

*Note d'information
Ouvrages d'art*

Sensibilisation des gestionnaires de ponts suspendus

Les ponts suspendus sont souvent des ouvrages anciens et d'intérêt historique, parfois centenaires, conçus suivant des règles ou des normes aujourd'hui dépassées. De fait, ils sont souvent l'objet de limitations d'usage (tonnage, gabarits, nombre de véhicules, etc.) et relèvent d'une gestion spécifique.

Il apparaît nécessaire de rappeler les principaux risques auxquels ces ouvrages particuliers sont exposés et les modalités des opérations spécifiques d'entretien et de surveillance à mettre en œuvre.

Cette note constitue une synthèse partielle des principaux points qui sont abordés et détaillés de façon exhaustive dans le fascicule 34.1 de l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA) [1]. Cette synthèse est complétée par des recommandations développées au sein du club national CoTITA des gestionnaires d'ouvrages à câbles [2].



1. Introduction

Modalités de fonctionnement

Les ponts « suspendus » se présentent sous la forme d'une structure comportant :

- un tablier assurant la continuité de la voie portée et, le plus souvent, la répartition de charges ;
- des suspentes supportant le tablier et transmettant les charges aux câbles ;
- des câbles d'allure parabolique assurant la fonction porteuse dont les efforts sont équilibrés par une réaction verticale assurée par des pylônes et un effort de traction transmis par des câbles de retenue amarrés sur des massifs d'ancrages (excepté certains ouvrages dits « auto-ancrés » où les câbles sont amarrés sur le tablier).

La rigidité longitudinale du tablier suspendu est généralement très réduite, surtout pour les ouvrages les plus anciens : contrairement aux autres ponts, les efforts dus aux charges d'exploitation se reportent latéralement sur les suspentes adjacentes puis sur les câbles porteurs au lieu de transiter par le tablier.

Néanmoins le fonctionnement des ponts suspendus peut être très variable suivant leur typologie : nombre de travées, câbles de tête, auto-ancrage, etc. Une analyse du fonctionnement est nécessaire avant tout type d'intervention sur ces ouvrages.



Illustration 1 : Selle en tête de pylône

Remarque : les ponts suspendus sont à distinguer des « ponts à haubans », ouvrages plus modernes et qui présentent un fonctionnement très différent ; ces derniers ouvrages ne sont pas abordés dans la présente note.

Spécificités de surveillance

Les ponts suspendus présentent certaines spécificités de fonctionnement qui impactent leurs modalités de surveillance :

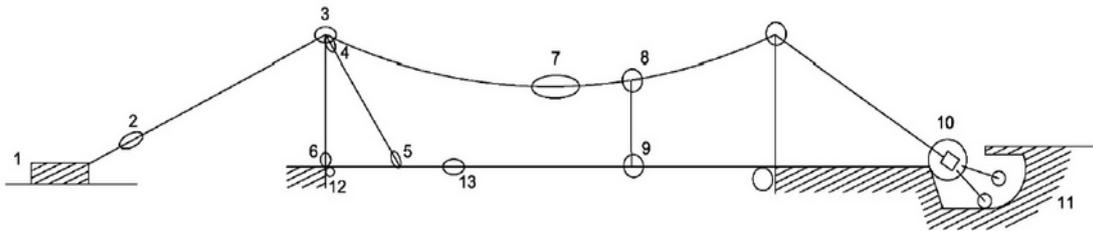
- les ouvrages s'adaptent aux charges par « grands déplacements » ;
- les câbles présentent un comportement spécifique vis-à-vis des agressions extérieures et des sollicitations mécaniques ;
- les ponts suspendus comportent de nombreuses pièces dont la conception s'apparente plus à la mécanique qu'au génie civil.

Ces ouvrages ont un fonctionnement particulier et utilisent des matériaux inhabituels dans le génie civil, ce qui leur confère des limites et modes de ruine particuliers.

Les principaux modes de ruine possibles sont les suivants :

- défaillance d'un massif d'ancrage ;
- défaillance d'un pylône ou de sa fondation ;
- rupture d'un câble ou d'une de ses attaches ;
- rupture en chaîne des suspentes ou de leurs attaches ;
- défaillance ou rupture d'un appui de câble ;
- rupture d'un appareil d'appui.

Les points sensibles qui doivent faire l'objet d'une attention particulière dans le cadre des différentes actions de surveillance sont répertoriés et numérotés de 1 à 13 sur le schéma suivant :



- | | |
|---|--|
| 1. Massif d'ancrage. | 8. Attaches hautes de suspentes. |
| 2. Ancrage des câbles de retenue. | 9. Attaches basses de suspentes. |
| 3. Selles d'appuis des câbles porteurs. | 10. Épanouissement des câbles de retenue (point bas). |
| 4. Attaches supérieures des câbles haubans. | 11. Ancrage des câbles élémentaires dans les chambres d'ancrage. |
| 5. Attaches inférieures des câbles haubans. | 12. Appuis et butées au vent. |
| 6. Fûts des pylônes. | 13. Poutre de rigidité. |
| 7. Point bas des paraboles des câbles porteurs. | |

Illustration 2 : Points à surveiller particulièrement

Parmi ces points sensibles, il faut être attentif à :

- l'inclinaison des bielles des appareils d'appuis qui peut provoquer ou révéler une mise en butée du tablier sur les appuis, en particulier par températures extrêmes ;
- au blocage des selles prévues mobiles qui peut provoquer des désordres dans les pylônes ;
- aux mouvements des massifs d'ancrage (un déjaugage des massifs peut conduire à un déplacement horizontal très dangereux pour la structure).

Le cas échéant, un suivi topographique régulier des pylônes et des massifs d'ancrage et une mesure de la flèche du tablier permettent de surveiller ou d'anticiper l'évolution du comportement de l'ouvrage ; l'interprétation de ces mesures doit intégrer des corrections thermiques.

Compte tenu des spécificités et de la complexité du mode de fonctionnement des ponts suspendus, les inspections détaillées doivent être menées par des experts du domaine avec une attention particulière sur les points dits sensibles.

Dans les parties qui suivent, nous attirons particulièrement l'attention sur certaines causes de rupture, mais une surveillance globale reste nécessaire car d'autres pathologies ne sont pas à exclure.

2. Charges d'exploitation

Limitations de tonnage

De nombreuses limitations de tonnage ont pu être proposées et mises en œuvre sur ces ouvrages.

Même si les coefficients de sécurité utilisés au moment de la conception des ponts suspendus sont relativement importants, il convient de s'assurer que les conditions de l'exploitation actuelle ont été validées par des vérifications de calcul de moins de 20 ans permettant de conserver des coefficients de sécurité suffisants et compatibles avec la fiabilité aujourd'hui requise sur les ponts.

Ces coefficients de sécurité pourraient d'ailleurs être impactés au fil du temps par un certain nombre de dégradations dues au vieillissement et en particulier à la corrosion. Cependant, dès lors que la perte de matière est apparente (au-delà d'un simple enrrouillement), il devient délicat de cerner un coefficient de sécurité acceptable. Il est recommandé d'approfondir le diagnostic afin de déterminer un régime de surveillance adapté et étudier des solutions de réparation afin de restituer à l'ouvrage un état de fonctionnement satisfaisant et au moins sensiblement équivalent à celui d'origine.

À ce titre, le dimensionnement initial et ses évolutions doivent faire l'objet d'un archivage rigoureux et d'une bonne connaissance par le gestionnaire.

Par ailleurs, comme pour toute mesure restrictive, sa crédibilité et son acceptabilité passent, pour l'utilisateur, par une information compréhensible et prévenante. Les limitations d'usage, compte tenu de l'environnement routier de l'ouvrage et de la présence éventuelle d'autres usagers en interaction, doivent être signalées bien en amont des ouvrages et s'accompagner de la proposition d'itinéraires de déviation.

Les ponts suspendus sont des ouvrages dont le tablier est très léger. Aussi, les charges d'exploitation représentent une part beaucoup plus importante des actions de gravitation (poids propre et surcharges) que pour les ouvrages classiques en béton. Le strict respect des conditions de limitation de tonnage s'impose.

De même, si les conditions d'exploitation prévoient un alternat, son respect est impératif car sur un ouvrage de faible largeur, le croisement peut induire du fait du déport des véhicules, une forte augmentation des efforts dans les suspentes.

Surcharge de l'ouvrage

Cet aléa est redouté par la plupart des gestionnaires, notamment sur la génération des ouvrages suspendus conçus selon la circulaire de 1927 (camions de 16 tonnes) et à double sens de circulation.

Du fait de leur conception et en particulier de la faible rigidité du tablier, les ouvrages suspendus offrent moins de possibilités de redistribution d'efforts que la plupart des autres types de pont. Par conséquent, les effets d'une surcharge peuvent mener à un endommagement brutal voire à la ruine de la structure.

Une possibilité pour éviter le passage de véhicule lourds sur un ouvrage est de mettre en place un système de « gabarit » en hauteur ou en largeur.

Cependant, il n'existe pas de moyen physique totalement satisfaisant pour éviter les passages de véhicules hors-gabarit :

- les portiques sont fréquemment endommagés et limitent les services publics ;
- les obstacles lourds peuvent provoquer des encastresments de poids lourds et des problèmes d'exploitation ;
- les engins de secours (qui respectent le tonnage limité) doivent pouvoir circuler sur l'ouvrage.

Des méthodes de détection de gabarit sont disponibles ou en cours de développement : analyses d'images automatiques, pesée en marche, suivi géométrique, etc. Elles ne seront sans doute complètement efficaces que lorsqu'elles seront couplées à un dispositif de sanction.

3. Rupture fragile des aciers

L'effondrement du pont de Sully-sur-Loire en 1985, imputé principalement au froid intense et au comportement fragile de ses aciers à basse température [3], a conduit à la mise au point d'une méthodologie de gestion par temps froid du parc de ponts suspendus [4].

Un gestionnaire de pont suspendu doit savoir s'il existe des aciers fragiles sur son ouvrage. Les aciers concernés sont essentiellement, mais non exclusivement, ceux des suspentes y compris leurs attaches) et des barres d'ancrages des câbles.



Illustration 3 : Suspentes et leurs attaches

Les mesures d'exploitation dans le cas de présence d'aciers fragiles sont déterminées par une analyse prenant en compte le niveau de fragilité des aciers concernés, le niveau de contrainte, l'agressivité des détails géométriques (les filetages en particulier), le défaut de fissuration initial, les redondances dans la structure et les scénarii de ruine possible.

À partir de 1985, la plupart des ponts suspendus français ont fait l'objet d'une analyse de ce type par les services du réseau scientifique et technique.

Il paraît aujourd'hui nécessaire de vérifier les points suivants :

- ces informations, qui ont fait l'objet d'une campagne concernant quasiment tous les ponts suspendus en France dans les années 1985-1987, sont-elles disponibles ? Si nécessaire, le Cerema peut retrouver certaines archives.
- les prescriptions de gestion par temps froid sont-elles bien celles résultant de l'expertise et sont-elles bien appliquées ?
- l'échantillonnage des prélèvements sur ouvrage pour réaliser cette analyse est-il suffisant ?
- les prescriptions de gestion proposées dans la méthodologie de gestion mise au point en 1987/1988 [4] sont basées sur une contrainte de 150 MPa dans les pièces analysées : cette valeur est-elle valide pour l'ouvrage ? N'est-elle pas augmentée par des flexions parasites ?
- les prescriptions de gestion sont basées sur un niveau de défaut de fissuration initial dans les pièces analysées : le phénomène de fatigue, qui n'était pas pris en compte pour les ouvrages anciens, ne peut-il pas faire évoluer une fissure jusqu'à la taille critique provoquant la rupture ?

Il paraît d'autant plus nécessaire de répondre à ces questions que l'on s'oriente vers des réhabilitations ou renforcements lourds visant à augmenter les charges sur l'ouvrage et/ou sa durée de vie résiduelle de manière significative.

4. Rupture de câble

Modes de rupture

Les câbles sont très exposés aux dégradations par corrosion. Jusqu'à présent, les ruptures de câbles élémentaires se sont produites au niveau des culots d'ancrages inférieurs. Ainsi, un toron s'est rompu dans un culot d'ancrage du pont du Teil en 2007 [5] et un autre dans un culot d'ancrage du pont de Canet en 2017 [6].



Illustration 4 : Rupture d'un câble élémentaire dans un culot d'ancrage

Dans les culots exposés aux intempéries, on constate deux types de pathologies liées à la corrosion. Dans les culots supérieurs (attaches supérieures de suspentes ou des câbles discontinus sur pylônes), l'eau percole à travers le culot et corrode le câble par l'intérieur. Dans les culots inférieurs (ancrages des câbles porteurs et attaches basses de suspentes), l'eau qui chemine sur le câble et à l'intérieur de celui-ci va se stocker dans des zones de rétention si elles existent.

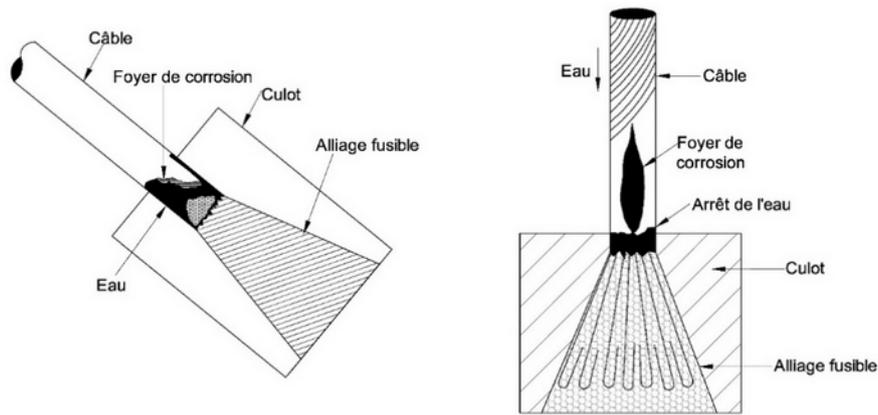


Illustration 5 : Début du phénomène de rétention et de corrosion sur les culots bas

Il convient donc d'éviter ces possibilités de rétention avec des masticages ou, plus efficacement, en s'assurant que le métal fondu sort du culot afin de garantir l'absence de zones de rétention possibles.

Les câbles peuvent aussi être affectés par des ruptures de fils. Celles-ci se produisent souvent au voisinage de points singuliers ou de zones plus exposées à la corrosion, plus rarement en partie courante. L'évolution de ces ruptures peut mener à une perte significative de la capacité portante du câble et conduire à sa rupture brutale. Les couches externes représentant une section significative de la section totale des câbles, des ruptures multiples sur la couche externe doivent être considérées comme une alerte forte.

Modalités de visite

La première méthode de contrôle des câbles est le contrôle visuel. Cette méthode n'est pas spécifique en elle-même mais porte sur des points particuliers en fonction des mécanismes de désordres impliqués et des dispositions accessoires à mettre en œuvre pour l'accès aux câbles.

D'autres méthodes de contrôle ou de surveillance plus sophistiquées peuvent être mises en œuvre [7], mais elles demandent des équipements particuliers et des analyses préalables pour une bonne application et l'obtention de données exploitables. Les méthodes de contrôle magnétique des câbles permettent notamment d'évaluer leur état interne en partie courante et de compléter le contrôle visuel.



Illustration 6 : Auscultation électromagnétique des câbles

Il convient de surveiller particulièrement les sorties de culots lors des différentes visites de contrôle, notamment l'inspection détaillée périodique, afin de rechercher des signes de corrosion : gonfles, ruptures de fils, rupture du film de peinture, glissement. En cas de suspicion, des analyses complémentaires peuvent être menées par décapage ou remplacement du culot pour analyse.

Il convient donc de s'assurer de l'intégrité de la protection anti-corrosion des câbles et de contrôler visuellement les ruptures de fils éventuelles. L'observation de ruptures multiples doit conduire à une mise sous surveillance et à une estimation de la capacité résiduelle des câbles concernés.

Afin de bien encadrer les interventions et les investigations à venir vis-à-vis des Codes du travail, de la santé et de l'environnement, il est nécessaire de maîtriser la nature des composants des peintures en connaissant leur historique.

5. Fatigue

Ce phénomène, difficile à contrôler, peut aggraver les conséquences d'une rupture provoquée par un autre aléa.

Le glissement de l'attache supérieure des suspentes sur les câbles inclinés est fréquent sur les ponts anciens. Il provoque un dérèglement de la suspension et une mise en butée éventuelle de l'attache inférieure de la suspente.

Le fonctionnement normal d'un pont suspendu impose des déplacements relatifs longitudinaux des câbles porteurs et du tablier (ceux-ci sont plus importants dans le cas de travées multiples). Les charges transversales et effets parasites induisent des déplacements transversaux en général beaucoup plus faibles. Ces déplacements imposent des rotations au niveau des attaches de suspentes, qui n'ont pas toujours été prévues à la conception ou dont la capacité de rotation a pu disparaître par blocage dû à la corrosion. Dans ce cas, les déplacements imposés créent des flexions parasites dans les éléments concernés qui sont d'autant plus intenses que les déplacements sont importants (travées multiples) et que les suspentes sont courtes et rigides (barres). Dans les barres filetées, ces flexions alternées peuvent conduire à des ruptures par fatigue.

Un diagnostic effectué en mesurant la tension dans les suspentes et en examinant le niveau de sécurité des suspentes peut imposer une opération de réglage de la suspension.

On peut également constater des défauts d'alignement des barres d'ancrage, des douilles et du câble. Ces défauts géométriques provoquent des contraintes parasites de flexion pouvant provoquer l'apparition de fissures de fatigue.

Des phénomènes de fatigue peuvent aussi apparaître au niveau de l'entrée des câbles dans les culots ou au niveau des colliers. Ils sont surtout dus aux micros déplacements dans les zones de contact qui peuvent engendrer des phénomènes de « fretting-fatigue ».

6. Conclusion

Les ponts suspendus sont des ouvrages particulièrement complexes qui nécessitent une surveillance spécifique et, souvent, des règles d'exploitation particulières. Ils constituent un patrimoine hétérogène et ancien qui ne s'adapte pas facilement à l'évolution des attentes actuelles en matière d'exploitation. Les modalités d'entretien et de surveillance de ces ouvrages sensibles sont détaillées dans le fascicule 34.1 de l'ITSEOA [1]. Le strict respect de ces recommandations est nécessaire pour assurer la sécurité attendue.

Les méthodes d'investigation de ces structures continuent d'évoluer mais ne permettent pas encore de diagnostiquer précisément certaines pathologies (corrosion des parties non accessibles, fatigue, fragilité). Une vigilance particulière et une exploitation contrôlée sont donc indispensables pour pallier ces difficultés.

7. Bibliographie

- [1] Instruction technique du 19 octobre 1979 pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) - 2^e partie : dispositions particulières. Fascicule 34-1 : ponts suspendus
- [2] Recommandations du club national CoTITA des gestionnaires d'ouvrages à câbles <http://www.cotita.fr/spip.php?rubrique672>
- [3] Effondrement du pont suspendu de Sully-sur-Loire, J.P. Persy, Bulletin Ponts Métalliques n°13, 1989
- [4] Matière à réflexion pour une gestion des ponts suspendus par temps froid, J.P. Gourmelon, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°156, 1988
- [5] Une nouvelle jeunesse pour le pont du Teil ! N. Poinas et B. Pion-Roux, Bulletin annuel de l'AFGC n°14, janvier 2012
- [6] De Sully au Canet : prévenir les risques de rupture dans les ponts suspendus, C. Lenglet, Bulletin Ouvrages d'Art n°72, Cerema, 2017
- [7] Les méthodes d'auscultation - Auscultation du matériau en place, Câbles (série B5), Collection Cahiers interactifs de l'Ifsttar - Auscultation des ouvrages d'art

Résumé

La présente note vise à sensibiliser les gestionnaires de ponts suspendus aux spécificités de ces ouvrages complexes, souvent anciens, et à leurs modes de fonctionnement variés. Après un rappel des modalités particulières de leur surveillance, on y aborde certaines causes de rupture (surchARGE, fragilité, corrosion, fatigue) et les éléments de diagnostic, de vigilance et d'exploitation nécessaires à leur pérennité.

Crédits photos :

© Université Gustave Eiffel
© Cerema
© Services techniques
du département du Lot

Collection
Connaissances
ISSN 2417-9701

ISBN : 978-2-37180-496-8

*Ce document ne peut
engager la responsabilité ni
de son rédacteur ni du
Cerema.*

*Les sociétés citées le cas
échéant dans cette série
le sont à titre d'exemple
d'application jugé
nécessaire à la bonne
compréhension du texte
et à sa mise en pratique.*

© 2020 - Cerema
*La reproduction totale
ou partielle du document
doit être soumise à l'accord
préalable du Cerema.*

Rédacteurs

Céline LENGLET (Cerema) - celine.lenglet@cerema.fr
Patrick LOSSET (Cerema) - patrick.losset@cerema.fr
Bastien VAURIGAUD (Cerema) - bastien.vaurigaud@cerema.fr
Virginie PÉRIER (Cerema) - virginie.perier@cerema.fr
Hélène CHEMINEAU (Cerema) - helene.chemineau@cerema.fr
Gérard VIOSSANGES (Consultant) - gerard.viossanges@gmail.com

Relecteurs

Laurent LABOURIE (Cerema) - laurent.labourie@cerema.fr
Pierre CORFDIR (Cerema) - pierre.corfdir@cerema.fr
Jean-Michel LACOMBE (Cerema) - jean-michel.lacombe@cerema.fr
Daniel de MATTEIS (Cerema) - daniel.de-matteis@cerema.fr

La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment