DIAGNOSTIC DES VIPP

CONTEXTE

Les VIPP (Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Précontraintes par post-tension) sont des ponts constitués de poutres préfabriquées précontraintes par post-tension (généralement coulées sur site). Ils peuvent également être transversalement précontraints par post-tension, avec des câbles qui peuvent être, selon le cas, soit dans les entretoises, soit dans le hourdis, soit dans les deux éléments. Ils couvrent une gamme de portées généralement comprises entre 30 et 50 m. Les VIPP ont été construits en très grand nombre au début de la précontrainte (environ 250 entre 1945 et 1957, et 450 entre 1957 et 1967). Ainsi, le manque de recul sur la conception et la réalisation de ces premiers ouvrages recourant à une technique relativement innovante lors de leur construction, et leur âge moyen désormais avancé, justifient l'attention qui leur est portée aujourd'hui.

Le fonctionnement transversal du hourdis repose souvent presque intégralement sur la précontrainte transversale, avec très peu d'acier passif de liaison entre la table de compression des poutres et les hourdis de clavage et d'encorbellement.

Les âmes des poutres de VIPP sont généralement élancées et comportent peu d'étriers verticaux. Les talons de poutres sont également généralement peu ferraillés (longitudinalement), le fonctionnement des VIPP s'effectuant principalement grâce à la précontrainte en supposant le béton non-fissuré conformément aux principes des premiers règlements de calculs. Cette conception entraîne un manque de ductilité de la structure en cas de fissuration du béton, aggravé, pour des ouvrages isostatiques comme les VIPP, par l'absence de redistribution des efforts avant la ruine (seule une redistribution transversale des efforts est possible pour les ouvrages entretoisés, dans la mesure où le nombre de poutres est conséquent). La ruine de ce type d'ouvrage peut en conséquence être fragile en cas de déficit de précontrainte (rupture d'armatures) ou de charges d'exploitation excessives.

Les VIPP ont souvent souffert d'une mauvaise injection de leurs conduits de précontrainte, de défauts de cachetage et d'une chape d'étanchéité parfois absente (jusqu'en 1965). Des armatures de précontrainte sensibles à la corrosion fissurante sous contrainte (par exemple les armatures du procédé KA) ont parfois été utilisées.

De plus, selon la date de conception des ouvrages [1] [2], les pertes de précontrainte instantanées (rentrée d'ancrage, frottement des câbles) et différées (retrait et fluage du béton, relaxation des aciers de précontrainte) ont parfois été largement sous-estimées et contribuent elles aussi au déficit de précontrainte.

Un nombre non négligeable de VIPP présente de forts déficits de précontrainte liés à la corrosion ou à la rupture d'armatures, souvent non décelés lors d'examens classiques en l'absence de signes extérieurs les révélant. Pour les VIPP, l'apparition de fissures d'effort tranchant ou de fissures de flexion correspond à une telle diminution de l'effort de précontrainte que la marge de sécurité vis-à-vis de la ruine est alors faible et que la détection de ces désordres peut alors être considérée comme trop tardive.

Comme il n'existe pas de méthode d'auscultation non destructive à grand rendement pour évaluer globalement l'état et la quantité de précontrainte résiduelle tout le long d'une travée de VIPP, la méthodologie de diagnostic des VIPP est complexe et sa mise en œuvre requiert un certain niveau d'expertise. Elle s'appuie cependant sur des méthodologies éprouvées et développées depuis une vingtaine d'années (guide du LCPC [3], arbalète [4], méthode de libération de contrainte [5], guide d'évaluation structurale des VIPP [6], fascicules de l'ITSEOA notamment le 32 [7], etc.).

Il convient de rappeler l'existence d'une analyse de risques appliquée aux VIPP [8] permettant des arbitrages techniques et financiers dans le cadre de la gestion d'un patrimoine. Elle permet également, pour un ouvrage donné, de quantifier les risques par une analyse de sa criticité vis-à-vis des incertitudes sur l'état de la précontrainte (incertitudes dans la conception de l'ouvrage et sur l'état initial de la précontrainte et incertitudes sur l'évolution de la précontrainte). Cette analyse s'appuie sur l'étape 1 (analyse du dossier d'ouvrage) et l'étape 2 (inspection détaillée) pour objectiver les constats effectués dans ces deux étapes suivant une grille prédéfinie, et peut s'enrichir des résultats obtenus à l'étape 3 (auscultation).

MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC

ÉTAPE 1
ANALYSE DU DOSSIER DE L'OUVRAGE

Cette étape vise à effectuer une analyse préliminaire de l'aléa.

On identifiera dans le dossier d'ouvrage tous les éléments utiles au diagnostic :

Renseignements généraux :

- date de construction (ouvrages construits avant le dossier-pilote de 1967 [1], ouvrages construit avant le BPEL de 1983) ;
- hypothèses de calcul de dimensionnement (règles de calcul en béton précontraint, résistance du béton, etc.) ;
- informations sur la précontrainte (procédé de précontrainte, type d'acier de précontrainte, caractéristiques mécaniques des câbles, tension initiale des câbles, coefficients de frottement, relaxation à 1 000 heures, etc.) ;

ÉTAPE 1 ANALYSE DU DOSSIER DE L'OUVRAGE	– présence ou non de chape d'étanchéité (et type si la chape est présente) ; – trafic supporté par l'ouvrage. **Renseignements sur l'exécution de la structure (plans, carnets de chantier, comptes rendus de réunions, etc.) :** – plan de câblage et de ferraillage ; – plan de coffrage ; – ordre de mise en tension ; – relevés des mises en tension ; – éventuelles anomalies lors des opérations de mise en tension des câbles de précontrainte ; – nature des conduits et des coulis d'injection. **Renseignements sur la vie de l'ouvrage (travaux en général, élargissement, rechargement de chaussées, attelages de travées, etc.)** **Renseignements sur la surveillance et les investigations déjà effectuées sur l'ouvrage (campagne gammagraphique notamment).**
ÉTAPE 2 INSPECTION DÉTAILLÉE	L'objectif de cette étape est de détecter des indices de défauts d'intégrité des armatures de précontrainte Comme pour toute inspection détaillée, l'évolution des désordres relevés par rapport à l'inspection précédente est primordiale pour évaluer leur gravité. En effet, certains défauts peuvent dater de la construction de l'ouvrage et s'être stabilisés depuis, s'avérant peu préoccupants pour la sécurité mais pouvant demeurer préjudiciables à la pérennité de l'ouvrage. Il convient d'apporter une attention particulière à la détection de la présence des désordres listés ci-après (cf. guide LCPC [3] et catalogue IQOA des principaux désordres [9]) qui peuvent faire craindre une corrosion ou une rupture d'armatures de précontrainte : – profil en long anormal éventuellement accompagné d'une ou plusieurs fissure(s) de flexion (les VIPP ont typiquement une flèche augmentant vers le haut liée au fluage du béton) ; – fissures transversales s'amorçant en partie basse de poutre et remontant dans l'âme verticalement (flexion – vers la mi-travée) ou à l'oblique (effort tranchant – vers les appuis) ; – traces de corrosion ou taches de corrosion sur les parements des poutres ; – défauts de bétonnage avec mise à nu de conduits, voire de câbles, avec éventuellement observation de rupture de fils ou de câbles ; – fissures longitudinales suivant le tracé des câbles dans les âmes ou dans les talons avec traces de circulation d'eau dans les fissures ; – décollement des cachetages d'ancrage d'about de précontrainte longitudinale ou transversale ; – fissures longitudinales ou transversales avec passage d'eau à travers le hourdis (notamment aux reprises de bétonnages), si le hourdis est précontraint transversalement ; – fissures verticales ou obliques dans les entretoises avec traces de circulation d'eau, si celles-ci sont précontraintes. Sur ce type de structure, l'absence de désordres apparents ne signifie pas que la précontrainte est saine : une dégradation de celle-ci peut ne pas se traduire par des symptômes apparents. Ainsi, une résistance à la traction du béton élevée, au demeurant favorable, peut masquer une perte de précontrainte conduisant à un risque plus important de rupture fragile. Ce risque est d'autant plus important que le nombre de poutres est faible transversalement. Un nombre important de poutres liées transversalement par un entretoisement efficace peut apporter une redondance bénéfique à la robustesse de la structure.
ÉTAPE 3 AUSCULTATION	Cette étape répond au double objectif d'estimer l'état de la précontrainte par des méthodes spécifiques d'investigation et d'auscultation, et d'évaluer l'aptitude au service de l'ouvrage. L'auscultation, l'évaluation de la capacité portante résiduelle et l'évaluation de l'aptitude au service sont réalisées selon la méthodologie du guide technique « Viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP) » du LCPC [3] **3.1 Les 3 niveaux d'investigations du guide du LPC** Ce guide définit 3 niveaux d'investigations, de N1 à N3, théoriquement déclenchés successivement suivant les résultats de chaque étape. Les résultats de l'analyse de risque [8] conduisent également à une recommandation du niveau d'analyse N1 à N3 à mener en première analyse.

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Niveau d'investigation N1

Cette étape permet principalement d'évaluer la qualité d'injection des conduits de précontrainte (présence ou absence de coulis de ciment ou de produits apparentés dans les conduits de précontrainte) par un examen de l'état des conduits de précontrainte par gammagraphie, radiographie ou radioscopie, et éventuellement tomographie ultrasonore. On se reportera à la fiche B5-1 pour plus de détails et éventuellement à la fiche B1-11 (à paraître).Cette étape peut permettre de détecter une présence éventuelle de ruptures de fils ou de torons, mais cette détection reste non systématique car les investigations gammagraphiques s'effectuent par sondage (les investigations sont effectuées à l'aide de clichés localisés sur certaines zones des câbles). Les examens gammagraphiques et radiographiques permettent également de détecter localement les conduits écrasés, les courbures anormales, etc.

À noter que l'on fera généralement précéder les investigations gammagraphiques par un repérage radar pour s'assurer de la position des conduits avant le positionnement des clichés gammagraphiques, vérifier la conformité du tracé des conduits et le cas échéant la conformité du ferraillage passif d'effort tranchant. (cf. méthodologie E2-1) ne permet en aucune façon d'évaluer la présence ou l'absence de coulis dans des conduits métalliques, que ceux-ci soient en feuillard ou en tube.

La limite des investigations par gammagraphie est la non-détection d'une éventuelle présence de corrosion sur les armatures.

Selon l'importance du manque de coulis constaté pour un pourcentage donné de conduits, le guide du LCPC [3] conduit soit à une surveillance normale, soit à passer au niveau d'investigation N2. De même lorsque l'ouvrage présente des défauts d'étanchéité, de drainage ou de bétonnage, voire des désordres graves (défauts de corrosion, etc.) on enchaîne les étapes N1, N2, voire N3. Par précaution, ce niveau d'investigation N2 est également exigé pour les ouvrages conçus avant la parution de la directive provisoire sur l'exécution des ponts en béton précontraint d'août 1966 et le dossier pilote du Sétra de 1967 [1].

Lorsque les examens gammagraphiques et radiographiques ne sont pas applicables (par exemple du fait des contraintes de radioprotection), il est nécessaire de passer directement au niveau d'investigation N2.

Il est possible que des examens gammagraphiques et radiographiques aient déjà été menés sur l'ouvrage, dans ce cas une exploitation des résultats de ces investigations doit permettre de statuer sur l'état d'injection de la précontrainte et de passer aux étapes suivantes, car il n'y a pas de raison pour que l'état d'injection ait évolué depuis les investigations précédentes.

> *Commentaire : des pathologies récentes sur des câbles de précontrainte extérieure semblent montrer qu'en milieu très agressif (bord de mer, salage intense), le coulis n'apporte qu'une protection partielle des aciers contre la corrosion. Il paraît prudent dans ce cas de ne pas se contenter des seuls clichés gammagraphiques et de compléter ces investigations non destructives par des fenêtres d'observation telles que décrites au niveau N2.*

Niveau d'investigation N2

Cette étape permet d'évaluer qualitativement la précontrainte par ouverture de fenêtres afin d'examiner l'état des câbles (cf. fiche A1-9). Elle permet notamment d'examiner le type de corrosion éventuelle : simple enrouillement, piqûres de corrosion, cratères, corrosion généralisée. Elle permet également de prélever des échantillons de coulis, d'eau ou, le cas échéant, d'armatures rompues à des fins d'analyse en laboratoire (cf. fiche A2-3). En cas de présence d'eau il est nécessaire de faire des mesures de pH. L'ouverture de fenêtres permet aussi de pratiquer l'essai qualitatif dit « du tournevis plat » afin de détecter une détention éventuelle de fils ou de torons.

Les fenêtres sont réalisées en nombre assez réduit (de l'ordre de 3 à 6 pour un ouvrage standard de 1 à 3 travées) et leur taille n'excède guère 20 cm de diamètre ou de côté (lorsqu'aucune mesure de tension à l'arbalète n'est associée). Il est également possible de réduire la taille des fenêtres et d'y introduire un endoscope souple ou encore mieux un vidéo-endoscope (cf. fiche C1-5).

Le guide du LCPC [3] fournit des indications sur la position des fenêtres ainsi que sur les précautions à prendre pour les ouvrir afin d'éviter de blesser les armatures de précontrainte, et pour les refermer afin de bien protéger les câbles.

Si les résultats sont satisfaisants (absence de corrosion, de fils rompus, de pâte blanche et d'eau dans les conduits), on se dirige vers une surveillance normale. Dans le cas contraire, et notamment si un risque de corrosion fissurante sous tension existe, ou, si les observations montrent une corrosion généralisée sur au moins 5 à 10 % des armatures observées (ou une analyse des matériaux concluant à des risques de corrosion) alors il convient de passer au niveau d'investigation N3.

Commentaire : à partir du moment où l'étape N2 nécessite l'ouverture de fenêtres, il peut être judicieux d'en profiter pour ouvrir des fenêtres permettant de pratiquer des mesures de tension par arbalète, ce qui revient à enchaîner les niveaux N2 et N3. Dans la mesure où les principales investigations des niveaux N2 et N3 reposent sur l'ouverture de fenêtres, certes plus importantes dans le cas du niveau N3, il semble nécessaire de s'interroger en amont de la réalisation d'investigations du niveau N2 sur la finalité du diagnostic : en cas d'évaluation souhaitée par un recalcul par exemple, on passera directement au niveau N3 afin d'optimiser le nombre de fenêtres ouvertes sur l'ouvrage.

Niveau d'investigation N3

Cette étape participe à l'objectif d'évaluer la capacité portante résiduelle de l'ouvrage en pratiquant diverses méthodes d'auscultation de la précontrainte et de la structure, afin de permettre un recalcul de l'ouvrage (cf. étape 3.2).

La principale méthode d'auscultation présentée dans le guide du LCPC [3] est la mesure de tension par l'arbalète. Cette méthode, décrite dans la fiche C4-3, permet d'évaluer la tension résiduelle dans les fils ou torons et ceci quel que soit le degré de corrosion affectant l'armature. Elle est donc particulièrement intéressante car elle permet d'avoir un échantillon de valeurs réelles de tension des fils ou des câbles. Ces tensions peuvent ensuite être exploitées en vue d'un recalcul. À noter cependant que la méthode nécessite l'ouverture de grandes fenêtres et qu'elle est par conséquent destructive. Il est donc nécessaire de limiter au maximum le nombre de mesures. Les fenêtres ne permettent d'accéder qu'à 1 ou 2 câbles et seuls les fils ou torons visibles et correctement dégagés peuvent être testés. L'information issue des essais à l'arbalète est donc forcément partielle.



Arbalète en position de mesure sur un fil en sous-face de poutre de VIPP (Cerema)



Ouverture d'une petite fenêtre pour sondage de l'état de la précontrainte (Cerema)

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

D'autres méthodes sont citées dans le guide du LCPC [3] :

– la méthode de libération des contraintes. Cette méthode est décrite dans la fiche C3-16. Elle permet une mesure directe de la contrainte en surface du béton. La contrainte dans la fibre expertisée en est alors déduite en tenant compte des auto-contraintes déterminées à partir de modèles numériques pré-calculés. L'interprétation est donc complexe ; ce n'est pas une méthode de « première intention » et son utilisation est plutôt réservée en cas de doutes ou de difficultés d'application, de mauvaise représentativité des mesures directes de tension dans les câbles ou d'incohérence entre les calculs théoriques et les constats de terrain.
– la courburemétrie (cf. fiche C3-12). Les perspectives d'emploi de cette méthode envisagées initialement pour l'évaluation des VIPP se révèlent aujourd'hui limitées. Les premières expérimentations en vraie grandeur sur des VIPP ont, en effet, montré que si les courburemètres détectaient bien la « limite de fissuration » à mi-portée d'un VIPP, celle-ci pouvait être très supérieure à la « limite de décompression » qui est recherchée pour remonter à la précontrainte résiduelle. Il est préconisé de réserver cette méthode, soit aux ouvrages hyperstatiques pour détecter les joints décomprimés ou les fissures respirantes, soit aux VIPP, à la condition qu'ils présentent déjà la trace d'une fissure de type flexion, et que la résistance à la traction du béton a donc localement été dépassée. Ceci limite donc beaucoup son champ d'application sur les VIPP.

Commentaire : l'identification de ruptures de fils ou de câbles par la technique de l'arbalète est variable en fonction de la qualité de l'injection de la zone testée. En effet, les ruptures d'unité de précontrainte n'ont qu'un effet très local sur la tension si l'injection est bonne, du fait du ré-ancrage dans le coulis. En l'absence d'injection ou en cas de mauvaise injection, les ruptures de précontrainte se répercutent sur une plus grande longueur de câble et les mesures à l'arbalète ont plus de chance de les détecter.

3.2 Evaluation de la capacité portante résiduelle par recalcul (cas d'investigation N3)

Le niveau N3 du guide du LCPC [3] prévoit une évaluation structurale basée sur un recalcul de l'ouvrage sous surcharges.

Cette étape n'est pas développée en détail dans le cadre de cette fiche mais les guides méthodologiques « Guide pour l'évaluation structurale et la réparation des Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension (VIPP) » [6] et « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art » [10] donnent la démarche à suivre pour réaliser cette évaluation structurale en s'appuyant sur les résultats des investigations.

Certaines investigations supplémentaires sur la précontrainte, le ferraillage passif, le béton, la durabilité, la géométrie de la structure et la reconnaissance des superstructures peuvent être nécessaires à la réalisation de ce recalcul. Le guide méthodologique « Guide pour l'évaluation structurale et la réparation des Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension (VIPP) » [6] décrit les investigations possibles et leurs utilisations.

Commentaire : bien que réservée aux ouvrages requérant le niveau d'investigation N3, une évaluation structurale peut également être nécessaire dans les autres cas si des modifications des conditions d'exploitation sont envisagées.

Investigations supplémentaires sur les armatures de précontrainte

L'essai principal à mener est l'essai à l'arbalète, déjà évoqué précédemment et décrit dans la fiche C4-3. Cet essai permet d'établir des hypothèses sur les valeurs de précontrainte résiduelle à prendre en compte (des éléments sur cette prise en compte sont donnée dans le guide [6]). Cet essai constitue un élément indispensable lors du recalcul d'un ouvrage, notamment lorsqu'il existe une incertitude sur les caractéristiques mécaniques des câbles de précontrainte (ce qui est *a priori* le cas pour les ouvrages antérieurs à 1971, notamment vis-à-vis des propriétés de relaxation).

Il est souhaitable de s'assurer de la position des câbles qui peut notablement différer de celle des plans. Seule la position des câbles relevés est facilement accessible par des méthodes d'investigations non destructives. On se reportera à la fiche C1-1 pour plus de détails.

Enfin, selon l'état d'enrouillement des aciers de précontrainte (visible ou non à l'œil nu), il peut être pertinent de réduire leur résistance et leur ductilité dans l'approche sécuritaire de la structure (recalcul aux ELU).

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Investigations sur le ferraillage passif

Selon les informations sur le ferraillage passif disponibles dans le dossier d'ouvrages, il peut être nécessaire de mener des investigations pour vérifier la conformité des plans de ferraillage ou pour connaître le ferraillage en cas d'absence de plans en des lieux choisis par le bureau d'études. On se reportera notamment aux fiches B2-1 et C1-1 pour plus de détails. Comme il est courant d'observer des enrobages très différents de la théorie, une mesure de l'enrobage moyen est souhaitable. On se reportera à la fiche B2-1 pour plus de détails. Cet enrobage doit, principalement pour les armatures disposées en premier lit, être comparé aux résultats des essais du béton (profondeur de carbonatation notamment).

On profitera également des fenêtres ouvertes à l'étape N2 pour valider les résultats des investigations sur le ferraillage passif.

Investigations sur le béton

Les dossiers d'ouvrages ne permettent pas toujours de connaître la résistance des bétons, soit que l'information n'est pas présente soit qu'elle ne peut être considérée comme fiable.

Pour les ouvrages réalisés avant 1965, il convient le plus souvent de réaliser des prélèvements (cf. fiche A1-1) et d'effectuer des essais spécifiques en s'appuyant sur la norme NF EN 13791/CN [11] pour déterminer les caractéristiques de résistance des bétons. On suivra les indications de la fiche D1-7 pour la réalisation de ces essais.

Pour les ouvrages réalisés après 1965, il est en général possible de baser les recalculs sur les résistances des bétons issues du dossier d'ouvrage (ces valeurs de résistance ne doivent pas être utilisées telles quelles, mais doivent être adaptées, suivant que les résistances indiquées sont données sur éprouvette cubique ou cylindrique, en valeur moyenne, nominale ou caractéristique, à 28 ou à 90 jours). Il est également possible de procéder à des mesures de résistance *in situ* comme pour les ouvrages réalisés avant 1965.

Il est important de prendre en compte les différentes phases de réalisation de l'ouvrage (préfabrication foraine, béton de clavage, etc.) et les éventuels changements de formulation de béton.

L'aspect général de l'ouvrage permet également de se faire une première idée sur l'homogénéité des caractéristiques mécaniques de l'ouvrage.

Des investigations qualitatives (carbonatation, chlorures, corrosion des aciers passifs, etc.) doivent également être menées sur l'ouvrage dans le cadre du diagnostic pour évaluer sa pérennité. On se reportera à la méthode D1-1 qui détaille l'ensemble de ces investigations.

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Investigations sur la géométrie de la structure

Dans l'optique du recalcul, il est possible de réaliser des levés géométriques de l'ouvrage pour mieux cerner ses dimensions et ainsi reconstituer sa géométrie réelle. Ce levé géométrique permet éventuellement d'affiner les coefficients de sécurité à l'ELU.

Investigations sur les superstructures

Il est souhaitable d'effectuer un levé géométrique des superstructures présentes sur l'ouvrage ainsi que des divers profils en travers selon la longueur. Ces levés permettent d'affiner les chargements pris en compte dans les modèles.

Concernant la chaussée et l'étanchéité, il est nécessaire d'effectuer un relevé de leurs épaisseurs sur plusieurs profils. Ce relevé peut être effectué par des méthodes non destructives, on se reportera à la fiche C1-3 pour plus de détail.

L'étanchéité et l'assainissement étant des points sensibles des VIPP, il est souhaitable dans le cadre d'investigations poussées et avant d'éventuels travaux de s'assurer de l'état de l'étanchéité sous chaussée et trottoirs, des joints de chaussée et des dispositifs de drainage et d'assainissement. On se reportera à la fiche B6-3 pour plus de détails.

Commentaire : dans l'hypothèse de travaux de renforcement structuraux sur l'ouvrage, il peut être intéressant d'anticiper certaines investigations complémentaires comme l'adhérence du béton dans le cas de renforcement par matériaux composites, le repérage précis de la position des câbles dans des zones particulières, etc.

3.3 Suites à donner au diagnostic

Comme proposé dans le guide du LCPC [3], en fonction des résultats des investigations (de niveau N1, N2 et N3) et du recalcul éventuel, et dans l'hypothèse où le risque n'est pas estimé comme étant maitrisé, on s'achemine vers différents types possibles de traitement dont le choix nécessite une solide étude de réparation :

- une reconstruction partielle ou totale de l'ouvrage ;
- un renforcement par précontrainte additionnelle pour des insuffisances de résistance en flexion ;
- un renforcement par composites, notamment pour des insuffisances de résistance à l'effort tranchant ou des insuffisances modérées en flexion à l'ELU ;
- un renforcement de la bielle d'about à l'aide de matériaux composites ;
- une réfection de la chape d'étanchéité, du drainage, des cachetages, etc.
    - une injection des conduits vides de coulis lorsque cela est possible,
    - une injection d'inhibiteurs de corrosion sous ultrasons de puissance,
    - une protection cathodique.

Dans l'attente de la mise en œuvre de ces traitements et afin d'assurer la sécurité des usagers, un niveau de surveillance particulier (surveillance renforcée voire haute surveillance) accompagné éventuellement de restrictions des conditions de circulation (limitation de tonnage, réduction de la largeur chargeable, etc.) pourra être décidé.

RÉFÉRENTIEL

[1] Sétra, Dossier pilote VIPP 67, décembre 1967

[2] Sétra, Guide de conception des VIPP, février 1996

[3] LCPC, Guide technique VIPP - Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 72p - octobre 2001

[4] LCPC, Mesures de la tension des armatures de précontrainte à l'aide de l'arbalète – Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, 23p, novembre 2009

[5] Abdunur C., (1985) – Mesure de contraintes sur ouvrages d'art par une méthode de libération miniaturisée. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°138, juillet-août 1985, LCPC, pp 5-14

[6] Cerema, Guide pour l'évaluation structurale et la réparation des Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension (VIPP) (à paraître)

[7] Cerema, Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art - Fascicule 32 Ponts en béton précontraint, janvier 2019

[8] Sétra, Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes – novembre 2010

[9] Sétra, Pont à poutres précontraintes par post-tension (VIPP), IQOA Catalogues des désordres des types d'ouvrages et appuis non courants, 35p, 2006.

[10] Cerema, Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art, août 2015

[11] AFNOR, NF EN 13791/CN : Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton

Recueil de méthodes d'auscultation des matériaux et structures d'ouvrages d'art :

- A1-1 : Carottage de béton
- B1-7 : Mesure de la cohésion superficielle du béton
- B1-11 Pulse écho et tomographie ultrasonores (à paraître)
- B2-1 : Mesure de la profondeur d'enrobage et du diamètre des aciers
- B2-2 : Mesure de la profondeur de carbonatation
- B2-3 : Prélèvements de poudre en béton pour mesure de la teneur en agents agressifs
- B5-1 : Gammagraphie - Radiographie - Radioscopie
- B6-3 : Observations et essais en place, par le biais de fenêtres, de chape, chaussée, de renformis
- C1-1 : Technique radar pour localisation d'armatures
- C1-3 : Technique radar pour mesure d'épaisseur
- C1-5 : Endoscopie - Application à la recherche de vide et / ou de zones corrodées dans les conduits de précontrainte
- C3-12 : Courburemétrie
- C3-16 : Mesure de contrainte par libération
- C4-3 : Mesure de la tension des câbles et armatures de précontrainte au moyen de l'arbalète
- D1-1 : Diagnostic de corrosion du béton armé
- D1-7 : Évaluation e la résistance du béton *in-situ*
- D1-8 : Détection de vides internes (cavités, feuilletage, délamination, etc.) dans du béton (à paraître)

LOGIGRAMME

Un logigramme ou un schéma décisionnel, visualisant de façon séquentielle et logique les actions à mener et les décisions à prendre pour aboutir au diagnostic est donné ci-après à titre de guide.

E2-7 : DIAGNOSTIC DES VIPP (ISSU DU GUIDE LCPC [1])

