthode de libération miniaturisée, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **138**, juil.-août, pp. 5-14.

DUFAY J.-C., PICCARDI J. (1985), Scorpion, premier système de radioscopie télévisée haute énergie pour le contrôle non destructif des ouvrages d'art en béton précontraint, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **139**, sept.-oct. pp. 77-84.

GOURMELON J.-P., ROBERT J.-L. (1985), Méthodologie d'auscultation et de surveillance des câbles de pont suspendus, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **139**, sept.-oct., pp. 85-92.

R. LALOUX, J.-L. ROBERT (1985), Les techniques d'émission acoustique appliquées aux ouvrages de génie civil, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **139**, sept.-oct., pp. 93-98.

JOUANNEAU J.-C. (1986), Auscultation des parties immergées d'ouvrages d'art par sonar latéral, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **141**, janv.-févr., pp. 5-12.

BERISSI R., BONNET G., GRIMALDI G. (1986), Mesure de la porosité ouverte des bétons hydrauliques, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **142**, mars-avr., pp. 59-67.

PERSY J.-P., DELOYE F.-X. (1986), Investigations sur un ouvrage en béton incendié, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **145**, sept.-oct., pp. 108-114.

JACOB B., CARRACILLI J., GODART B., TROUILLET P. (1987), Étude en fatigue d'un pont en béton précontraint sous actions combinées du trafic et des gradients thermiques, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **152**, nov.-déc., pp. 37-48.

PERSY J.-P., RAHARINAIVO A. (1987), Étude de la rupture par temps froid d'éléments en acier provenant d'un pont suspendu, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **152**, nov.-déc., pp. 49-54.

FUCHS J., LESCASSE G. (1988), Méthodologie de contrôle des buses métalliques - Contrôles géométriques, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **154**, mars-avr., pp. 45-50.

BEHR M., TROUILLET P. (1988), Ouvrage d'art. Actions et sollicitations thermiques, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **155**, mai-juin, pp. 57-72.

ABDUNUR C., DUCHENE J.-L. (1988). *Mesures de rotations pour le schéma statique d'un ouvrage fissuré*, Conférence internationale du GAMAC : Mesures et essais en génie civil, Lyon, 13-16 sept., **vol II**, pp. 283-291.

CHATELAIN J., GODART B. (1989), Évaluation de l'état mécanique réel de ponts en béton précontraint, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **159**, janv.-févr., pp. 111-115.

ROBERT J.-L. et al. (1990), Surveillance acoustique des câbles, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **169**, sept-oct., pp. 71-78.

GUINEZ R. (1991), Contrôle non destructif des ouvrages d'art par gammagraphie, radiographie et radioscopie, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **171**, janv.-févr., pp. 83-93.

ROBERT J.-L. et al. (1991), Mesure de la tension des câbles par méthode vibratoire, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **173**, mai-juin, pp. 109-114.

COTE Ph. et al. (1992), Mise en œuvre d'auscultations tomographiques sur ouvrages d'art, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **178**, mars-avr., pp. 47-54.

GUÉDON J.-S., MARTINEAU F., LE ROUX A. (1992), Visualisation des produits de l'alcali-réaction par fluorescence. Extension de la méthode au diagnostic sur ouvrage, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **179**, mai-juin, pp. 21-30.

GODART B. (1993), Progression dans les connaissances sur les phénomènes d'alcali-réaction. Évaluation et surveillance des ouvrages, *Annales de l'ITBTP*, **517**, oct., pp. 134-162.

BIGOT G. (1995), Auscultation des éléments de fondations profondes, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **196**, mars-avr., pp. 100-105.

Seconde partie

BOIS C. (1981), *Surveillance et réparation des ponts routiers en France. La doctrine technique actuelle*, Colloque international sur la gestion des ouvrages d'art, Paris-Bruxelles, Ed. ENPC, 13-17 avril.

DUCHENE J.-L., CHRETIEN C. (1986), Mise sous haute surveillance de trois ouvrages d'art, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **146**, nov.-déc., pp. 45-56.

Surveillance des pentes instables, Guide technique, Techniques et méthodes des LPC, oct. 1994, 125 pages.

Télesurveillance des ouvrages d'art et des sites, *Projet national ITELOS*, Éditions KIRK, 1994, 442 pages.

Télesurveillance des ouvrages d'art, Guide technique, Techniques et méthodes des LPC (à paraître).

Annexe 5

Liste des sigles utilisés

- CDOA** : Cellule départementale des ouvrages d'art
- CDES** : Cellule départementale d'exploitation et de sécurité
- CETE** : Centre d'études techniques de l'Équipement
- CETU** : Centre d'études des tunnels
- DDE** : Direction départementale de l'Équipement
- IGOA** : Inspecteur général des ouvrages d'art
- IQA** : Image de la qualité des ouvrages d'art
- LCPC** : Laboratoire central des Ponts et Chaussées
- RGR** : Responsable de la gestion de la route
- SETRA** : Service d'études techniques des routes et autoroutes
- VIPP** : Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes

Crédits photographiques

Figures 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 21 :

LCPC

Figure 3 :

DDE du Finistère

Figure 9 :

LRPC de Lyon

Figure 12 :

LRPC de Lille

Figure 18 :

DREIF

Figure 19 :

COFIROUTE

Figure 20 :

LRPC d'Aix-en-Provence

Page laissée blanche intentionnellement

Document publié par le LCPC
sous le numéro 502 711

Conception et réalisation
LCPC-IST, Ruth Amar

Dessins
LCPC-IST, Philippe Caquelard

Flashage et impression
Graphoffset

Dépôt légal
4e trimestre 1998

ISBN
2-7208-7110-9

Laboratoire central des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre
F-75732 Paris Cedex 15
Téléphone : 33 (0) 1 40 43 52 26
Télécopie : 33 (0) 1 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>