

Instruction technique

Surveillance et entretien des ouvrages d'art

2^e partie – Fascicule 34-2 – Ponts à haubans



Page laissée blanche intentionnellement

Instruction technique

Surveillance et entretien des ouvrages d'art

2^e partie – Fascicule 34-2 – Ponts à haubans



collection les outils



Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Avant-propos	4
Chapitre 1 - Champ d'application	7
Chapitre 2 - Généralités	11
1 - Particularité du parc des ponts à haubans	12
2 - Description générale des ponts à haubans	15
Chapitre 3 - Notion sur les causes et la nature des désordres	23
1 - Préambule	24
2 - Pylônes	24
3 - Tabliers	24
4 - Haubans	25
5 - Ancrages	29
6 - Selles de déviation	29
7 - Systèmes anti-vibrations	29
8 - Appareils d'appui	30
9 - Autres organes	30
Chapitre 4 - Surveillance	31
1 - Préambule	32
2 - Particularités de la surveillance	32
3 - Guide de surveillance et d'entretien	33
4 - La surveillance continue	35
5 - La surveillance organisée	35
6 - Actions particulières de surveillance	36
Chapitre 5 - Entretien et réparation	39
1 - Entretien courant	40
2 - Entretien spécialisé	40
3 - Réparations	41
Bibliographie	42

Avant-propos

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 révisée. La liste de ces fascicules est la suivante :

- ↳ Fasc. 01. Dossier 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. Equipements 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

Ce document annule et remplace l'ancienne version de 1986. Il a été rédigé par un groupe de travail comportant des membres appartenant aux services du Réseau scientifique et technique du MEEDDAT ainsi que des Services techniques départementaux.

Son contenu a été validé par le comité de pilotage de l'Instruction technique sur la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art. Il a fait l'objet d'une enquête de validation auprès de représentants du RST, des Services navigation et de la maîtrise d'œuvre de l'Etat et des collectivités territoriales. Il est édité par le Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra) en collaboration avec le Laboratoire central des ponts chaussées (LCPC).

Composition du groupe de travail :

Animateur :	Renaud LECONTE	CETE de Lyon
	François PAWLAK	Conseil général de la Drôme
	Jean-Claude HAHN	MISOA
	Fernand BIBOUD	DDE 73

Composition du comité de pilotage de l'ITSEOA :

Président :	Evelyne HUMBERT	CGPC/S3
Rapporteur :	Gilles LACOSTE	Sétra - CTOA/Division de la méthodologie
Membres :		
	Jean-Claude BASTET	CETE Méditerranée - SOA
	Jean-François DOUROUX	RATP - Contrôle du patrimoine
	Bruno GODART	LCPC - SPOA
	Jean-Michel LACOMBE	Sétra - CTOA/Division des grands ouvrages
	Manuel LE MOINE	RFF - Pôle infrastructure
	Bernard PLU	SNCF - Direction de l'ingénierie
	Vincent ROBERT	CETU - Matériaux, structures et vie de l'ouvrage
	Michael TORIEL	Direction générale des routes

Remerciements pour leur contribution :

Yves Bourg	Conseil général de la Loire
Yves Mathieu	Conseil général de la Savoie
Pascal Rossigny	DIR Nord - SIR Est
Joel Sieller	DIR Ouest
Michel Pelca	Chambre de commerce et d'industrie du Havre
Yves Jolivel	Département de la Seine-Maritime
Jean-Claude Hippolyte	Sétra - CTOA/Division de la méthodologie
Yvon Meuric	Sétra - CTOA/Division de la méthodologie
Daniel Lefaucheur	Sétra - CTOA/Division des grands ouvrages
Philippe Vion	Sétra - CTOA/Division des grands ouvrages

Nota : MM Jean Claude HAHN et Fernand BIBOUD sont maintenant retraités

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 1

Champ d'application



Page laissée blanche intentionnellement

Le fascicule 34 est constitué de deux sous-fascicules. La première partie traite des ponts suspendus tandis que la deuxième concerne les ponts à haubans.

Les dispositions du présent sous-fascicule sont donc applicables aux ouvrages dont la fonction porteuse est assurée principalement par des câbles inclinés de tracé quasi rectiligne appelés haubans.

Dans ce sous-fascicule, seules sont traitées les dispositions correspondant à des organes spécifiques ou au mode de fonctionnement particulier de ces ouvrages. Elles sont à compléter pour les autres parties d'ouvrages par celles définies dans d'autres fascicules de l'Instruction Technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (fondations, appuis, ponts métalliques, ponts béton...).

Le parc des ponts à haubans se singularise par son hétérogénéité. Le présent document ne peut donc fournir que des indications générales sur la surveillance et l'entretien de ce type de pont ; les indications données sont donc à décliner au cas par cas pour chaque ouvrage, notamment dans un guide de surveillance et d'entretien (ou par un document similaire) qui doit être établi et qui précise les modalités à appliquer en fonction des caractéristiques de l'ouvrage et du site.

Les ouvrages haubanés se caractérisent aussi par la spécificité de la technologie employée et la complexité de leur fonctionnement. Dès l'apparition de désordres ou d'anomalies, la consultation de spécialistes ou d'experts est nécessaire.

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 2

Généralités



1 - Particularité du parc des ponts à haubans

1.1 - Historique des ponts à haubans

Les premiers ponts à haubans connus datent du début du 19ème siècle. Le pont de Dryburgh Abbey sur la Tweed en Ecosse a été construit en 1817 et le pont sur la Saale en Allemagne en 1824. Ces deux ponts se sont effondrés peu de temps après leur construction, car ils étaient notablement sous-dimensionnés sous les effets du vent ou des cas de charges dissymétriques.

Après ces deux accidents, les ponts à haubans ont été mis à l'écart pendant près d'un siècle. Toutefois, durant cette période, quelques ponts ont été conçus avec des câblages mixtes comportant des haubans au voisinage des pylônes et de grands câbles paraboliques portant le tablier au milieu de la travée suspendue. Le pont de Brooklyn à New-York, construit en 1883, est conçu selon ce principe.

Au début du 20ème siècle, Albert Gisclard imagina une conception d'ouvrage mêlant haubans et suspentes, de telle sorte que le tablier ne soit pas comprimé. Huit ponts de ce type ont été construits en France entre 1909 et 1925 dont le pont de Lézardrieux qui peut être considéré comme le premier pont à haubans français. A partir de 1926, le béton a été utilisé pour la réalisation du tablier ; le premier pont à haubans en béton est l'aqueduc de Tempul à Guadalete (Espagne).

En France, le premier pont à haubans à tablier béton est le pont de Donzère-Mondragon conçu par Albert Caquot en 1952. Le véritable essor des ponts à haubans remonte aux années 1950 suite aux efforts de reconstruction d'après guerre, notamment en Allemagne avec la construction de nombreux ouvrages métalliques jusque dans les années 1970. Vers le milieu des années 1970, les ponts haubanés à tablier en béton réapparaissent, notamment avec le pont de Brotonne en 1977 (Figure 1). Ils sont suivis par des tabliers mixtes au début des années 1980.



Figure 1 : pont de Brotonne sur la Seine



Figure 2 : pont de Normandie

Le record de portée des ponts à haubans n'a progressé que faiblement dans les années 1980 (aux alentours de 300 mètres pour les tabliers en béton et de 450 mètres pour les tabliers métalliques) pour connaître une évolution considérable depuis les années 1990 avec, en 1993, le pont de Yang Pu en Chine comportant une travée de 602 mètres puis le pont de Normandie en 1994 avec 856 mètres (Figure 2) et enfin le pont de Tatara au Japon avec 890 mètres achevé en 1999.

Le plus grand pont à haubans du monde est actuellement le pont de Sutong qui franchit le fleuve Yangtsé entre Suzhou et Nantong. Cet ouvrage d'une longueur totale de 32 kilomètres dont 8 kilomètres au-dessus du Yangtsé possède trois voies de circulation dans chaque sens. Sa travée principale mesure 1088 mètres de longueur, les pylônes en acier et béton, les plus hauts du monde, s'élèvent à 300 mètres.

Les ponts à haubans sont généralement choisis pour leur grande portée et leur élancement réduit. Ils permettent donc de limiter le nombre d'appuis en rivière ou de dégager des hauteurs libres importantes. Cependant, ils sont parfois construits pour de simples considérations architecturales et environnementales. Ce dernier critère conduit à des ouvrages de dimensions très variables. Actuellement en France, on trouve des ouvrages dont la longueur de la travée principale varie de 30 mètres à plus de 850 mètres, pour des longueurs totales allant de moins de 50 mètres jusqu'à plus de 2400 mètres (Figure 3 à Figure 5). Le nombre de travées haubanées est compris entre un pour les ponts les plus courts et jusqu'à huit (cas du viaduc de Millau) pour une largeur de tablier variant de 3,50 mètres à 26 mètres.



Figure 3 : pont de Seyssel dans l'Ain



Figure 4 : pont Masséna à Paris



Figure 5 : passerelle de Rouen

1.2 - Mode de fonctionnement

La structure d'un pont à haubans est constituée d'un tablier en acier, en béton ou mixte et d'organes porteurs : pylônes en acier ou en béton, travaillant principalement en compression, et câbles inclinés, appelés haubans et travaillant à la traction. Les composantes horizontales de la tension des câbles sont reprises par compression du tablier et leurs composantes verticales en assurent la suspension (Figure 6).

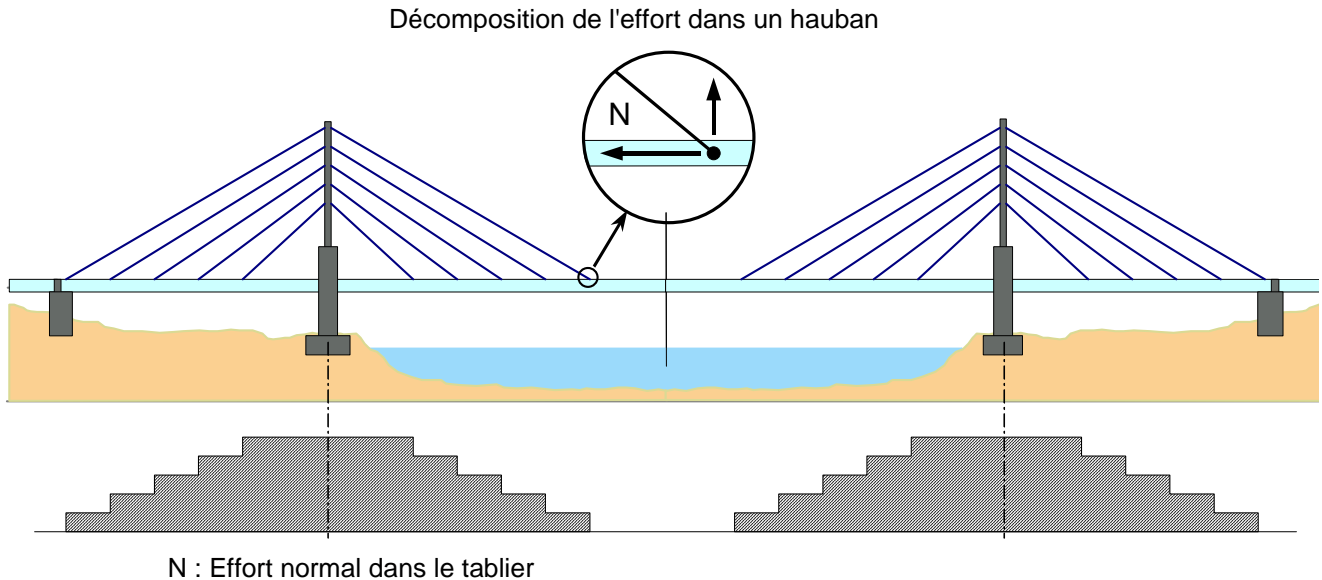


Figure 6 : mode de fonctionnement d'un pont à haubans

Globalement, il existe trois grands types de ponts à haubans :

- les ponts haubanés symétriques comportant deux pylônes (pont de Normandie),
- les ponts dissymétriques avec un seul pylône (pont de Gilly sur l'Isère ou pont de Seyssel),
- les ponts multi-haubanés comportant trois pylônes ou plus (viaduc de Millau).

La résultante verticale de la tension dans les haubans génère une compression dans les pylônes principalement sous l'effet du poids propre du tablier. Les sollicitations dans l'ouvrage à vide résultent donc de l'équilibre des efforts conditionnés par la répartition des appuis, les moments de flexion dans les travées haubanées restant faibles. Les sollicitations amenées par les charges roulantes dans le tablier et les haubans diffèrent selon leurs rigidités relatives.

L'équilibre des pylônes est assuré par le haubanage de la travée adjacente (ouvrage symétrique ou dissymétrique), éventuellement complété ou remplacé par des haubans de retenue reliés à un contrepoids ou ancrés au droit d'appuis (pilettes) sur lesquels le tablier est cloué. Des efforts de soulèvement d'appuis peuvent néanmoins exister pour certaines dispositions. Dans le cas d'ouvrages multi-haubanés, l'équilibre des pylônes est assuré par leur rigidité propre.

Le fonctionnement d'un pont à haubans dépend aussi :

- de la souplesse du tablier. A titre indicatif, selon l'épaisseur h du tablier et la longueur L de la travée déterminante, on peut considérer que pour un rapport $h/L < 1/200$ le tablier est souple et travaille peu en flexion ; à l'opposé, si ce rapport est de l'ordre de $1/50$, le tablier est raide et est fortement sollicité en flexion ;
- de la géométrie et de l'inclinaison moyenne des haubans. Par exemple, les variations de contraintes normales dues au trafic (fatigue) sont plus importantes dans les haubans dont l'inclinaison est voisine de

45° ou plus verticaux, ou situés sur une pilette. Les haubans très longs peuvent être quant à eux fortement sollicités en flexion à leurs extrémités par les actions du vent ;

- de la répartition et de la taille des travées. Les grandes structures souples sont particulièrement sensibles aux actions du vent du fait de leur grande période de vibration (>1 seconde). Le risque est accru pour les profils ouverts qui sont en général peu aérodynamiques. Certains ouvrages sont équipés de déflecteurs et/ou d'amortisseurs pour assurer la stabilité de la structure ou le confort des usagers.

Les variations différentielles de la température, le retrait et le fluage sont à l'origine de l'apparition de déformations dans la structure. Les haubans ont une inertie thermique beaucoup plus faible et s'échauffent plus vite et davantage que le tablier et les pylônes. Cet allongement des haubans crée des flèches dans le tablier. Par ailleurs, le retrait et le fluage du béton du tablier et des pylônes conduisent à un raccourcissement du tablier et des pylônes ; ils ont donc un effet analogue à l'échauffement des haubans. Les déformations dues au fluage sont en règle générale prises en compte lors de la conception et peuvent nécessiter un réglage des haubans pour rétablir une géométrie satisfaisante après plusieurs années (5 à 10 ans).

2 - Description générale des ponts à haubans

2.1 - Pylônes

Les pylônes principalement sollicités en compression, sont généralement construits en béton et encastrés en pied sur le fût de pile ou sur le tablier. Un pylône métallique peut éventuellement être articulé en pied.

On distingue les pylônes en I, en H, en V inversé, en A et en Y inversé. En partie haute, une pièce métallique connectée au béton du pylône est souvent prévue pour assurer l'ancrage des haubans et assurer le transfert des efforts.

Les ouvrages récents sont généralement équipés de dispositifs paratonnerres disposés en tête de pylône. Quelques ouvrages anciens en sont également pourvus.

2.2 - Tabliers et zones d'appui

Les tabliers de ponts à haubans sont principalement du type dalle, caisson ou à poutres en béton armé, béton précontraint, acier ou en structure mixte. Ces structures ne présentent pas de dispositions particulières autres que les zones d'ancrage des câbles où sont appliquées des forces concentrées et les zones d'appui. Pour les grands ouvrages, les structures ont une grande rigidité transversale et de torsion et un bon comportement aérodynamique, afin de résister aux effets statiques et dynamiques du vent.

Les zones d'ancrage des haubans présentent des renforcements locaux ou pièces d'attache particulières (pièces de pont, nervures, système chape / oreille, ...) qui prennent en compte les efforts transversaux et de flexion apportés par le câble.

Au droit du pylône, le tablier peut être (Figure 7) :

- encastré dans le pylône et la pile ou une entretoise ;
- simplement appuyé sur une entretoise ou sur des consoles à l'aide d'appareils d'appui classiques ou d'articulations métalliques ;
- en suspension totale (sans liaison verticale avec le pylône autre que par les haubans) ;
- encastré dans le pylône, l'ensemble étant simplement appuyé sur la pile à l'aide d'appareils d'appui classiques ou d'articulations métalliques.

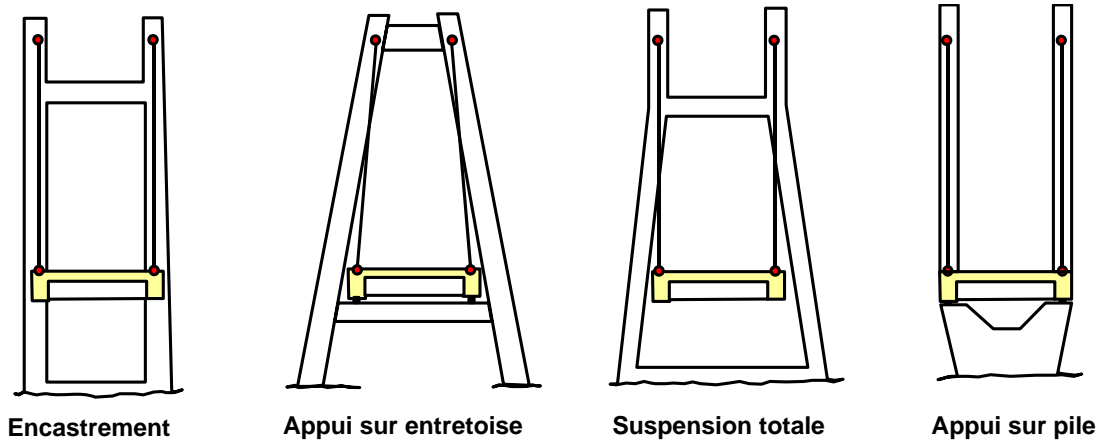


Figure 7 : liaisons tablier / pylône

Pour la reprise des effets du vent au droit des pylônes, un blocage transversal est nécessaire. Pour les tabliers en suspension totale, il est souvent assuré par des barres. Dans les zones sismiques, des dispositifs et des butées (barres ou câbles) sont prévus pour absorber l'énergie.

Sur certains ouvrages l'énergie générée par le vent ou les séismes est absorbée non plus par blocage, mais par des amortisseurs visqueux horizontaux (ou verticaux) au niveau des appuis.

Sur les autres appuis, des dispositifs sont parfois mis en place pour s'opposer aux efforts de soulèvement (appareils d'appui anti-soulèvements, bielles, câbles de précontrainte verticale, ...).

2.3 - Haubanage

Les haubans peuvent être disposés en harpe, en semi-harpe, en éventail ou de façon asymétrique (Figure 8). Transversalement, la suspension peut comporter deux nappes latérales ancrées de chaque côté du tablier ou une nappe axiale unique.

Certains haubans relient le pylône à des points fixes sur culée ou sur pilettes. On les appelle haubans de retenue. Leur rôle est d'éviter un trop grand fléchissement du pylône.

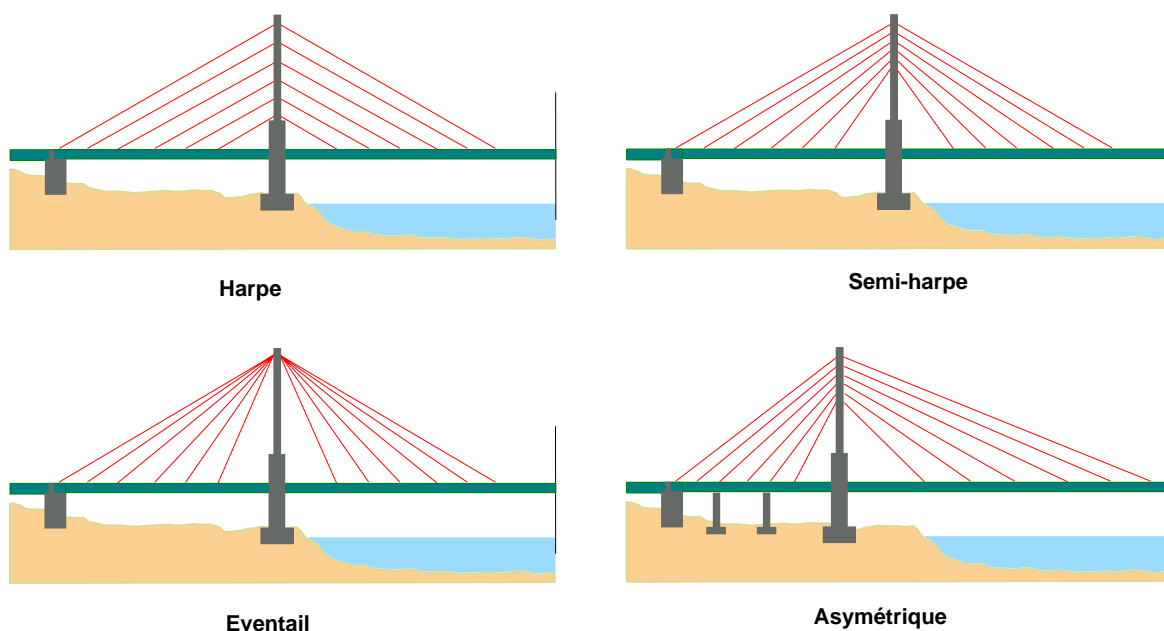


Figure 8 : différents types de nappes de haubans

En partie supérieure des pylônes, les câbles peuvent être continus ou discontinus. Dans le premier cas, ils passent sur des selles de déviation.

Dans le second cas, ils sont ancrés dans la tête du mât. Diverses dispositions ont été conçues pour assurer la continuité de l'effort horizontal et le transfert des composantes verticales au pylône, par l'un des dispositifs suivants :

- croisement des câbles dans un voile en béton,
- reprise des efforts horizontaux par des barres ou des câbles de précontrainte, ou par une tôle créant un profil fermé (baignoire),
- transfert des efforts au moyen d'une tôle axiale, les haubans sont soit ancrés au moyen de douilles à chapes articulées sur un axe, soit appuyés sur un tube soudé dans une découpe du plat,
- transfert des efforts au moyen de deux tôles disposées symétriquement par rapport aux câbles, l'ancrage s'appuie soit sur deux plats appelés lames de persiennes qui relient les deux tôles, soit sur un tube, les efforts étant transmis symétriquement aux tôles par un ou deux plats.



Figure 9 : ancrage des haubans dans une boîte métallique

2.4 - Haubans

2.4.1 - Evolution des câbles de haubans

Comme nous l'avons vu au chapitre 1, après une période de développement des structures haubanées au 19^{ème} siècle, l'insuffisance des moyens de calcul a conduit à une série d'accidents limitant fortement le recours à la construction de ponts à haubans.

C'est à l'après guerre, dans les années 1950, que commence réellement l'essor des ponts à haubans. Le pont de Donzère-Mondragon construit en 1952 par Caquot utilisait des haubans constitués de câbles clos. Ces haubans, appelés aujourd'hui TMC pour Torons Multi Couches, sont issus de la technologie des ponts suspendus.

Ils sont constitués de fils élémentaires enroulés en hélice autour d'un fil d'âme, en plusieurs couches successives (Figure 11). Ces couches sont généralement à pas inversé. Les ancrages de ces câbles sont obtenus par épanouissement et repli des fils dans l'évidement d'une douille, un remplissage est alors effectué au zinc, à l'aide d'un alliage métallique ou à la résine. Les haubans TMC sont souvent articulés car fixés à la structure au moyen d'une douille à chape.



Figure 10 : coupe d'un câble Toron Multi Couches

A l'origine, une protection extérieure par un revêtement renouvelable (peinture ou brai epoxy pouvant contenir près de 40 % d'amiante) était mise en œuvre.



Figure 11 : Exemple de câble clos à fils Z

L'évolution des techniques a conduit à l'utilisation de fils extérieurs profilés en forme de Z et à la galvanisation de tous les fils, formant ainsi les câbles clos. La protection extérieure par revêtement renouvelable a quant à elle été remplacée par une gaine en matière plastique extrudée avec remplissage des interstices à la cire ou avec un polymère amorphe, mais certains câbles sont encore peints.

Jusqu'au milieu des années 1970, les câbles clos ont été utilisés en France pour les principaux ouvrages haubanés, notamment avec le pont Masséna (1970), le pont de Saint-Nazaire (1975).

2.4.2 - Technologie des câbles de haubans

La technologie des câbles à fils parallèles est apparue à partir des années 1970. En France, il faut attendre la construction du pont de Gilly en 1991 pour une première mise en œuvre de ce système. Ces câbles, appelés également MFP pour Multi Fils Parallèles découlent des systèmes de précontrainte. Ils sont intégralement assemblés en usine et livrés à longueur sur le chantier. Il s'agit de fils parallèles boutonnés au niveau des plaques d'ancrage, galvanisés et placés dans une gaine (en polyéthylène à haute densité ou PEHD, en acier ou en inox) avec éventuellement un produit de remplissage souple (Figure 12).

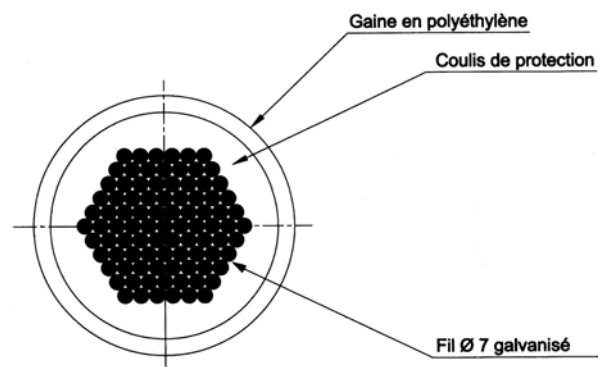
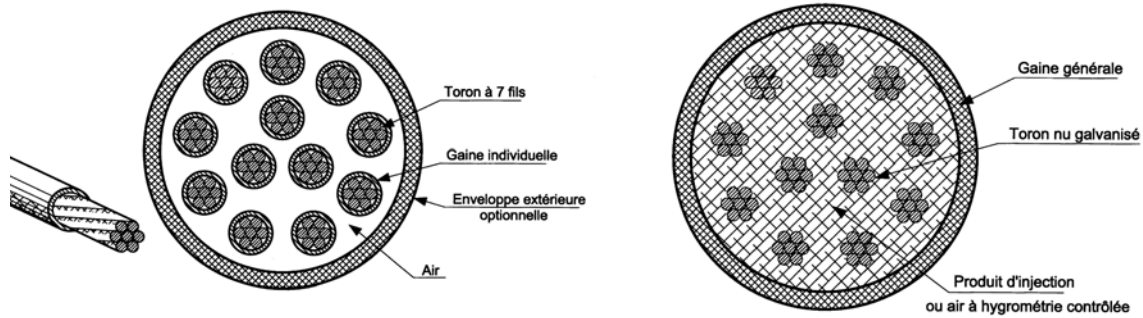


Figure 12 : coupe d'un câble Multi Fils Parallèles avec gainage PEHD

Le pont de Brotonne, construit en 1977, a été un des premiers ponts à utiliser des haubans constitués de torons de précontrainte. Ces haubans, appelés MTP pour Multi Torons Parallèles, sont constitués d'un faisceau de torons parallèles contenu dans une gaine métallique ou en PEHD injectée au coulis de ciment, à la cire, à la graisse ou à la résine quand les torons ne sont pas gainés individuellement (Figure 13).

Les torons sont ancrés au moyen de clavettes dans des ancrages dont la tenue en fatigue a été améliorée au cours des années 1980 grâce aux évolutions technologiques. Cette disposition constructive nécessite la dépose des gaines individuelles au droit des ancrages et présente donc l'inconvénient de diminuer localement la protection anticorrosion (Figure 14 et Figure 15).



MTP : torons gainés individuellement

MTP : Gainage collectif et injection au produit de remplissage

Figure 13 : coupes de câbles Multi Torons Parallèles



Figure 14 : haubans à torons individuels avec gaine générale



Figure 15 : ancrages des haubans à torons individuels

Vers la fin des années 1980, l'entreprise Freyssinet développe la technique des haubans en torons individuellement protégés sans gaine collective mise en œuvre en France lors de la construction du pont de Pertuiset (1988).

Dans les années 1990, la protection individuelle des torons parallèles a été progressivement complétée par la mise en œuvre d'une enveloppe profilée combinant des fonctions aérodynamiques, esthétiques et de protection contre les effets de l'environnement. Ce système a été mis en œuvre pour le pont de Normandie construit entre 1990 et 1995 (Figure 16).

Ces dernières années, les efforts des constructeurs se sont portés sur l'amélioration de l'étanchéité en partie basse des ancrages aux liaisons entre les différents éléments (gaines générales, tubes anti-vandalisme, tubes coffrants ou encore ancrages).

Quelle que soit la technologie du hauban, la protection individuelle des fils a également évolué ces dernières années pour comporter actuellement une galvanisation ou galvanisation systématique.

Sur la passerelle sur le Drac à Grenoble et la passerelle de la Baule, le haubanage est constitué de barres pleines galvanisées et/ou peintes comportant éventuellement des manchons. A titre expérimental, des armatures en matériaux composites (fibres de verre, fibres de carbone, Kevlar© ...) ont été mises en œuvre. Par exemple, la passerelle de Laroin comporte des haubans en fibre de carbone pour la grande travée.



Figure 16 : gaine spiralée du pont de Normandie

2.4.3 - Ancrages et amortisseurs

Les dispositifs d'ancrage des haubans sont inhérents aux procédés technologiques du système de haubanage utilisé. Ils sont conçus pour permettre le réglage des haubans (un ancrage actif par hauban).

Pour éviter les flexions des haubans au droit de l'ancrage, des dispositifs permettant de limiter les déviations angulaires sont en général prévus dans le procédé (tube de transition) et parfois un second dispositif est ajouté en sortie d'ancrage.



Figure 17 : tube coffrant



Figure 18 : tube de transition et antivandalisme

La base des haubans est en général protégée par un tube de forte épaisseur (tube anti-vandalisme). Il est à noter que l'étanchéité au droit des jonctions de la gaine générale aux tubes anti-vandalisme ou tubes coffrants doit être assurée.

Les amortisseurs sont répartis en deux grandes familles :

- ceux destinés à limiter les vibrations des haubans afin d'éviter les effets de fatigue et les chocs entre haubans,
- ceux destinés à limiter les déformations du tablier et qui améliorent le confort de l'utilisateur.

La première famille comprend les amortisseurs internes de type bague néoprène en sortie d'ancrage et les amortisseurs externes de type amortisseurs de camion (Figure 19) ou autres situés aux ancrages bas ou les aiguilles situées entre les haubans. La seconde famille comprend les amortisseurs dynamiques accordés (ADA) constitués d'un système de masse-ressort ou de balanciers pour limiter respectivement les oscillations verticales et horizontales ainsi que les amortisseurs visqueux placés au niveau des appuis qui limitent les déplacements latéraux.

Le pont de Normandie qui est constitué de très grandes nappes haubanées dispose d'aiguilles faiblement tendues qui rejoignent les haubans entre eux et évitent leur mise en vibration (Figure 20).



Figure 19 : amortisseurs du pont de Brotonne



Figure 20 : aiguilles antivibratoires du pont de Normandie

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 3

Notion sur les causes et la nature des désordres



1 - Préambule

Le présent chapitre traite des désordres qui peuvent se manifester dans les parties spécifiques visées dans le chapitre 2. Pour les désordres affectant les fondations, les appuis ou le tablier, on se référera aux fascicules correspondants.

Un désordre ou un dysfonctionnement d'une partie d'ouvrage peut avoir des effets sur tout ou partie de la structure.

2 - Pylônes

Le comportement des pylônes dépend de leur mode de liaison au tablier ou aux piles (articulation en pied ou encastrement) et au mode de fixation du haubanage. Le pied des pylônes encastrés est soumis à un effort de compression important dû à la réaction verticale des câbles et à des efforts de flexion (moment d'encastrement) variables en fonction des charges et surtout des déformations imposées (fluage, retrait, variation de température et déplacements des appuis).

En partie supérieure des pylônes, il convient de distinguer deux cas, suivant que les câbles sont continus avec selles de déviation, disposition rencontrée sur quelques ouvrages anciens, ou discontinus.

Les câbles continus passent sur des selles fixes. Elles sont susceptibles d'être à l'origine de pathologies particulières décrites à l'article 6 du présent chapitre.

Dans le cas des câbles discontinus, les tensions dans deux câbles opposés entraînent un effort horizontal de traction au niveau des points d'attache. Dans le cas de pylônes en béton, si la section correspondante du pylône n'a pas été convenablement dimensionnée à la conception (chaînage) ou en cas de différences de tension excessives (rupture d'un hauban), il peut en résulter, à terme, des désordres (fissuration, ...).

3 - Tabliers

Le parc des ponts à haubans en France présente une grande diversité des structures et des matériaux utilisés (béton, acier, structure mixte, ...) au niveau des tabliers.

Les désordres liés au type de matériau et aux modes d'assemblages correspondants sont décrits dans les fascicules spécialisés de la présente Instruction ; toutefois, les tabliers des ponts à haubans peuvent présenter dans les zones d'ancrage des désordres spécifiques liés par exemple à une augmentation anormale de la tension des haubans (fissuration, plastification, ...).

Certains ouvrages présentent la particularité d'avoir des dispositifs anti-soulèvement ou de clouage. Ces zones dont le fonctionnement est spécifique peuvent être le siège de désordres liés notamment à des concentrations de contraintes, à l'usure des pièces mobiles ou de blocage, aux actions dynamiques du fait de l'alternance d'efforts de traction et de compression.

Pour les ouvrages anciens, la mauvaise prise en compte du fluage peut être à l'origine de désordres multiples, qui peuvent conduire à une modification du profil en long et/ou à un dérèglement de la suspension. Ces phénomènes peuvent être une source d'inconfort pour l'utilisateur. Il peut être nécessaire de remédier à ces écarts de profil en long par un nouveau réglage des haubans.

En fonction de la morphologie des ponts, le fluage peut également provoquer des désordres résultant d'une répartition d'efforts néfastes :

- fissures dans le tablier,
- fissures dans les pylônes.

4 - Haubans

La corrosion et la fatigue sont les causes principales de désordres sur le haubanage. La corrosion provient de la dégradation des barrières anti-corrosion, quel que soit le type de haubans mis en œuvre. La corrosion et la fatigue peuvent conduire à des ruptures de fils, voire de haubans.

4.1 - Barrières anti-corrosion

Le parc des ponts à haubans en France présente en général plusieurs niveaux successifs de protection anti-corrosion. Le nombre de ces niveaux de protection est très variable selon les ouvrages et les périodes de construction. Ils dépendent de la technologie des haubans employés. Ces protections peuvent être complétées en outre par un remplissage des espaces intermédiaires ou des vides internes par un matériau complétant la protection.

La première barrière anti-corrosion, généralement constituée d'une galvanisation, de peinture ou de brai époxy, est en contact direct avec le métal du fil. La dégradation de cette première barrière peut être liée aux quatre causes essentielles suivantes (Figure 21) :

- une nature inappropriée,
- une épaisseur insuffisante,
- une application de mauvaise qualité,
- un vieillissement normal du système de protection.



A – Mauvaise application du complexe anti-corrosion



B – Détérioration du complexe anti-corrosion au droit d'un ancrage

Figure 21 : détérioration de la première barrière anti-corrosion

La deuxième barrière, généralement constituée d'une gaine individuelle ou collective et d'un produit de remplissage, peut présenter différents types de désordres conduisant à des venues d'eau préjudiciables et qui sont liés aux matériaux constitutifs de ces deux éléments et à leur interaction (Figure 22).



A - Rupture en hélice de la gaine d'un toron et rupture postérieure des fils



B - Rupture différée d'une gaine de toron



C – Fissuration de la jonction entre le tube coffrant et le tube anti-vandalisme



D – Dégradation de la gaine PEHD par vandalisme

Figure 22 : dégradation des gaines PEHD

La nature et la qualité du matériau des gaines est primordiale et leur inadéquation sont à l'origine de nombreux désordres tels que :

- un vieillissement accéléré du matériau qui se traduit, pour les gaines en PEHD, par une décoloration, une plus grande fragilité ou l'apparition d'une porosité et qui est lié principalement aux rayonnements ultraviolets. A noter que les actions du vent, par le biais de l'accélération de l'évaporation des agents protecteurs du PEHD, réduisent la résistance aux ultraviolets des gaines.
- la présence de fissures initiées notamment par :
 - les sollicitations thermomécaniques induites par les rayonnements infrarouges,
 - par des contraintes résiduelles présentes dans les gaines au terme de leur fabrication,
 - par des contraintes en service associées à des vibrations.

D'autres désordres peuvent affecter les gaines et détériorer leur étanchéité :

- des déboitements ou des fissures au niveau des dispositifs assurant la continuité des gaines collectives (manchons thermo-rétractables ou non) liés notamment à une mauvaise mise en œuvre ;
- des fissures dans les gaines, dans les cordons de soudures assurant la continuité des gaines ou dans les éléments d'étanchéité entraînées par les dilatations excessives de la cire ou des rétractations de gaines par temps froid, ou par une mauvaise mise en œuvre ;
- la corrosion des gaines métalliques liée à une circulation d'eau intérieure ou aux effets des intempéries ;
- la déformation localisée de la gaine liée à une rupture de fils ou de torons ;

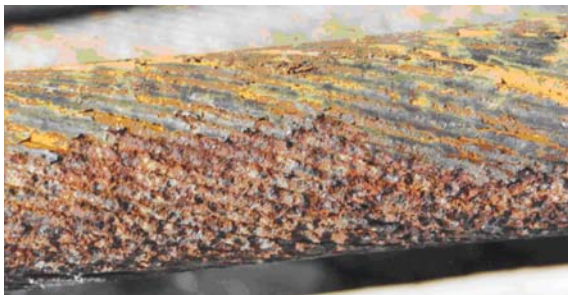
- l'endommagement total ou partiel des gaines initié par des chocs de haubans ou de torons unitaires ou par des causes accidentelles : accidents de circulation, engins hors gabarit, tempêtes, incendies, foudre, ... ;
- des blessures volontaires de gaines du type lacération au cutter, à la scie à métaux, coups de poinçons, tirs, liés aux actes de vandalisme (Figure 22 - D) ;
- l'usure de la gaine par les agents abrasifs apportés par le vent.

Le produit de remplissage des espaces intermédiaires ou des vides internes subit également des désordres pouvant avoir des répercussions multiples :

- la fissuration du coulis de ciment utilisé en produit de remplissage adhérent sous l'effet du retrait et des flexions du hauban. Ce coulis ne constitue donc pas une protection efficace contre les circulations d'eau, ce qui est d'autant plus préjudiciable que les fils constitutifs des haubans sont généralement en acier clair ;
- des fuites ou des manques de cire dans les gaines ou les éléments d'étanchéité liées :
 - au retrait de la cire lors de son refroidissement à la mise en œuvre,
 - aux différences de pression notamment lors des rétractations des gaines par temps froid,
 - à une liquéfaction de la cire lors de températures élevées (des températures proches de 70°C ont été mesurées en France sous gaine noire mais le point de figeage de la cire doit être supérieur à 77°C),
 - aux effets de la foudre.

4.2 - Câbles des haubans

Les câbles de haubans peuvent être le siège de ruptures de fils individuels, voire de haubans complets. Les ruptures peuvent être directement visibles (câbles TMC), détectées par une déformation localisée des gaines PEHD (câbles MTP et MFP) ou des capots d'ancrage, ou ne pas présenter de signes visibles.



A - Dissolution homogène des fils



B - Cratère de dissolution



C - Ruptures amorcées sur des cratères de corrosion



D - Rupture par corrosion fissurante sous contrainte

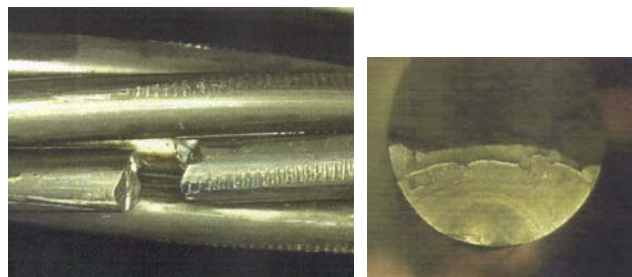
Figure 23 : dégradation des haubans par corrosion

Ces ruptures peuvent être provoquées par :

- les effets de la corrosion : les haubans peuvent être le siège de circulations d'eau infiltrée dans les vides inter-filaires ou peuvent présenter des points de rétention d'eau au droit de colliers, à l'intérieur de faisceaux de torons ou au voisinage immédiat des ancrages. Selon la composition chimique de l'acier constitutif, la corrosion peut être soit une corrosion par dissolution avec réduction de section des fils (Figure 23 – A et B), soit une corrosion fissurante sous tension avec rupture de fils individuels (Figure 23 – D). Il faut souligner que les anciens câbles clos constituent souvent des pièges à eau favorisant ce type de désordre ;
- les effets de fatigue ou d'usure par petits débattements qui ont pour origine des déformations répétées. Ces effets sont localisés préférentiellement dans les zones où les câbles sont en contact avec d'autres organes, au droit des zones d'ancrage ou de flexion locale (Figure 24 – A et B) ou de blocage transversal (au niveau des aiguilles, des tubes anti-vandalisme, ...) ainsi qu'entre les fils unitaires. Les actions du vent et du trafic sont les sources principales de ces effets. Dans ce cas, les ruptures de fils sont préférentiellement localisées à la sortie des organes d'ancrage, voire à l'intérieur de ceux-ci (Figure 24 – C et D) ;
- les causes accidentelles (chocs, phénomènes climatiques notamment la foudre, ...). Il est à noter que les ouvrages dont les haubans sont protégés par des gaines en PEHD sont particulièrement vulnérables.



A - Ruptures de fatigue toron multicouche



B - Rupture de fatigue à l'ancrage



C - Fretting fatigue – frottements torons / colliers



D - Fretting fatigue – frottements torons / torons

Figure 24 : effet de la fatigue sur les câbles

Des déformations locales ou globales peuvent affecter la ligne des haubans. Celles-ci peuvent être provoquées par :

- des dé-tensions liées à des effets thermiques lors d'incendies ou à des glissements au niveau des ancrages (cf. article 5),
- des gonflements localisés des haubans dans des zones sujettes à rétention d'eau et liés à la corrosion ou au gel.

Il est à noter que les ponts à haubans récents (construits depuis 1985) sont conçus pour fonctionner avec un hauban de moins sous charges réduites.

5 - Ancrages

Il existe un grand nombre de systèmes d'ancrage. Les principaux désordres observés sont :

- la corrosion sur les ancrages métalliques. Elle peut se manifester par la corrosion des capots extérieurs, des boulons ou être révélée par des venues d'eau ou des coulures de rouille. Elle est due à la déficience de la protection anti-corrosion des ancrages et à la présence d'eau dans les ancrages et/ou dans les capots d'ancrage. Cette présence d'eau peut être causée par :
 - une mauvaise réalisation ou un mauvais fonctionnement des dispositifs d'écoulement et d'exutoires,
 - une déficience des barrières anti-corrosion des haubans,
 - un défaut d'étanchéité du joint de liaison gaine / tube anti-vandalisme,
 - une déficience de fonctionnement du presse-étoupe éventuel ;
- l'extrusion du matériau fusible (plomb – antimoine) des ancrages de torons multicouches des ouvrages anciens pouvant conduire à un allongement des haubans et donc une modification des tensions. Cette extrusion est généralement la conséquence d'une mauvaise composition du matériau fusible ;
- des déformations locales des capots d'ancrage pour les câbles MFP ou MTP pouvant être révélatrices de rupture de fils ou de torons ;
- l'usure du câble par frottement en sortie d'ancrage liée à un mauvais alignement du tube coffrant par rapport à l'axe du hauban ;
- des fissures au voisinage des ancrages dues à une surtension dans les haubans ou à un sous-dimensionnement des liaisons tablier / ancrage et pylône / ancrage ;
- des dégradations induites par des effets de battement liés à des jeux ou à des contacts imparfaits entre des ancrages et leurs supports ;
- un blocage ou une déformation du système d'articulation des haubans au niveau de l'attache chape / oreilles (visible et majeur) ;
- la fissuration de la cire due à des phénomènes de retrait au refroidissement pendant la mise en œuvre.

6 - Selles de déviation

Les selles de déviation sont susceptibles d'être la source de pathologies avec notamment :

- le détournement d'un câble en partie supérieure qui constitue des entrées d'eau. Il est lié à un rayon de courbure de la selle trop faible par rapport aux caractéristiques des haubans. La présence d'eau en partie basse des haubans peut traduire cette pathologie ;
- la rupture de fils par fatigue et usure qui est liée à des cassures angulaires en sortie de selles, un rayon de courbure trop faible ou à des contacts entre les haubans et le pylône ;
- la fissuration du béton du pylône au voisinage des selles liée à un sous-dimensionnement ou à une mauvaise mise en œuvre des aciers de diffusion et de scellement.

L'état de la protection anti-corrosion dans ces zones et la présence de capots de protection sont des éléments importants entrant dans la pérennité du système de haubanage. En contrepartie, ces éléments de protections peuvent rendre difficile la visite de ces zones.

7 - Systèmes anti-vibrations

Les systèmes anti-vibrations sont de deux types, amortisseurs externes ou internes et aiguilles.

De part leur conception et leur mode de fonctionnement, les systèmes anti-vibrations sont soumis à une usure normale et donc une diminution progressive de leur capacité d'amortissement. On observe également des désordres liés aux matériaux mis en œuvre, notamment la corrosion des parties métalliques.

Du fait de leur implantation sur l'ouvrage, ceux-ci sont également exposés à des causes accidentelles.

Ils ont une durée de vie limitée fixée par le fabricant et qui doit figurer dans le dossier de l'ouvrage.

8 - Appareils d'appui

Les appareils d'appui des ponts sont traités par le fascicule 13 de la présente instruction. Ceux des ponts à haubans ont un fonctionnement bien particulier, notamment ils sont soumis à des charges tri-directionnelles provenant :

- de réactions verticales souvent modestes mais rapidement variables et parfois alternées,
- de déplacements, de rotations ou d'efforts longitudinaux importants, alternés et inégaux au passage des charges,
- d'efforts transversaux importants dus au vent.

Ces sollicitations conduisent à une usure prématurée des appareils d'appui. Cette usure, accentuant les jeux, entraîne des battements de plus en plus intenses, une majoration des efforts dynamiques dans l'ensemble de la structure, et peut entraîner des fissures de fatigue ou des ruptures dans les pièces métalliques, à une désorganisation totale de l'appareil d'appui ou à une rupture de ses scellements.

De plus, pour les ouvrages anciens, ils peuvent être sous-dimensionnés par rapport aux actions d'un trafic lourd de plus en plus agressif.

9 - Autres organes

Les causes des désordres constatés sur les dispositifs de guidage devant l'ancrage ou sur les tubes anti-vandalisme sont essentiellement liées à des défauts de conception (sous-estimation des efforts transversaux) ou de réalisation (mauvais alignement) mais également aux chocs, au vandalisme ou au vieillissement des matériaux et de la protection anti-corrosion.

Chapitre 4

Surveillance



1 - Préambule

Compte-tenu de sa complexité de fonctionnement, un pont à haubans est surveillé à partir de son état de référence qui doit comprendre notamment :

- le document de synthèse établi conformément aux prescriptions du fascicule 01 de la présente instruction et comprenant notamment les points faibles éventuels, les prévisions d'évolution de l'ouvrage et les opérations spécifiques de surveillance et d'entretien ;
- les méthodes et l'historique de la construction (en particulier le phasage de mise en tension des haubans) ;
- un document de suivi de la construction (cahier de chantier – incidents de chantier) ;
- un récapitulatif des mesures effectuées pendant toute la construction du pont (au moins point 0 à la mise en service, réactions d'appuis et tension des haubans) ;
- les plans de récolement et un document signalétique reprenant les sections les plus sollicitées issues des notes de calculs d'exécution ;
- l'inspection détaillée initiale ;
- le levé topographique de l'état de référence réalisé conformément au fascicule 04 de la présente instruction,
- un état des matériaux et garanties particulières (pièces d'usure) ;
- un tableau des flèches et des déplacements du tablier, des appuis et des pylônes mesurés pendant les épreuves de l'ouvrage (notamment mesure de flèches et déplacements en tête de pylône dans les 3 directions) ;
- une définition des paramètres principaux caractéristiques du fonctionnement (enveloppe de flèches selon la température, l'âge de la structure, ... permettant la comparaison du suivi géométrique à un état initial théorique) ;
- le guide de surveillance et d'entretien de l'ouvrage (visé à l'article 3 du présent chapitre).

2 - Particularités de la surveillance

Les ponts à haubans sont des ouvrages complexes, ce qui entraîne des difficultés dans leur approche.

Le rôle du gestionnaire est d'organiser et de mettre en œuvre efficacement un système de surveillance et la remontée d'information jusqu'à un niveau de fonction adéquat afin qu'il y ait prise de décision sur la suite technique à donner.

L'organisation de la surveillance nécessite de connaître les principes de fonctionnement de l'ouvrage ainsi que ses différentes parties.

Les différents points à examiner sont indiqués dans un cadre formalisé de visite inclus dans le guide de surveillance et d'entretien (voir l'article 3 ci-dessous).

Le gestionnaire peut rencontrer des difficultés dans l'organisation et/ou l'exploitation des opérations de surveillance et ne doit pas hésiter à faire appel à des spécialistes, issus du réseau technique du Ministère (LCPC, CETE, Séttra, ...) ou extérieurs (Entreprises spécialisées, bureau d'études ...) voire de l'entreprise constructrice.

3 - Guide de surveillance et d'entretien

3.1 - Préambule

La complexité des structures à haubans entraîne des modalités particulières de surveillance par rapport aux ouvrages classiques. De la même manière, des tâches d'entretien spécifiques aux structures à haubans, prévues dès la conception, sont parfois nécessaires à leur bon fonctionnement.

Ces éléments spécifiques doivent être regroupés dans un « guide de surveillance et d'entretien », constituant ainsi un document de référence pour la gestion.

Pour les ouvrages neufs, ce guide doit être établi sur les bases des pièces 2.4 « document de synthèse » et 2.5 « notice de visite et d'entretien » du dossier d'ouvrage défini dans le fascicule 01 de la présente instruction. Il est rappelé qu'il incombe au maître d'ouvrage de veiller à ce que ces documents soient établis par le maître d'œuvre constructeur et remis au gestionnaire.

Pour les ouvrages anciens, il serait souhaitable que le gestionnaire le constitue de façon progressive.

Il est indispensable de le mettre à jour lors d'un changement notable dans le mode de gestion ou encore à la suite de travaux de réparation importants.

Le guide de surveillance et d'entretien est élaboré et régulièrement tenu à jour sous la responsabilité du gestionnaire de l'ouvrage en associant les personnes chargées des visites et de l'entretien.

Ce document doit être adapté aux caractéristiques propres de l'ouvrage concerné. Il comprendra trois parties :

- un résumé du dossier de l'ouvrage avec un tableau des efforts et des contraintes (à vide et avec les effets des charges roulantes) dans les sections les plus sollicitées qui devront être surveillées avec la plus grande attention et des tensions dans les haubans à vide,
- une description des actions de surveillance,
- une description des actions d'entretien à prévoir.

3.2 - Surveillance

Pour l'organisation de la surveillance, les contrôles annuels et les examens simplifiés (visites IQOA pour les ouvrages de l'Etat) seront réalisés par le gestionnaire. Les examens ou inspections détaillés devront être réalisés par des équipes spécialisées.

Le chapitre surveillance devra comprendre :

- un calendrier des actions de surveillance : le guide fixe le type et la fréquence des visites ou examens à réaliser. Un calendrier à long terme des différentes interventions sera établi (Figure 25). L'inspection initiale sera rappelée et les visites particulières de fin de garanties contractuelle ou de responsabilité seront notamment indiquées (parfait achèvement, décennale, garanties particulières contractuelles) ;
- un cadre de suivi topographique qui précise les positions des points de mesure et le calendrier des contrôles. Les conditions de température et d'ensoleillement (date et heure) seront précisées. Il conviendra de noter la température de la structure (thermocouples, thermomètres à l'intérieur du caisson ..). Pour éviter les variations de température et les gradients thermiques, il est conseillé d'effectuer ces mesures avant le lever du soleil et toujours à la même période de l'année. Toutes les interventions pouvant modifier la géométrie de l'ouvrage seront décrites dans ce dossier (modification du poids des superstructures, re-tension des haubans, vérinage des appuis ...) ;
- l'indication des moyens matériels pour chaque type d'examen : le guide inclura les lieux de conservation des moyens d'accès particuliers tels que clés et autres accessoires d'ouverture ou nécessaires au fonctionnement des dispositifs d'accès ou de visites. Les moyens d'accès seront détaillés par partie d'ouvrage (type de nacelle par exemple) ;

- la description des accès aux têtes de pylônes, intérieur du tablier, appareils d'appuis, massifs d'ancrages ;
- les consignes de sécurité lors des visites : il sera notamment indiqué :
 - les risques particuliers courus par le personnel de visite, ou par les tiers ou les usagers, et les moyens mis en place pour y remédier,
 - l'indication des points permettant un accrochage sûr pouvant être utilisés pour la fixation de dispositifs anti-chutes,
 - les prescriptions de l'annexe 7 : « sécurité » du fascicule 02 de la deuxième partie de la présente instruction ainsi que celles du Dossier d'Intervention Ulérieure sur Ouvrage (DIUO) établi lors de la construction et adaptées aux particularités de l'ouvrage ;
- l'indication des objectifs et la description du contenu de chaque type de visite : cette partie sera établie à partir des indications données dans l'article 5 du présent chapitre.

	Années																												
	t0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
Inspection initiale																													
Inspection de parfait achèvement																													
Contrôle annuel																													
Inspection de garantie particulière					Fonction du marché																								
Examen simplifié																													
Inspection détaillée périodique																													
Inspection de garantie décennale																													
Contrôles topométriques	A programmer au cas par cas (portées de 120 m avec un pylône ou 200 m pour les autres ponts)																												

Figure 25 : principe de calendrier d'inspection des ponts à haubans

3.3 - Entretien

Le guide d'entretien d'un pont à haubans devra comprendre la description de :

- **l'entretien courant** : il se basera sur la liste des tâches décrites à l'annexe 4 du fascicule 02 de la deuxième partie de la présente instruction ainsi que dans le classeur « Entretien des ouvrages d'art : guide à l'usage des subdivisions » ; des schémas ou des plans indiqueront l'existence et l'implantation des éléments particuliers d'assainissement (gargouilles, regards, collecteurs, purge des ancrages, ...) et les opérations de nettoyage particulier à réaliser (joints de chaussée, appareils d'appui ou éléments mobiles, ...) ; les contre-indications sur l'emploi de certains détergents ou produits seront clairement indiquées notamment vis-à-vis des gaines des haubans ;
- **l'entretien spécialisé** : de façon générale, le guide indiquera clairement le type, la composition, la marque et les références du fabricant et du constructeur des différents éléments pouvant à terme être remplacés du fait d'usure normale, d'incidents ou de malfaçons. Seront également indiquées les opérations spécifiques d'entretien relatives à chaque élément. Il s'agit en particulier :
 - des appareils d'appui : type et fabricant, entretien particulier à réaliser,
 - des ancrages : type et fabricant, entretien particulier à réaliser,
 - de la protection anti-corrosion : type, composition et fabricant des peintures mises en œuvre,
 - du remplacement d'éléments secondaires : tube anti-vandalisme, amortisseur anti-vibratoire : le mode opératoire et les spécifications relatives à ces opérations devront être indiqués,
 - de l'entretien, la réparation ou le remplacement des gaines,
 - de la re-tension des haubans. Une re-tension est parfois prévue lors de la conception de l'ouvrage. Le mode opératoire doit être indiqué ainsi que les valeurs cibles de tension ;
- **l'entretien périodique** : pour le graissage des selles, des amortisseurs ou des éléments articulés, le guide précisera les références et les distributeurs des graisses à utiliser ainsi que les différents points de graissage.

4 - La surveillance continue

La surveillance continue est réalisée de façon informelle et comprend essentiellement l'appréciation de désordres flagrants de type déformation du profil en long, ruptures d'éléments ou désordres manifestes suite à des événements accidentels ou naturels.

Cette surveillance est réalisée par tous les agents circulant sur l'ouvrage à l'occasion de leurs déplacements.

5 - La surveillance organisée

La surveillance organisée présentée ci-dessous est basée sur l'Instruction Technique et comprend trois niveaux de visites ou d'examens :

- le contrôle annuel,
- les examens simplifiés (visites IQOA pour ouvrages RN),
- les examens détaillés périodiques.

Pour les ponts à haubans, tout examen oblige à recourir à des moyens d'accès spéciaux (nacelle en particulier). Les examens simplifiés sont donc en réalité des examens ou inspections détaillés simplifiés. L'ouvrage sera donc soumis une fois sur deux à un examen simplifié ou détaillé.

5.1 - Le contrôle annuel

(article 2.1 du fascicule 02 « Généralités sur la surveillance » de la présente Instruction)

Les points spécifiques à examiner pour un pont à haubans lors du contrôle annuel sont :

- l'examen visuel du profil en long, de la ligne générale des haubans (régularité des chaînettes) et de leurs comportements au vent (observation de la vibration des haubans en fonction de la vitesse du vent ou des traces de déplacements des amortisseurs) ;
- l'observation du haubanage avec la recherche des désordres éventuels suivants :
 - impact accidentel ou dégradation volontaire sur hauban ou tube anti-vandalisme,
 - ruptures, déformations ou absence d'éléments particuliers du haubanage (colliers de serrage, dispositifs anti-vibratoires, capots d'ancrages...),
 - glissement des haubans au niveau des ancrages inférieurs visibles (par extrusion par exemple),
 - coulures de cire ou graisse et éventuellement venue d'eau,
 - dégradation de la protection anti-corrosion sur haubans et ancrages,
 - glissement de gaines extérieures ou de tubes guides,
 - désordres sur gaines et tubes anti-vandalisme (déformations, fissuration, arrachement, ...), ...

Le contrôle annuel est visuel avec une paire de jumelles pour l'examen des haubans.

5.2 - Les examens simplifiés

(Article 2.2 du fascicule 02 « Généralités sur la surveillance » de la présente Instruction)

Une attention particulière sera portée à l'issue des examens sur l'exploitation des résultats obtenus. Notamment, l'observation d'un changement dans la notation peut constituer une alerte sur un désordre sérieux du fonctionnement global de la structure. Ce constat doit nécessiter une validation par des spécialistes en ouvrages d'art.

Selon la méthodologie IQOA, les ponts à haubans sont classés en liste 2. On utilisera les moyens de visite prévus dans les pylônes et le tablier lorsqu'ils existent pour observer les ancrages des haubans. Si ces moyens

n'existent pas, on peut utiliser une nacelle pour accéder à la tête du pylône et éventuellement sous les sections les plus sollicitées du tablier (clé, sections sur pylônes). L'attention du gestionnaire est attirée sur le fait que l'utilisation de nacelle négative permettant la visite des ancrages bas des haubans peut être la source d'endommagement des gaines.

En complément des observations à réaliser dans le cadre du contrôle annuel, les points spécifiques aux ponts à haubans à examiner lors d'une visite d'évaluation comportent les opérations suivantes :

- examen détaillé des pièces d'ancrage et de leurs fixations (déformations, fissuration, glissement et serrage des boulons, circulation d'eau),
- vérification des dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux,
- examen des zones d'ancrage des câbles sur le tablier et en tête de pylônes,
- examen des amortisseurs et de leurs attaches (déplacements, fissures, corrosion, traces de fuite),
- examen des zones d'encastrement en pied de pylônes ou examen de l'état apparent de l'articulation,
- examen de l'éclairage éventuel, des paratonnerres ...
- examen des appareils d'appui et leurs scellements,
- examen des bielles et des ancrages hauts et bas de câbles de clouage du tablier sur pilettes s'ils sont visibles.

5.3 - Les examens détaillés périodiques

(article 2.4 et annexe 5 du fascicule 02 « Généralités sur la surveillance » de la présente Instruction)

En complément des observations à réaliser dans le cadre du contrôle annuel et de l'examen simplifié, les examens ou inspections détaillées périodiques comprennent les opérations suivantes :

- inspection visuelle à partir d'une nacelle de l'ensemble du haubanage : examen des gaines individuelles ou collectives, joints de dilatation, capots d'ancrages, déviateurs. En fonction de la technologie des haubans, cet examen pourra être complété par une auscultation électromagnétique ou par ultrasons à une fréquence maximale correspondant à deux inspections détaillées ;
- le décalage des gaines si possible afin de vérifier les câbles au droit des zones d'ancrages ;
- vérification de l'état et du fonctionnement des amortisseurs (état de pièces mécaniques, présence de fuites d'huile, pouvoir frottant, ...) ;
- examen des ancrages hauts et bas de câbles de clouage du tablier sur pilettes ;
- déboulonnage partiel des capots d'ancrages pour voir si présence de venues d'eau ou démontage de quelques capots d'ancrage si la technologie des haubans le permet ;
- vérification de l'état des aiguilles d'interconnexion et de leur jonction avec les haubans.

Pour permettre le démontage d'éléments dans de bonnes conditions (capots d'ancrages, couverture de selle de déviation, cachetage des douilles d'ancrages, tube anti-vandalisme, ...), des schémas de montage/démontage seront inclus dans le guide de surveillance et d'entretien de l'ouvrage.

6 - Actions particulières de surveillance

6.1 - Examen détaillé initial

L'inspection ou examen détaillé initial doit être réalisée à l'achèvement des travaux, avant la réception de l'ouvrage. Elle fait partie intégrante du dossier de l'ouvrage et doit être accompagnée d'un levé topographique. Il est nécessaire de prévoir une mesure de tension à la corde vibrante afin de constituer une base de référence (longueur et masse linéique) en adéquation avec les valeurs de pesage au vérin obtenues en fin de chantier.

Compte-tenu de la réalisation de cet examen qui est très complet, la visite de fin de garantie de parfait achèvement (1 an) peut se faire dans l'esprit d'un contrôle annuel comme décrit au paragraphe 5.1 du présent chapitre.

6.2 - Visites de fin de garantie contractuelle ou de responsabilité

La visite de fin de la responsabilité décennale (10 ans) doit prendre la forme d'une inspection ou examen détaillé.

En complément de la garantie de parfait achèvement et de la responsabilité décennale, le marché de construction de l'ouvrage peut prévoir des garanties spécifiques par exemple sur la protection anti-corrosion des pièces métalliques et des haubans (fascicule 56 du CCTG), la durabilité des gaines de haubans, le bon fonctionnement des amortisseurs, la stabilité des couleurs, la garantie éventuelle des haubans, ...

Des visites ou examens spécifiques relatifs à des parties d'ouvrages sont à programmer par le gestionnaire selon les mêmes modalités que les inspections détaillées, car elles ne peuvent être réalisées que par des équipes très spécialisées.

6.3 - Visites ou inspections détaillées exceptionnelles

Dans le cas d'un désordre avéré ou suite à un phénomène naturel ou autres (tempête, foudre, accident, séisme, incendie, ...), une visite ou une inspection détaillée exceptionnelle doit être réalisée à l'initiative du gestionnaire.

Dans le cas d'une remise en tension des haubans, une inspection détaillée exceptionnelle sera réalisée et comprendra essentiellement un levé topographique et le relevé des nouvelles tensions dans les haubans mesurées au vérin et à la corde vibrante.

6.4 - Contrôles topographiques

Un contrôle topographique doit être réalisé à la fin de la construction (point zéro) et lorsqu'il aura été prévu lors de la conception, notamment pour suivre les déformations liées au fluage. Dans ce cadre, des précautions particulières, telles que décrites à l'article 3.2 « Surveillance » du présent sous-fascicule, devront être prises pour s'assurer de la qualité de ce contrôle.

Le contrôle topographique pourra également être mis en œuvre en tant qu'outil de diagnostic à la suite d'une pathologie constatée.

6.5 - Instrumentation particulière

Pour les très grands ouvrages ou les ponts innovants, une instrumentation à demeure peut être mise en œuvre afin d'assurer un suivi spécifique de leur comportement. Ces actions particulières de surveillance, basées sur la mise en place d'un monitoring, pourront par exemple analyser en temps réel la tension dans quelques haubans, l'écoute de la rupture de fil, ...

Dans le cadre du suivi de pathologies lourdes, une surveillance renforcée pourra être mise en place suivant les prescriptions du guide pour la surveillance renforcée des ouvrages.

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 5

Entretien et réparation



1 - Préambule

Ce chapitre aborde les différents types d'entretien ou de réparation auxquels les ponts à haubans peuvent être soumis :

- l'entretien courant appelé aussi entretien préventif systématique,
- l'entretien spécialisé ou entretien préventif conditionnel,
- la réparation ou entretien curatif.

2 - Entretien courant

En complément des tâches liées au nettoyage général de l'ouvrage décrites à l'annexe 4 du fascicule 02 de la présente Instruction et dans le guide à l'attention des subdivisions concernant l'entretien courant des ouvrages d'art, les actions plus spécifiques aux ponts à haubans sont :

- le nettoyage et le graissage au niveau des pièces mobiles (articulations, selles d'inflexion, dispositifs anti-vibratoires, ...) quand il en existe,
- l'entretien des dispositifs d'évacuation d'eau au niveau des ancrages.

Ces opérations d'entretien courant sont en général faites en régie.

L'ensemble des opérations d'entretien courant est repris dans le « guide de surveillance et d'entretien » décrit au chapitre 4 du présent sous-fascicule.

3 - Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé consiste en :

- la réfection périodique de la protection anti-corrosion par peinture ou en remplacement des brais époxy (cas des ponts anciens à câbles TMC ou à câbles clos),
- la réfection périodique de la protection anti-corrosion des pièces d'ancrage des haubans,
- le remplacement des pièces d'usure, notamment sur les déviateurs ou dispositifs anti-vibratoires (anneaux néoprène en sortie de tubes guides, amortisseurs visqueux, ...),
- le nettoyage des gaines PEHD,
- le resserrage des colliers permettant la tenue des collerettes d'étanchéité,
- les opérations spécifiques de maintenance préconisées par le constructeur,
- le nettoyage des zones de déviation,
- la réfection des étanchéités si nécessaire car ces zones constituent des pièges à eau efficaces,
- la remise en tension des haubans en cas de réglage du profil en long s'il est prévu dès la conception ; de préférence par l'entreprise constructrice, ce qui peut poser des difficultés vis-à-vis des règles de consultation des marchés publics.

Ces opérations d'entretien spécialisé sont en général faites par une entreprise.

L'ensemble des opérations d'entretien spécialisé est repris dans le « guide de surveillance et d'entretien » décrit au chapitre 4 du présent sous-fascicule.

4 - Réparations

4.1 - Expertise et opérations préalables au diagnostic

Le programme d'expertise ou d'investigations complémentaires doit être établi avec l'aide de spécialistes reconnus. Il est indispensable que la valeur technique des entreprises soit le critère prioritaire pour juger les réponses à un appel d'offre.

Le gestionnaire pourra être amené à programmer dans ce cadre certaines des opérations suivantes :

- le démontage partiel ou total d'un hauban, des gaines ou des tubes de protection,
- la mesure des tensions des haubans (par pesage ou par méthodes dynamiques),
- l'auscultation des haubans (par exemple contrôles ultrasons des ancrages des haubans de type MTP ou TMC ou contrôles électromagnétiques pour les haubans mono torons),
- le suivi des ruptures de fils par méthodes d'émission acoustique ou équivalent,
- le pesage des réactions d'appuis,
- le contrôle topographique du tablier et des pylônes,
- le démontage de certains capots d'ancrage et l'examen des extrémités des haubans (ces opérations peuvent nécessiter l'intervention d'une entreprise spécialisée du fait de leur caractère destructif).

La mesure de tension dans les haubans, le pesage des réactions d'appuis ou le contrôle topographique doivent être réalisés dans l'optique d'une comparaison avec un état de référence.

4.2 - Réparations

Parmi les réparations spécifiques des ponts à haubans, on trouve notamment :

- le remplacement total ou partiel d'un hauban et de ses accessoires (tubes anti-vandalismes, ...),
- le reculottage des culots d'ancrage des câbles TMC,
- la remise en tension d'un ou de plusieurs haubans, notamment en cas de réglage du profil en long lié à une pathologie,
- la réparation locale de gaines par éléments thermo-rétractables ou par des rustines,
- le changement de gaines ou la mise en place de gaines extérieures par chemisage général,
- la ré-injection de cire en cas de fuite et/ou la mise en place de systèmes de vase d'expansion,
- la reprise de l'étanchéité au droit des jonctions entre la gaine générale, le tube anti-vandalisme et le tube coffrant,
- l'amélioration des systèmes de drainage et d'étanchéité des ancrages,
- la mise en place de dispositifs destinés à éviter les flexions parasites du câble dans la zone d'ancrage (sellette d'appui par exemple) ou des dispositifs amortisseurs quand ils n'ont pas été prévus à la construction,
- l'amélioration de la protection anti-corrosion et la protection contre les intempéries des selles de déviation et des haubans en tête de pylônes par mise en place de capots et/ou d'anodes sacrificielles en zinc.

Bibliographie

- ↪ Circulaire n° 72-96 du 29 juin 1972 relative à la surveillance et à l'entretien des ponts suspendus, ponts à haubans et ouvrages analogues
Direction des Routes - 29/06/1972, Texte Officiel - Circulaire

- ↪ Peintures des ouvrages métalliques : La protection anticorrosion des câbles de ponts suspendus et à haubans
Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°87, janvier-février 1977

- ↪ La construction du pont de Seyssel – les ponts à haubans de moyenne portée
AFPC - 15/05/1986, Document technique - Guide technique

- ↪ Haubans - Recommandations de la commission interministérielle de la précontrainte
Sétra - 01/11/2001, Document technique - Guide technique

- ↪ Auscultation par émission acoustique d'ancrages de câbles multicouches
Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 250-251, mai-juin-juillet-août 2004

- ↪ Pathologie des haubans et câbles : Fatigue - Corrosion
Journées Techniques Câbles 2005, LCPC, Nantes, France, 21 septembre 2005

- ↪ Détection et localisation de fils rompus dans les parties cachées des câbles (ancrages) par la technique d'Emission Acoustique
Journées COFREND, Beaune, LCPC, 24-26 mai 2005

- ↪ Fiches techniques sur les principaux ponts à haubans français :
http://www.piles.setra.developpement-durable.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=190

Crédit Photos

Couverture	Gilles Lacoste (Sétra)
Figures 1 à 9	Gilles Lacoste (Sétra)
Figure 10	Philippe Vion (Sétra)
Figure 11	Gilles Lacoste (Sétra)
Figures 12 et 13	Gérard Forquet (Sétra)
Figures 14 à 20	Gilles Lacoste (Sétra)
Figure 21	Cete de Lyon/LRPC
Figures 22 A et B	LCPC
Figures 22 C et D	Cete de Lyon/LRPC
Figures 23 et 24	LCPC

Page laissée blanche intentionnellement

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.developpement-durable.gouv.fr

Ce document est l'un des 21 fascicules qui composent la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979 révisée. Destiné par nature aux services de l'Etat, il s'adresse aux gestionnaires de ponts à haubans.

Il ne constitue pas un guide complet d'entretien de ce type de pont, mais doit permettre au gestionnaire de juger de l'opportunité de recourir aux différentes techniques d'auscultation et de diagnostic dans le cadre de ses missions de surveillance.

Les prescriptions de ce document pourront donc être utiles à tous les gestionnaires de ponts ou passerelles à haubans, y compris ceux qui ont en charge des patrimoines départementaux ou communaux.



Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0845** - Prix de vente : **29 €**

Couverture - crédit photos : Gilles Lacoste (Sétra)

Conception graphique - mise en page : Sétra

L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document

© 2008 Sétra - Dépôt légal : 4^e trimestre 2008 - ISBN : 978-2-11-094654-6



Ce document participe à la protection de l'environnement.
Il est imprimé avec des encres à base végétale sur du papier écolabellisé PEFC.
CTBA/06-00743

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEEDAT

