

3 et 4 octobre 2018 à Toulouse et 5 octobre au Pic du midi  
Colloque Le Pont : les Ouvrages de Génie Civil : du diagnostic aux travaux

Ce 23<sup>ème</sup> colloque sera principalement consacré à la surveillance ainsi qu'aux phases préparant les actions correctives des ouvrages. Ces actions, qu'elles concernent l'entretien courant, la réparation ou le renforcement, nécessitent systématiquement, la réalisation d'un diagnostic.

Le rapport interministériel commandé par l'inspection générale de l'administration rendu en novembre dernier, a mis en évidence le manque d'entretien et l'insuffisance des missions de diagnostic relatifs aux ouvrages d'art gérés par les collectivités territoriales.

Nous ferons donc le point sur toutes les techniques de surveillance, d'inspection et d'investigation qui conduisent au diagnostic d'un ouvrage.

La « table ronde » sera consacrée, cette année, à l'ONR (Observatoire National de la Route). L'IDRRIM qui en est le coordinateur nous en présentera les objectifs attendus.

Nous présenterons également des technologies nouvelles relatives aux travaux de réparation et de renforcement.

Un pont vers les étoiles, pourquoi ce titre ?

Pour faire un lien avec notre « troisième » journée. En effet, fort du succès de l'an passé avec la visite de l'œuvre de Pierre Paul Riquet, le Canal du Midi, nous vous proposons, cette année, la visite de l'Observatoire du Pic du Midi de Bigorre.

Construit à partir de 1870, à une altitude de 2877 m, il représente à la fois une construction tout à fait exceptionnelle, et une fonctionnalité scientifique remarquable.

Après une soirée étape qui se voudra très pyrénéenne, nous atteindrons le pic, le lendemain, par téléphérique. Nous visiterons l'observatoire, en admirerons l'exceptionnel paysage, nous y déjeunerons, et nous rejoindrons Toulouse en fin d'après-midi le 5 octobre.

Pour vous mettre en bouche, la soirée traditionnelle du colloque, le 3 octobre, sera organisée dans les locaux de l'observatoire de Toulouse-Jolimont. Un guide spécialisé nous en présentera les différentes installations, et nous fera également l'historique des équipements du Pic-du-Midi.

En espérant que l'ensemble de ce programme vous convienne, je vous dis à bientôt, en vous recommandant de vous inscrire à l'avance, et de prévoir des vêtements chauds pour la visite du Pic.

***Christian Tridon, Président de l'association « Le Pont ».***



### Rappel du Programme

**Mercredi 3 octobre 2018**

8h00 : Accueil des participants et contacts exposants

9h00 : Ouverture et présentation du colloque

Christian Tridon (Association LE PONT)

L'ensemble du colloque est animé par Rémi Loloum

#### A. La surveillance des ouvrages

9h10 : Les principes de gestion du patrimoine et la démarche de diagnostic  
Bruno Godart (IFSTTAR)

#### B. Les procédés d'investigation

9h40 : Sur les ouvrages en maçonnerie  
Gilles Doublot (SNCF)

10h00 : Sur les ouvrages en béton armé  
Nicolas Bessoule (Sixense-Concrète)

10h20 : Sur les ouvrages précontraints  
Florent Plassard (Cerema), Bernard Tonnoir (LERM)

10h50 : Pause-café, échanges et visite de l'exposition technique  
*Animation et présentation des stands par Jean-Claude TALBERT*

11h20 : Sur les ouvrages métalliques  
Marjorie Bourquencier (Cerema)

11h40 : Sur les ouvrages à câbles  
Bastien Vaurigaud (Cerema)

### C. . Les méthodes d'instrumentation

12h00 : Renaud Leconte (DIADES)

### D. L'évaluation dynamique sur structure béton et métal

12h20 : (Sites)

12h40 : *Déjeuner sur place parmi l'exposition technique*

### E. Interventions entreprises

14h15 – intervention à définir

14h30 – intervention à définir

14h45 – intervention à définir

### F. Table ronde : l'Observatoire National de la Route (ONR)

Quel est l'état réel de nos infrastructures ?

16h15 : Pause et échanges avec les exposants

*Animation et présentation des stands par Jean Claude TALBERT*

### G. Interventions des étudiants

16h45 : La Ville du futur "sans dessus-dessous"

### H. Le « Tour du Monde » des graphes sur les ouvrages

17h15 : *Transformer les ouvrages en ouvrages d'art !!*

Patrick Guiraud et Noël Richet

### I. La vie des organisations professionnelles dans le domaine du Génie Civil

17H30 : Présentation des associations

AFGC : (Association Française de Génie Civil)

ASCO-TP : (Association pour la Connaissance des Travaux Publics) et le musée virtuel des TP ([www.planete-tp.com](http://www.planete-tp.com))

IMGC : (Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil)

STRRES : Présentation des Guides Techniques et des RECOS

18h30 : FIN de la 1<sup>ère</sup> JOURNEE

18h50 : Départ vers le lieu de la soirée

19h30 : *Dîner à l'Observatoire de Jolimont-Toulouse*

## **Jeudi 4 octobre 2018**

8h00 : Accueil des participants et contacts exposants

### J. L'évaluation de la résistance résiduelle d'une structure existante

9h00 : Les principes généraux d'une telle démarche

Jean-Michel Lacombe (Cerema)

- 9h20 : Pour les structures en maçonnerie  
Thomas Stablon (ARCADIS)
- 9h40 : Pour les structures en béton armé et précontraint  
Jean-Christophe Carles (Cerema)
- 10h00 : Pour les structures métalliques  
Jean-François Douroux (RATP)
- 10h20 : Pour les structures à câbles et haubans  
Jean-Bernard Datry (SETEC)
- 10h40 : Pause et échanges avec les exposants  
*Animation et présentation des stands par Jean Claude TALBERT*

### K. Interventions entreprises

#### L. La protection cathodique des bétons armés

- 11h45 : Généralités sur la protection cathodique des bétons  
Raoul François (INSA Toulouse)
- 11h55 : Mise en œuvre des différentes techniques  
Philippe Le Hö (CCFA)
- 12h05 : Formation et certification CEFRACOR  
Raoul François (INSA Toulouse)

#### M. Le rôle du MOA et de son AMO

- 12h15 : Laurent Labourie (Cerema)

#### N. Les normes attachées aux travaux de réparation

- 12h45 : Christian Tourneur (Directeur Scientifique de Freyssinet), Président de la Commission CNROA
- 13h05 : Conclusion du Colloque  
Christian Tridon et Bruno Godart
- 13h20 : Déjeuner sur place et visite de l'exposition technique
- 15h00 : *Départ pour le Pic du Midi (pour les personnes inscrites)*

## Comptes rendus des étudiants :

Nous reproduisons ici les comptes rendus rédigés par des groupes d'étudiants des établissements présents

### ► ISA-BTP

#### Les principes de gestion du patrimoine et la démarche de diagnostic

##### Bruno GODART (IFSTTAR)

Une gestion attentive des infrastructures est nécessaire afin :

- de garantir la sécurité des usagers et des tiers ;
- d'assurer un niveau de service donné (modulable en fonction des itinéraires) ;

- d'assurer la conservation du patrimoine sur le long terme.

Une telle gestion nécessite une approche à l'échelle de l'ouvrage, mais également une approche globale à l'échelle du réseau considéré.

La notion de gestion induit celle de prévision. Il s'agit de prévoir l'évolution de l'état des ouvrages pour pouvoir bâtir des stratégies de maintenance. Cette prévision, difficile à réaliser, est fondée sur 2 méthodes :

- la première (approche globale) consiste à extrapoler de courbes d'évolution du suivi des ouvrages existants ;
- la seconde (approche scientifique) est basée sur des modèles de vieillissement élaborés avec des lois de dégradation des matériaux.

3 stratégies de maintenance peuvent être adoptées pour les ouvrages d'art :

- La maintenance corrective, dans ce cas aucune action n'est entreprise tant que la performance de l'ouvrage n'a pas atteint le seuil acceptable minimal requis, ce qui peut conduire à de nombreuses interventions simultanées dans le cas d'ouvrages de même génération ;
- La maintenance systématique, consistant à mener des actions à intervalles de temps réguliers pour maintenir la performance à un niveau acceptable, stratégie coûteuse mais permettant de fortement réduire la vitesse de dégradation de l'ouvrage ;
- La maintenance conditionnelle au cours de laquelle des actions sont conditionnées par des résultats d'inspection afin de maintenir la performance à un niveau acceptable, méthode demandant donc une politique d'inspection rigoureuse.

L'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des OA (ITSEOA) préconise la réalisation de contrôles annuels, de visites d'évaluation et d'inspections détaillées périodiques. Des travaux d'entretien et de remise en état, voire des mesures de sécurité éventuelles peuvent ainsi être organisés.

Lorsqu'un ouvrage malade est détecté, il est nécessaire d'établir un diagnostic. Celui-ci est réalisé à l'aide d'une auscultation de l'ouvrage, et de recalculs. Une fois le diagnostic établi, des décisions relatives à l'ouvrage peuvent être prises.

Afin de guider la réalisation des auscultations nécessaires au diagnostic, l'IFSTTAR a édité un cahier interactif sur l'auscultation des ouvrages d'art. Celui-ci présente sous forme de fiches synthétiques les méthodes d'auscultation et les méthodologies de diagnostic.

(Pierre STINGLHAMBER)

### **Ouvrages à câbles**

#### **Bastien VAURIGAUD (Cerema)**

Les câbles d'un ouvrage d'art sont exposés à de fortes sollicitations, ils constituent donc un élément critique et sensible de l'ouvrage, qu'il est important de surveiller.

Les ouvrages à câbles comportent de nombreux points à surveiller : massifs d'ancrage, ancrage des câbles, point d'attache, sorties d'ancrages, points d'épanouissement des câbles, etc.

Plusieurs types de pathologies peuvent affecter ces ouvrages et notamment des défauts de réglage, et l'endommagement des câbles ou des ancrages. Les câbles composant ces ouvrages peuvent être de différents types suivant les ouvrages, chaque type de câble comportant des pathologies spécifiques.

## Les manifestations régionales

Tous ces facteurs incitent à mettre en place plusieurs méthodes d'investigation pour déceler à temps les différents problèmes pouvant survenir.

Dans un premier temps, on peut mettre en avant les investigations visuelles. Des signes visibles vont être recherchés tels que des ruptures de fils, des gonflements, des écoulements d'eau etc. Ces investigations sont en général non destructives mais peuvent parfois nécessiter le décapage des couches anticorrosion.

Dans un second temps, on procède aux investigations internes, précisées dans le cahier interactif de l'IFSTTAR - Auscultation des ouvrages d'art - série B5 Câbles. De nombreux procédés d'investigations internes existent. Ces techniques permettent, entre autres, l'évaluation de l'oxydation interne ou encore la recherche de défauts de section.

Afin de contrôler le bon fonctionnement de la structure, il peut être nécessaire de mesurer l'effort de traction dans les câbles. On retrouve les méthodes d'investigation associées dans le cahier d'auscultation de l'IFSTTAR, série C4.

Les nombreuses méthodes d'investigation permettent d'apporter des réponses précises concernant l'état de la structure. Cependant des difficultés subsistent pour le contrôle des points sensibles, d'où la nécessité de mettre au point de nouvelles méthodes d'investigation. Il faut aussi s'assurer de coupler les techniques d'investigations par une étude poussée des documents de l'ouvrage ainsi que la mise en place d'instrumentations sur l'ouvrage.

*(Hugo INGERT et Valentin LE CLAINCHE)*

### ***Évaluation dynamique des ouvrages béton et métal***

#### ***Antoine CLEMENT (SITES)***

Les oscillations d'une structure dépendent de sa masse et de sa géométrie. Lorsqu'une structure réelle est excitée par une impulsion, le mouvement observé est la somme de mouvements élémentaires ou harmoniques.

Les investigations dynamiques permettent, par la mesure des inclinaisons, déformations, vitesses, accélérations, d'évaluer le confort et les sollicitations, mais aussi de vérifier le comportement de la structure.

Afin d'obtenir un confort d'utilisation sur les ouvrages, et notamment les ouvrages légers destinés aux piétons, il est essentiel de mesurer les accélérations pour différents scénarios de chargement dynamiques (vent, piétons, etc.). Lors de cette analyse, les fréquences de résonance de l'ouvrage sont mises en avant. Si elles sont proches de celles générées par les différents scénarios, il sera nécessaire d'augmenter la raideur de l'ouvrage ou de l'équiper avec des amortisseurs, afin de changer sa fréquence propre.

Ces analyses permettent également de mesurer ou d'évaluer les cycles de chargement pour le calcul de la résistance à la fatigue de l'ouvrage.

Pour déterminer le comportement dynamique réel de l'ouvrage et identifier ses caractéristiques modales, des mesures peuvent être réalisées sur l'ouvrage. Elles nécessitent la mise en place de capteurs, le choix d'un mode d'excitation, et une analyse temporelle et fréquentielle.

Un modèle numérique s'avère important, pour permettre une meilleure compréhension du comportement de la structure et une meilleure définition des marges de sécurité. Il peut également être recalé à l'aide des mesures réalisées sur l'ouvrage.

La surveillance du comportement d'un ouvrage peut aussi être réalisée à l'aide d'une évaluation du comportement dynamique de l'ouvrage. Elle permet par exemple d'identifier des comportements anormaux ou de vérifier le bon comportement de l'ouvrage après un phénomène exceptionnel.

L'évaluation du comportement dynamique d'un ouvrage est donc un outil précieux pour l'analyse structurale, et constitue un outil complémentaire pour la surveillance des ouvrages. Cependant ces techniques nécessitent une expertise spécifique.

(Marius AUER et Nicolas ROBION)

### **Table ronde : L'ONR (Observatoire National de la Route) : Quel est l'état réel de nos infrastructures ?**

#### *Étaient représentés :*

- L'IDRRIM par David Zambon (Directeur général)
- La DIR Sud-Ouest par Nathalie Richer
- Le Conseil départemental du Gers par Thierry Cayret
- La Communauté de commune du Grand Armagnac par Thierry Duprat

### **Constat des différents acteurs :**

#### *O. DIR Sud-Ouest :*

La DIR Sud-Ouest a une bonne connaissance technique de l'état des ouvrages de son secteur. De plus, elle indique que la décentralisation a réduit le patrimoine de la DIR. Elle affirme également que les budgets augmentent pour les réparations sur le patrimoine existant mais que le budget prévu pour les ouvrages neuf a diminué.

#### *P. Conseil départemental du Gers :*

Aujourd'hui, le *Conseil départemental du Gers* obtient difficilement des budgets pour l'entretien auprès des donneurs d'ordre qui baissent les crédits alloués, ce qui a pour conséquence la génération d'une dette grise. Il affirme qu'il y a une pression de la part de l'Etat pour rénover le patrimoine.

#### *Q. Communauté de communes du Grand Armagnac :*

Cette Communauté de communes constate une absence de techniciens et donc de compétences pour l'étude du patrimoine depuis la décentralisation des responsabilités concernant certaines zones. En outre, un oubli de l'entretien des ouvrages d'art au profit de celui des chaussées est constaté. Enfin, il y a un manque de moyens humains et financiers.

### **Les actions de la part de l'Organisation Nationale de la Route :**

La création de l'Observatoire National de la Route vise à réunir les gestionnaires routiers, l'Etat, les collectivités et la profession routière afin de mettre en œuvre deux orientations stratégiques :

- A. Partager les connaissances pour évaluer l'efficacité des politiques techniques qui répondent à une gestion économe des réseaux routiers ;
- B. Objectiver l'état du réseau routier afin d'éclairer les décideurs pour mieux optimiser l'efficacité des missions dont ils ont la responsabilité.

### Des problèmes subsistent :

- A. Il y a une grande difficulté quant à la justification du budget pour des opérations de maintenance invisibles. Actuellement, seulement un entretien superficiel des routes est réalisé.
- B. Des problèmes de communication subsistent. Il est très difficile de sensibiliser la population quant à l'entretien du patrimoine en abordant des sujets très complexes.
- C. Une problématique existe concernant l'économie. Effectivement, l'entretien d'un tel patrimoine coûte très cher et ne génère aucune recette.

*(Mathias Tricoche, Jihanne Aoudane, Margaux Rolland)*

### **Les procédures d'investigation sur les ouvrages métalliques**

**Marjorie BOURQUENCIER (Cerema)**

L'investigation sur les ouvrages métalliques consiste notamment à détecter les faiblesses et caractériser les matériaux.

Préalablement à toute étude, il est de rigueur d'effectuer une analyse de la peinture pour prévenir tout risque de présence d'amiante, de plomb ou de métaux lourds.

#### *Détecter les faiblesses*

La détection de fissures est une action importante à réaliser afin d'éviter tout risque d'effondrement. Elle peut se réaliser sous plusieurs formes :

- A. **Mesure d'épaisseur résiduelle** dont le but est de déterminer la perte de section et de juger de l'atteinte de l'ouvrage notamment par corrosion. Ces mesures sont effectuées par ondes ultrasonores.
- B. **Contrôles non destructif** pour déceler la présence de fissuration et les caractériser.

Pour détecter les fissures il existe plusieurs méthodes :

- **Ressuage** : Consiste à retirer la protection anti corrosion du matériau et d'appliquer un pénétrant. Le matériau sera ensuite lavé et séché pour pouvoir appliquer le révélateur qui permettra de rendre le défaut visible.
- **Magnétoscopie** (maximum 2mm sous la surface) : Consiste à appliquer un champ magnétique qui va être dévié au niveau des défauts, l'application d'une liqueur contenant des particules métalliques permet par la suite de détecter les fissures.

#### *Caractériser les matériaux*

En deuxième point, l'étude des matériaux est tout aussi importante pour essayer de prévoir leur comportement. Les études suivantes sont communes :

- **Examen métallographique** à l'aide d'une empreinte ou d'un prélèvement sur site, permet de caractériser la nature et la densité des inclusions.
- **Mesure de dureté** qualitatif et quantitatif se réalise sur site ou en laboratoire pour caractériser la résistance à la rupture et la dureté du métal.

- **Analyse chimique** pour déterminer la composition chimique du métal et notamment celle du soudage et boulonnage.
- **Essais mécaniques** sur un prélèvement de taille conséquente 4cm à 35cm pour des essais de traction ou de flexion par choc. A travers ces tests, on étudie la capacité du métal à s'opposer à la création d'une fissure.

(Léa GUBIN et Chawal FATHI)



### **Les procédés d'investigation sur les ouvrages en maçonnerie**

**Olivier BOUGEARD (SNCF RESEAU)**

Les ouvrages d'art en maçonnerie sont parmi les plus anciens ouvrages de génie civil au sein du patrimoine d'ouvrages français (beaucoup ont plus de 200 ans). Ces ouvrages doivent alors s'adapter aux nouvelles charges (routières, ferroviaires) auxquelles ils sont soumis. Il est donc primordial de contrôler ces ouvrages et de mettre au point des procédés d'investigation permettant de s'assurer de leur bon état de fonctionnement et de suivre l'évolution des désordres constatés.

Avec un patrimoine de plus de 100 000 ouvrages, comptant 30 000 ponts, la SNCF fait face aux différents désordres que rencontrent ces ouvrages en maçonnerie. Lors de cette conférence, Olivier BOUGEARD, membre de SNCF Réseau, a commencé par introduire le sujet en citant Paul Séjourné, concepteur remarquable de ponts en maçonnerie : « On peut croire impérissable un pont en maçonnerie bien fondé, en bons matériaux, avec une bonne chape bien protégée », « L'eau est l'ennemi mortel des ponts en maçonnerie ».

### **Comment mener des investigations sur les ouvrages en maçonnerie ?**

Il convient premièrement de connaître les pathologies possibles et la manière avec laquelle elles évolueront dans le temps

Les domaines d'auscultation à cibler sont les suivants : le terrain, les conditions hydrauliques et hydrogéologiques, la constitution interne de l'ouvrage ainsi que son fonctionnement.

## Les manifestations régionales

Olivier BOUGEARD conseille par ailleurs d'analyser le dossier de l'ouvrage lorsque cela est possible afin de parfaire sa connaissance de l'ouvrage et ainsi comprendre le déclenchement de certaines pathologies.

Enfin lorsqu'une pathologie est détectée il est important de mener de nouvelles auscultations à intervalles réguliers, cela permet d'assurer le suivi de l'évolution de cette pathologie.

### Techniques d'auscultation non-destructives

La première auscultation non-destructive à mener est l'inspection visuelle, réalisée de manière régulière elle permet d'établir des pré-diagnostic.

Afin de confirmer la présence d'un désordre il est recommandé de réaliser des suivis topographiques à plus ou moins long terme. L'utilisation de géoradar et de ses ondes électromagnétiques peut se révéler être une bonne alternative.

Lorsque les premières auscultations révèlent la présence de fissures, il est important d'effectuer un suivi de cette fissuration, pour cela l'utilisation de témoins et de fissuromètre permet de poursuivre l'auscultation non-destructive.

### Technique d'auscultation destructive

Les sondages carottés sont fréquemment utilisés lors de l'auscultation des ouvrages, ils vont permettre d'étudier la composition et l'état interne de l'ouvrage et permettent de détecter des anomalies invisibles en auscultation non destructive.

### Techniques d'auscultation particulières

Il est parfois impossible de réaliser facilement des auscultations non-destructive ou même des carottages. L'exemple des auscultations subaquatiques illustre parfaitement la présence de grandes difficultés (courants forts, visibilité réduite, grande profondeur, présence d'encombrants). Il est alors de plus en plus fréquent d'utiliser de nouvelles techniques telles que l'imagerie acoustique ou encore l'emploi de robots sous-marins.

Les ouvrages dépourvus d'accès viennent compliquer leurs auscultations. Le déploiement de moyens lourds est souvent nécessaire.

*(Antoine BARBERARENA et Rémi BOURDOISEAU)*

### Les procédés d'investigation sur les ouvrages en béton précontraint

**Florent PLASSARD (Cerema) et Bernard TONNOIR (LERM)**

Les ouvrages en béton précontraint représentent une part importante des ouvrages d'art dans le patrimoine français. La connaissance de l'état des structures en béton précontraint est une question importante. Pour cela plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre telles que l'imagerie, la courburemétrie ou les mesures à l'arbalète.

### L'imagerie dans le génie civil appliqué aux ouvrages précontraints :

La gammagraphie, le radar de structure, les ondes électromagnétiques, l'impact écho, sont des méthodes d'inspection par imagerie. Ces méthodes d'inspection par imagerie présentent certains avantages :

- Connaissance de l'aspect général

- Position et état des armatures
- Qualité du remplissage de la gaine de précontrainte
- Mesures en temps réel
- Essais non destructifs

Ces techniques présentent cependant des limites qui peuvent être de plusieurs ordres. Des limites sur la précision des mesures effectuées, mais aussi sur la difficulté à mettre en œuvre les mesures avec des équipements de taille importante ou bien des endroits inaccessibles aux outils de mesure.

### Mesures à l'arbalète et courburemétrie :

La mesure à l'arbalète est une technique permettant de venir mesurer la tension dans les câbles de précontrainte. Cette mesure nécessite cependant l'ouverture d'une fenêtre dans la gaine de précontrainte, c'est une opération complexe et onéreuse qu'il n'est pas possible d'effectuer pour un grand nombre de mesures dans un ouvrage.

La courburemétrie est une mesure non destructive relativement facile à mettre en place. En mesurant la courbure de l'ouvrage sous un chargement donné et en connaissant la géométrie de l'ouvrage nous pouvons en déduire son module EI.

*Ces méthodes permettent de connaître en partie courante les différentes caractéristiques mécaniques des éléments constituant un ouvrage en béton précontraint. La difficulté qui réside actuellement est l'étude des parties non courantes notamment au niveau des ancrages des armatures de précontrainte.*

(Valentin FADEL)

### Les procédés d'investigation sur les ouvrages en béton armé

**Nicolas BESSOULE (Sixense)**

Les désordres dans les ouvrages d'art en béton armé sont liés à une mauvaise conception ou mise en œuvre lors de la construction, à un défaut d'entretien, ou à un vieillissement des matériaux. Tous ces défauts peuvent engendrer des conséquences très graves surtout s'ils impactent sur la structure ou la sécurité des usagers. Il est donc primordial de les identifier le plus rapidement possible afin de pouvoir les traiter. Pour cela, l'inspection périodique puis l'auscultation sont très importantes. L'auscultation se décompose en deux grandes parties : les méthodes de terrain et les méthodes de laboratoire.

Les méthodes sur le terrain permettent :

- Soit d'analyser la structure et son comportement sous différentes charges, notamment avec des mesures de déformations, de forces ou encore des essais statiques et/ou dynamiques à l'aide de sondes, comparateurs ou encore théodolite. Il s'agit d'un diagnostic concernant la structure.
- Soit d'identifier de manière générale, les matériaux mis en place pour connaître leurs propriétés mais aussi leurs états afin de procéder, par la suite, à un recalcul de la structure. Les méthodes d'auscultations peuvent être réalisées par ondes mécaniques (ultrasons, tomographie...), électromagnétiques (pachomètre, radar), électrochimiques (potentiel et vitesse de corrosion), etc... Il s'agit d'un diagnostic relatif aux matériaux.

Plusieurs ouvrages répertoriant les méthodes sur terrain sont disponibles : « *Surveillance et entretien des ouvrages d'art* » du SETRA, « *Surveillance de santé structurale des ouvrages* » de l'IFSTTAR, « *Auscultation des OA* » du CEREMA etc...

Les méthodes en laboratoire consistent à caractériser précisément les propriétés des matériaux utilisés et détecter la présence ou non de désordres. Aussi, plusieurs méthodes sont utilisées à savoir : les essais mécaniques (résistance à la compression, à la traction...), les analyses chimiques (dosage en ions chlorures, en alcalins ...), les mesures physiques (porosité, densité ...), les observations microscopiques ou encore les essais de vieillissement accéléré.

Ici aussi, il existe un grand nombre de livres à propos de ce sujet : le « *GranDuBé* » de l'AFGC et du RGCU, « *la durabilité des bétons* » de ATILH, « *l'Alcali-réaction du béton* » du LCPC etc...

Les diagnostics structurels et matériaux sont souvent complémentaires. En effet, la reconnaissance de la structure ou son analyse fonctionnelle ne permet pas toujours de conclure sur un désordre apparent. Cependant, une pathologie avérée issue d'un diagnostic matériaux d'un ouvrage peut, elle, avoir une incidence à court ou long terme sur la résistance et ainsi diminuer la capacité portante de la structure. Il est donc primordial de bien choisir la ou les bonnes méthodes d'auscultation.

Afin de les choisir, le bureau d'ingénierie s'appuie sur une fine analyse des Documents d'Ouvrage d'Art et des rapports d'une Inspection Détaillée Périodique. Cela permet de faire un pré-diagnostic et par la suite réaliser le programme d'auscultation adéquat.

(Adrien CHASSAGNE et Camille CHARLES)

### ► Lycée Germaine Tillon, Castelnaudary Classe de BTS

#### Les procédés d'investigation sur les ouvrages métalliques

Marjorie Bourquencier (Cerema)



Les investigations sur ouvrages d'art métalliques :

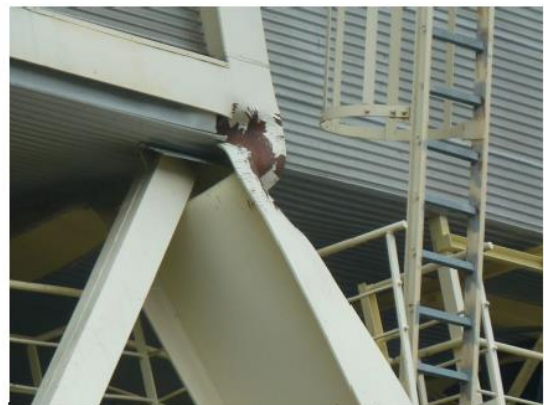
- Détecter les faiblesses de l'ouvrage : la présence de zones fissurées, les zones corrodées.
- Caractériser le matériau : Caractéristiques mécaniques, structure métallographique.
- Conclure sur l'état de l'ouvrage et préparer d'éventuelles interventions.

### Avant Investigations

- Prélèvement sur site de toutes les couches : Opérateur qualifié et matériel adéquat à prévoir, consignes strictes.
- Analyse à réaliser par laboratoire qualifié ; Résultats conditionnant l'exécution des travaux (protection des opérateurs, évacuation des déchets...)
- L'analyse de la peinture est un préalable indispensable à toute intervention sur la protection anticorrosion, si minime soit-elle.

*Détecter les faiblesses de l'ouvrage*

**Mesure des déformations :**



**Mesure d'épaisseur résiduelle des sections:**

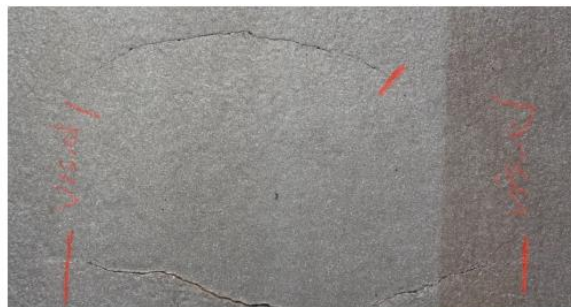
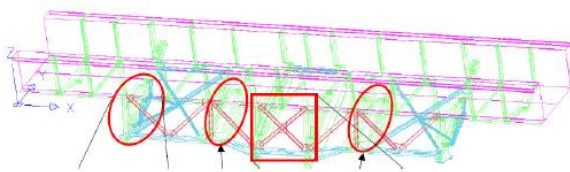
## Les manifestations régionales

- Déterminer la perte de section sur les buses métalliques, les palplanches, les poutres en about de tablier...
- Mesures réalisées par ondes ultrasonores.
- Permet de juger de l'atteinte de l'ouvrage, de la vitesse de propagation, puis de recalculer l'ouvrage si besoin.



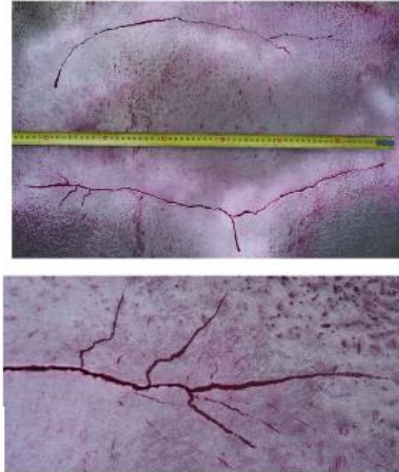
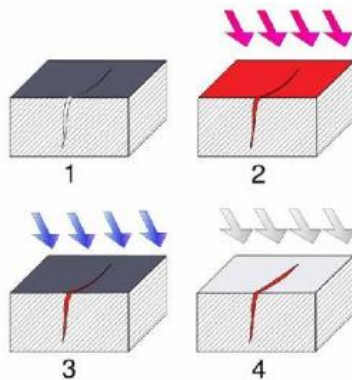
### Contrôles non destructifs:

- Recherche et caractérisation de fissures
- Zones investiguées à définir avec un bureau d'étude
- Retrait de la protection surfacique



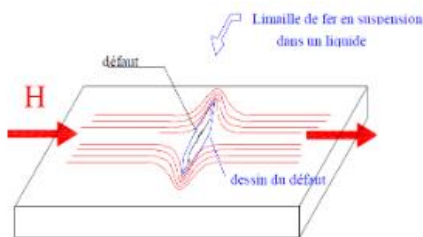
Plusieurs méthodes :

## Ressuage (m. surfacique)



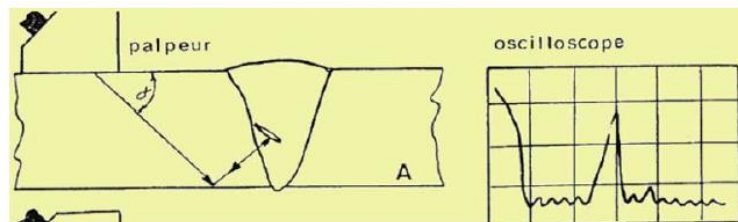
Enlever protection anti corrosion □ appliquer un pénétrant infiltré

## Magnétoscopie (m. surfacique)



Détecter des fissures à faible profondeur □ champs magnétique se déforme lorsqu'il passe sur le matériau défailant.

## Ultrasons (m. volumique)



## Caractériser le matériau

Examen Métallographique :

- permet de caractériser la taille et la forme des grains, la répartition ferrite / perlite, la nature et la densité des inclusions...
- se fait sur des échantillons avec un microscope en laboratoire

Mesure de dureté :

- permet de caractériser la dureté du métal, et d'estimer sa résistance à la rupture ( $R_m$ )

### Sur site : matériel portable



### Dureté en labo

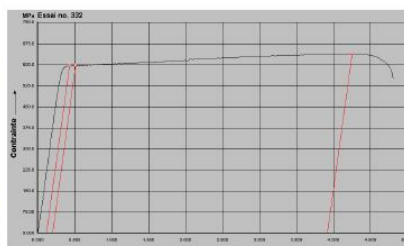


## Analyse chimique:

- permet de déterminer la composition chimique du métal (Mn, Cr, Ni, Cu, P, S, N, Al...)
- analyse réalisée en laboratoire, avec matériel spécifique (matériel portable moins précis)

## Essais mécaniques : traction et flexion par chocs

- permet de déterminer des valeurs caractéristiques du matériau
- essais destructifs pouvant nécessiter de « gros » échantillons



## Les procédés d'investigation sur les ouvrages à câbles

*Bastien Vaurigaud (Cerema Sud-Ouest)*

Les ouvrages à câbles comprennent les ponts suspendus, les ponts à haubans ou les ponts levants :

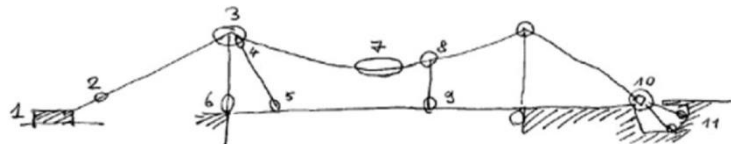


Les principales Pathologies sont :

Au niveau des sections articulées, des appuis, des ancrages, mais également sur les câbles par frottement, par fatigue et par corrosion.

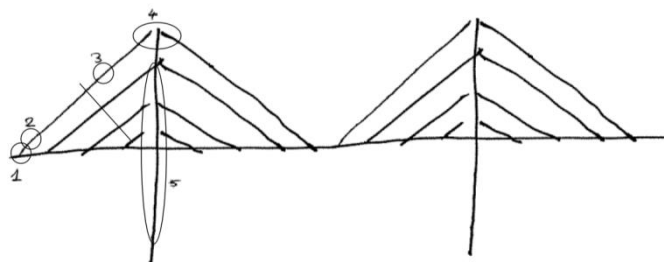
Pour les ponts suspendus, principalement au niveau du massif d'ancrage

### Ponts suspendus



Pour les ponts à haubans, principalement au niveau des ancrages

### Ponts à haubans

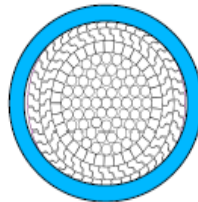


Les grandes familles de câbles :

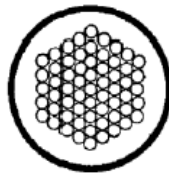
A. Multi-torons parallèles MTP sur les ponts haubanés,



B. Câbles TMC sur les ponts à haubans,



C. Multi-fils parallèles sur les ponts haubanés et suspendus à l'étranger.



Les principales investigations

- Inspections visuelles sur cordes et nacelles ou par caméra, pour relever les désordres extérieurs,
- Estimation de l'oxydation interne,
- Contrôle de la protection des câbles,
- Mesures de la géométrie, des déplacements et des vibrations,
- Mesure des efforts.

Investigations sur les câbles :

- par bobine électro-magnétique



Sur les câbles TMC et en partie courante uniquement,

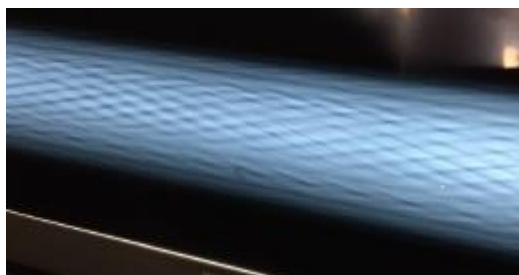
En réalisant une mesure d'inductance par rapport à une mesure de référence

- par bobine magnétique



Sur les câbles TMC, MTP (selon gainage) Permet de trouver les zones de corrosion et les fils rompus.  
Mise en œuvre contraignante car matériel lourd

- par gammagraphie

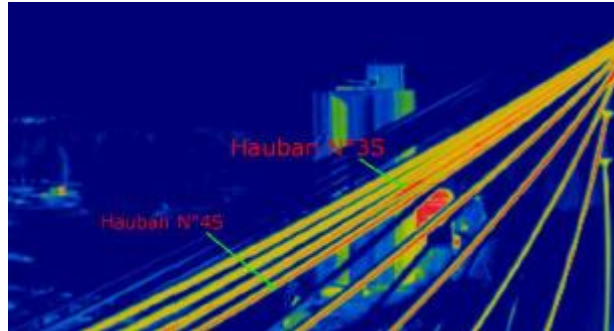


Mise en œuvre à évaluer au cas par cas, car mise en œuvre contraignante,

Applicable sur partie courante, ancrages, déviation...

Investigations sur la protection des câbles :

- par thermographie IR



Recherche de vide dans les gaines haubanées injectées à la cire pétrolière,

- Sonde capacitive

Détection des anomalies d'injection de câbles au coulis de ciment.

- Contrôle physico-chimique des gaines PEHD par prélèvement,
- 

Possibilité de perçage des gaines pour réaliser une inspection visuelle ou avec un endoscope.

Investigations sur les ancrages des câbles : les ancrages et leur voisinage sont des zones particulièrement pathologiques et des cas de rupture sur ces zones sont régulièrement recensés.

Pour les Ponts suspendus anciens : analyse en fragilité par prélèvement,



Pas de méthode opérationnelle éprouvée pour les culots de câbles TMC.

Pour les câbles MTP, contrôle par ultra-sons.



Méthodes de mesure d'effort: Évaluation des efforts pour contrôler le bon fonctionnement de la structure ou pour le re-calcul de l'ouvrage,

Mesure à l'aide de jauges de déformations.

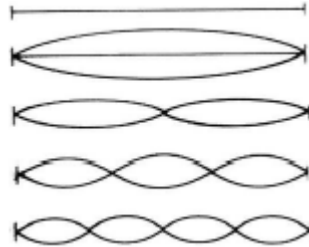


Mesure avec la méthode dite à « l'arbalète »

Mesure de la force sur ancrage par décollement.



Mesure vibratoire des oscillations des câbles.

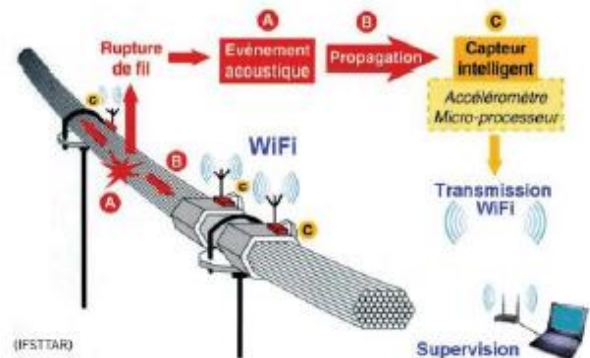
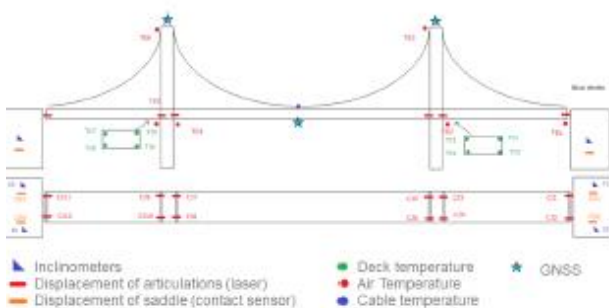


Suivi géométrique et instrumenté de l'ouvrage

Attention, les Structures souples sont très sensibles aux différences de température et aux charges de trafic.

Mesures avec les outils de topométrie.

Mise en place de capteurs de déplacements, d'inclinomètre, d'accéléromètre, d'interféromètre.



## Conclusion

- Un large éventail de méthodes disponibles pour les investigations,
- Des difficultés pour le contrôle des points sensibles comme les ancrages,
- Il y a plus de défauts que ceux visibles...

## Les principes de gestion du patrimoine et la démarche de diagnostic

par Bruno GODART ( IFSTTAR )

### 1 : Principe de gestion du patrimoine.

Dans le cadre de la gestion d'actifs, celles-ci doivent répondre aux normes NF ISO 55000, 55001 et 55002 de 2014, qui nous disent que :

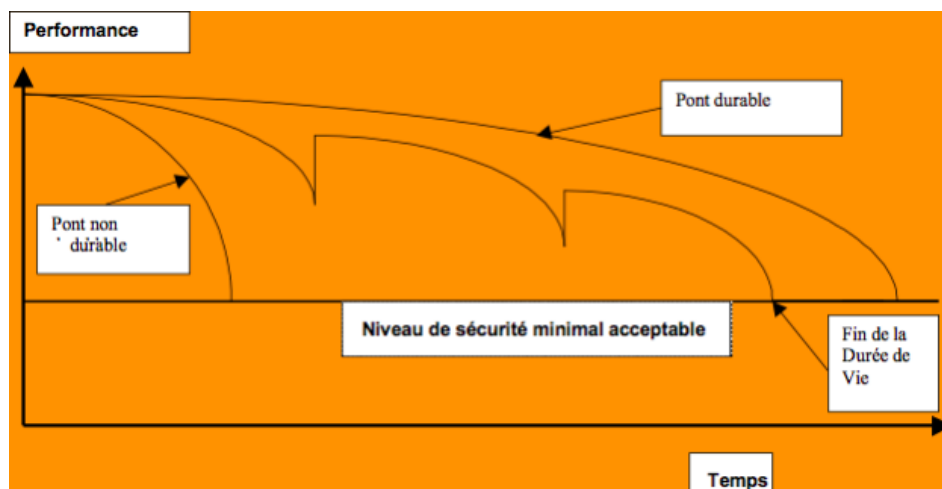
- L'organisme doit définir ses objectifs en matière de gestion d'actifs, via une politique de gestion d'actifs et un plan stratégique pour la gestion d'actifs (PSGA).
- L'organisme doit établir, mettre en œuvre, tenir à jour et continuellement améliorer un système de gestion d'actifs.
- La direction doit faire preuve de leadership et affirmer son engagement en faveur du système de gestion d'actifs.
- La direction doit étudier les risques et opportunités pour planifier les actions de gestion.
- L'organisme doit fournir les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs, déterminer les compétences nécessaires, maîtriser toutes les informations documentées.
- L'organisme doit évaluer les performances de son système de gestion et en gérer la qualité.
- 

Il existe une évolution de l'environnement des ouvrages d'arts avec une augmentation rapide du trafic, un accroissement du poids des camions, une interruption du trafic de moins en moins bien supportées par la société, une utilisation croissante des fondants (problème de durabilité), une décentralisation.

Il y a trois principaux objectifs de la gestion des ouvrages d'arts :

1. Garantir la sécurité des usagers et des tiers.
2. Assurer un niveau de service donné.
3. Assurer la conservation du patrimoine sur le long terme.

Le contexte de la gestion de ces ouvrages se fait selon la performance (d'un pont par exemple) en fonction du temps. Elle se fait sur la durée, est liée à la typologie du parc et est dépendante de l'organisation administrative et du niveau du budget alloué.



La performance peut être représentée par l'état ou la capacité portante.

Nous avons deux niveaux de gestion, le niveau du projet c'est à dire ouvrage individuel – niveau local, aspects techniques et économiques ou bien le niveau du réseau c'est à dire parc d'ouvrages – niveau global, aspects financiers et politiques.

Pour la « sécurité et gestion des ouvrages d'arts » nous avons une prise en compte du cycle de vie avec :

- Coût de Maintenance = Coûts initiaux + coûts futurs
- Coûts totaux = Coûts Directs + Coûts Indirects

Le problème de la prévision nécessite de prévoir l'évolution des ouvrages pour pouvoir bâtir des stratégies de maintenance avec soit :

- Une approche globale : extrapolation de courbes d'évolution du suivi des ouvrages existants.
- Une approche scientifique : modèle de vieillissement basé sur les lois de dégradation des matériaux.

Il existe trois types de maintenance : la maintenance corrective, systématique ou conditionnelle.

1. La maintenance corrective : aucune action n'est entreprise tant que la performance de l'ouvrage n'a pas atteint le seuil acceptable minimal requis.
2. La maintenance systématique : mener des actions à intervalles de temps réguliers pour maintenir la performance à un niveau acceptable.
3. La maintenance conditionnelle : mener des actions conditionnées par les résultats d'inspection pour maintenir la performance à un niveau acceptable.

L'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Arts (ITSEOA) a pour objectifs de connaître l'état des ouvrages à jour (Entretien et remise en état / Mesures de sécurité éventuelles) et d'avoir un suivi de l'évolution de l'ouvrage à partir d'un état de référence.

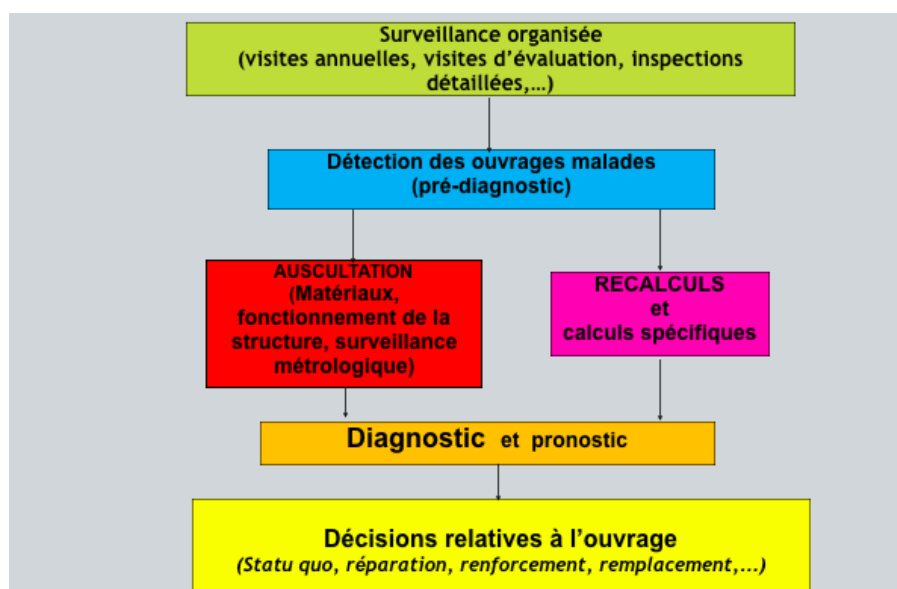
Les modalités d'organisation sont la surveillance organisée (contrôle annuel / visite d'évaluation / inspection détaillée périodique), l'action particulière de surveillance, la surveillance continue, la surveillance renforcée et haute surveillance.

## 2 : La démarche de diagnostic.

Les principales pathologies sont :

- les structures en béton,
- les structures métalliques
- les structures en maçonnerie

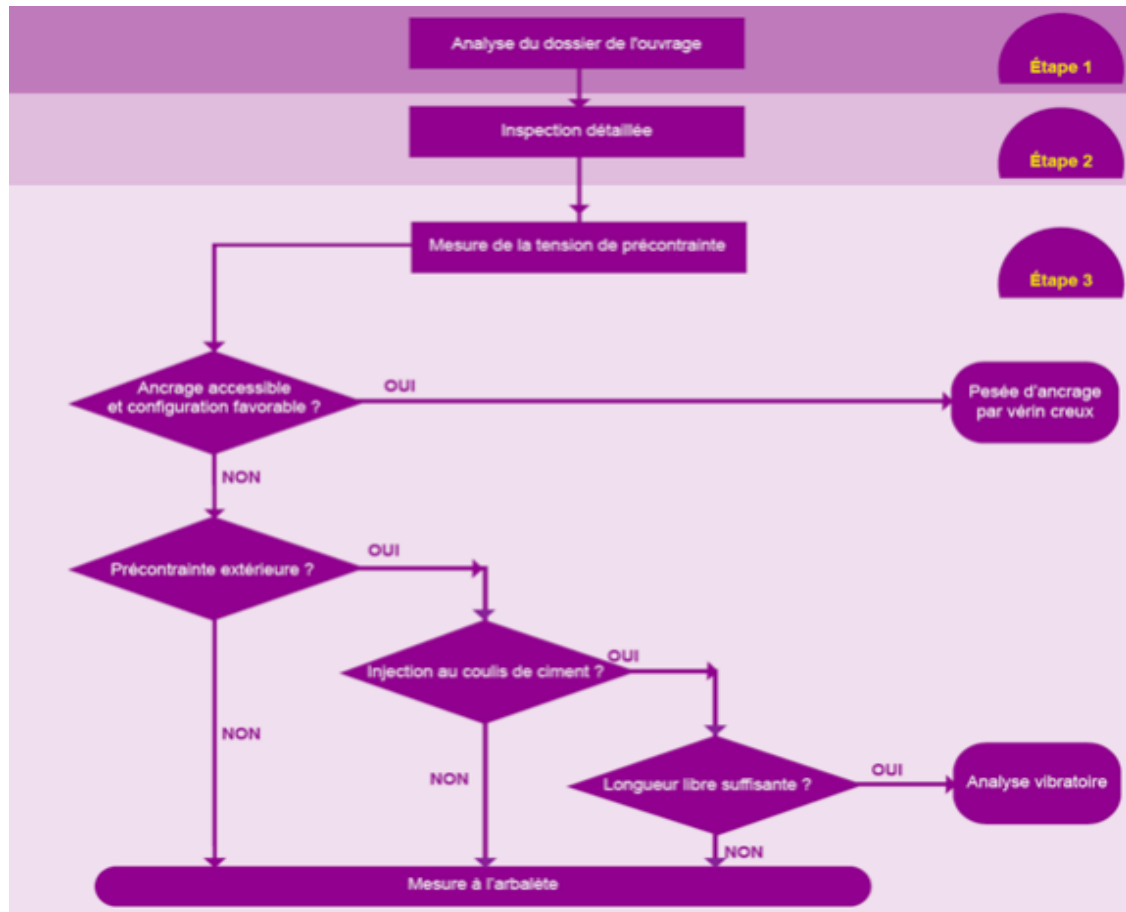
L'organigramme suivant vous présente la place du diagnostic au sein du processus de gestion des ouvrages pathologiques.



Les méthodologies de diagnostic sont les suivantes :

- Les méthodologies de diagnostic de l'état des matériaux : diagnostic de corrosion du béton armé ; diagnostic de la gélivité d'un béton ; évaluation de la résistance du béton in-situ.
- Les méthodologies de diagnostic structurel : détection et localisation d'armatures passives ou actives dans le béton ; diagnostic de la précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures ; évaluation de la tension dans une armature de précontrainte ; évaluation du déficit en flexion d'un pont fissuré en béton précontraint ; analyse du fonctionnement d'une section de pont mixte acier-béton ; évaluation de la durée de vie en fatigue d'une structure métallique.

Le logigramme suivant présente la démarche de diagnostic :



Nous avons pu voir dans cette partie que les ponts représentent bien plus que de simples ouvrages d'art. En effet, ils font partie d'un patrimoine local, environnemental et répondent à des attentes économiques et sociales. Ces ouvrages sont dimensionnés pour de nombreuses années, voir générations et il est donc primordial de les entretenir et/ou de les rénover. Il existe alors différents diagnostics, maintenances et réglementations selon la structure, les matériaux utilisés et l'environnement autour de ces ouvrages.

### Les procédées d'investigations sur les ouvrages en maçonnerie.

**Gilles Doublot (SNCF)**

Le patrimoine SNCF regroupe 100 000 ouvrages d'arts dont 40 000 ponts et environ 25 000 ouvrages de revêtements (soutènements et protection des voies). Les ouvrages construits dans la deuxième partie du XIXème siècle sont essentiellement des ouvrages en maçonnerie. Sur ce type d'ouvrage, le principal ennemi est l'eau. Il est donc essentiel de leur apporter une surveillance et un entretien particulier.

Afin d'assurer la surveillance de ce patrimoine, la SNCF analyse et propose des solutions pour anticiper les avaries sur leurs ouvrages. Les investigations se font périodiquement et sont comparées entre elles dans le but de suivre l'évolution des ouvrages.

Il existe deux types d'auscultation :

**-Les auscultations non destructives :** Dans un premier temps, un pré-diagnostic visuel est réalisé afin de constater des désordres (fissures, bombements, végétation). Un suivi topographique peut également être réalisé pour permettre de suivre l'évolution des structures. Ce suivi est réalisé grâce à des points référencés sur les ouvrages. Il existe aussi plusieurs outils d'auscultation non destructive comme le technique du marteau de géologue qui permet de détecter les décollements de parements ainsi que l'état des joints. De plus le géo-radar analyse par le biais d'ondes magnétiques l'état internes des structures (épaisseur, différentes couches, qualité de liaison entre les matériaux). Un suivi des fissures peut également être effectué grâce à différentes techniques telles que les témoins au plâtre, les témoins métalliques ou bien les comparateurs mécaniques.

**-Les auscultations destructives :** Premièrement les sondages carottés permettent une analyse complète et avancée de l'état interne des ouvrages grâce à la visualisation des matériaux et de l'évolution de leurs caractéristiques tout au long de leur utilisation. D'autre part les sondages géotechniques par forage des remblais ou sous-sol assurent le suivi du terrain afin d'éviter les glissements ou tassements aux abords des ouvrages. Il existe également les essais subaquatiques qui permettent un contrôle visuel des semelles des appuis, néanmoins ces contrôles présentent des nombreux inconvénients puisqu'ils ne peuvent être réalisés en cas de fort courant, ou de présence d'encombrants (déchets, végétation) et de mauvaise visibilité. Enfin des solutions de reconnaissance des fondations existent telle que les fouilles permettant de dégager la tête des pieux en bois pour vérifier leur état.

Tous ces procédés d'investigations permettent d'assurer la pérennité des ouvrages. L'entretien de ces derniers est donc un facteur important afin d'éviter la dégradation du patrimoine. Pour conclure la protection de ces ouvrages contre l'eau est essentielle à un bon fonctionnement des structures.

(BRANA-BRETAUDEAU)

### Les procédés d'investigation sur les ouvrages en béton armé

**Nicolas Bessoule (Sixense-Concrète)**

Le diagnostic d'investigation des ouvrages en béton armé s'applique sur le principe d'un triptique avec l'inspection (visite annuelle, quantifiée, inspection détaillée), l'auscultation et l'ingénierie (analyse DOA, analyse structurelle et recalcul).

Dans un premier temps, la méthode d'auscultation se caractérise par deux éléments avec en l'occurrence les méthodes de terrains (structure). Cela consiste à analyser le fonctionnement réel d'un ouvrage ou d'une partie de ce dernier à vide ou en chargement avec par exemple l'application d'essais dynamiques sur la structure. Les moyens mis en avant pour réaliser ces essais sont liés à la topométrie et à la métrologie.

L'autre élément se traduit par l'analyse concrète des matériaux en places (configuration de la structure). On dénombre quelques méthodes pour étudier les matériaux en place comme l'usage des ondes mécaniques avec les ultrasons.

En partenariat avec des laboratoires, il est possible d'ausculter les matériaux en effectuant des prélèvements sur lesquels différents procédés seront effectués. Nous pouvons noter les essais mécaniques, les analyses chimiques, les mesures physiques, les observations microscopiques et les essais de vieillissements accélérés.

En fonction des situations rencontrées sur le terrain, le type d'auscultation sera défini et déterminera le personnel et le matériel requis pour mener à bien cette mission.

Les méthodes d'auscultation adéquates pour réaliser un diagnostic pertinent sont liées à la méthode de diagnostic. Ces méthodes sont caractérisées par un vas et vient permanent entre les documents techniques mis à disposition et l'assistant à la maîtrise d'ouvrage.

Il existe un pré-diagnostic qui va formuler des hypothèses sur l'origine probable des désordres observés afin d'orienter correctement le diagnostic.

Ce pré-diagnostic doit faire intervenir les bonnes techniques, aux bons endroits et en nombre suffisant car il est déterminé par l'analyse DOA et l'examen IDP.

Il sera orienté en deux grands axes avec un diagnostic structurel et matériel visant à mettre en avant les défauts rencontrés. D'un point de vue structurel, il faudra réaliser une analyse du mode de fonctionnement de la structure et l'évaluation de la capacité portante. D'un point de vu des matériaux, deux types de pathologie seront pris en compte avec la pathologie suspectée (nature ; intensité...) et avérée (potentiel évolutif...). La question de l'incidence sur la résistance sera liée au diagnostic structurel.

Différents ouvrages pourront servir de sources pour le bon déroulement des procédés d'investigations sur ce type d'ouvrage avec notamment le Sétra, l'IFSTTAR, le fib et le LCPC

(BUALLA/BUFFA)

### **Les procédés d'investigations sur les ouvrages précontraints.**

**Florent Plassard (Cerema), Bernard Tonnoir (LERM)**

À l'occasion de ce 23<sup>ème</sup> colloque dédié à la maintenance des ouvrages de Génie Civil, M. PLASSARD Florent (CEREMA) et M. TONNOIR Bernard (LERM) ont présenté des procédés d'investigation sur les ouvrages précontraints.

Leurs exposés s'inscrivent dans un processus de surveillance. Cela requiert la réalisation d'un diagnostic afin d'optimiser les actions correctives portées sur l'entretien courant, la réparation ou le renforcement des ouvrages de Génie Civil.

Les procédés de l'imagerie du Génie Civil sont premièrement mis en exergue par M. PLASSARD.

Les structures telles que les poutres, les dalles ou autres voiles en béton précontraint sont concernés par des investigations non destructives.

L'imagerie permet d'observer l'état, le positionnement et la qualité de mise en œuvre des conduits, du niveau des coulis de remplissage, des câbles et des coupleurs. L'aspect général au cœur du béton est également passé au crible pour déceler les défauts tels que les fissures ou les décollements entre diverses pièces d'appui et le béton.

C'est en comparant plusieurs méthodes utilisées pour réaliser de telles investigation que M. PLASSARD explique les atouts et les inconvénients de chacune pour offrir à l'assemblée un tableau récapitulatif, utile pour choisir l'outil adapté selon le résultat désiré, l'ouvrage examiné, la mise en œuvre possible et le budget mis à disposition.

Ainsi, l'assemblée a pu en apprendre un peu plus sur la Gammagraphie et son rayonnement gamma, le Radar de structure utilisant les ondes sismiques, l'Impact Echo et ses ondes ultrasonores et l'Ultrasonic Pulse Echo et ses ondes électromagnétiques.

La seconde partie de l'exposé est dirigé par M. TONNOIR qui présente deux méthodes d'évaluation mécanique des ouvrages d'art. Les mesures à l'Arbalète et la Courburemétrie.

Tout d'abord, la mesure à l'Arbalète utilise une méthode destructive locale afin d'obtenir la tension des armatures de précontrainte. Elle s'appuie sur le principe que plus une armature est tendue, plus l'effort  $F$  nécessaire à la dévier de son tracé d'une flèche  $f$  sera important. Il est primordial de respecter les recommandations du guide LCPC 2009 afin d'assurer l'exactitude et une bonne précision des résultats mesurés tout en préservant l'intégrité du matériel et de l'ouvrage d'art.

Enfin, la Courburemétrie analyse des micro-déformations d'un ouvrage sous sollicitations de flexion. Des capteurs mesurent la courbure de la poutre ou du joint observé suite à la mise en charge de l'ouvrage par des semi-remorques chargés. Ces données sont ensuite exploitées à travers des calculs sous charges roulantes ou sous gradient thermique et des courbes de moment/courbure. L'analyse des résultats a pour objectif de détecter les anomalies possibles, de rechercher le module d'inertie  $EI$ , des moments de décompression et de surveiller la progression des fissurations dans le talon d'une poutre.

(CHARROUD Maxime, DAVIN Léo)

### Les procédés d'investigation sur les ouvrages métalliques

**Marjorie BOURQUENCIER (CEREMA)**

Durant son intervention Mme Marjorie BOURQUENCIER (CEREMA) nous a montré qu'il faut un regard extérieur sur la charge de travail à réaliser pour obtenir un diagnostic sur un ouvrage métallique. Il faut que tout individu souhaitant réaliser des investigations sur un ouvrage pense à faire une analyse de la peinture (recherche d'amiante/plomb/métaux...). Le métal est un matériau très avantageux puisque par définition il est très ductile et donc déformable, on peut donc souvent voir des déplacements mais rarement des fissurations. Les investigations seront donc accès sur la détection des faiblesses (zones de fissures, zones corrodées, ...) ainsi que la caractérisation précise du matériau (mécanique/structure métallographique).

Mesure d'épaisseur résiduelle du métal à l'aide d'ondes sonores permettant de déterminer la perte de section de l'ouvrage.

On peut également à l'aide d'un bureau d'études essayer de réaliser des essais non destructifs, surfaciques et volumiques dans le but de caractériser et de déterminer la cause d'une fissure (fatigue/incendie/accident...). Les deux méthodes présentées sont le ressuage et la magnétoscopie qui sont deux techniques visant à déterminer les fissures étudiées a repéré sur l'ouvrage.

Il faut savoir qu'il existe deux autres méthodes ne nécessitant pas le retrait de la protection qui sont ACFM et « courants de Foucault » mais cependant elles sont plus onéreuses. Les ultrasons peuvent également aider à déterminer les fissures.

On a également pu entendre Mme BOURQUENCIER traiter d'un examen métallographique, par réplique ou en laboratoire. Cet examen permet de déterminer la taille et la forme des grains, la répartition ferrite/perlite, la nature et la densité des inclusions. D'autres tests existe encore tel que :

- la mesure de dureté réalisé sur site ou en laboratoire qui permet de déterminer la dureté du métal et d'estimer sa résistance à la rupture ( $R_m$ )

- l'analyse chimique qui permet de déterminer la composition chimique (en laboratoire)

La dernière méthode est l'utilisation des essais de traction et de flexion par choc, ceux sont des investigations lourdes qui permettent de déterminer les valeurs caractéristiques du matériau. C'est malheureusement un essai destructif car il nécessite de gros échantillons.

L'ensemble de ces méthodes visent à l'amélioration et à l'anti dégradation des ouvrages métalliques dans les régions de France. Généralement c'est un chargé d'affaire compétent en métal qui régit les règles et vérifie les informations qui lui sont fournis.

(DEVOS Amaury / DEILHES Théo)

### Les procédés d'investigation sur les ouvrages à câbles

**Bastien VAURIGAUD (Cerema)**

A l'occasion de ce 23<sup>ème</sup> colloque « Le Pont », la thématique abordée ne pouvait que s'appuyer sur la tragique actualité de l'effondrement du pont autoroutier de Gènes survenu le 14 août 2018. C'est dans ce contexte que les différents acteurs se sont succédé sur un thème commun : la maintenance des ouvrages de Génie Civil. M. VAURIGAUD Bastien du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), nous a exposé les procédés d'investigation sur les ouvrages à câbles.

On retrouve des ouvrages à câble un petit peu partout sur le territoire, que ce soit à travers les remontées mécaniques, les passerelles mais surtout sur des ouvrages d'art à câbles tel que les ponts suspendus et les ponts à haubans. Les câbles ont un rôle majeur dans la stabilité de ces ouvrages et ils sont soumis à des sollicitations très importantes d'où la nécessité de les surveiller.

M. VAURIGAUD nous présente les grandes familles de câbles et d'ancrage : les MTP (Multi torons parallèles) ancrage par clavette ou manchonnage, les TMC (Toron multi couches) ancrage par chignon ou poupée et enfin les MFP (multi fils parallèles). Il est important de connaître ces spécificités pour mieux appréhender les risques.

Il existe 4 pathologies majeures sur les ouvrages à câbles, nous explique ensuite M. VAURIGAUD.

- Les défauts de réglage qui mettent en péril le fonctionnement des sections articulées au niveau des appui et des ancrages, ce sont d'ailleurs l'un des risques de rupture les plus importants dans ce type d'ouvrage.
- L'endommagement des câbles et leurs ancrages, provoqué par des attaques extérieures lié le plus souvent à l'environnement.
- La fatigue des câbles, par leurs sollicitations importantes en traction et flexion.
- L'endommagement des câbles à cause des frottements des fils ou encore à cause des différentes pathologies combinées...

Quels sont donc les procédés d'investigation pour vérifier la bonne conformité des ouvrages à câbles ? Dans un premier temps les investigations visuelles et endoscopique réalisées par des experts pour déceler les pathologies puis les vérifications intérieures du câble, la méthode par bobine magnétique pour contrôler l'oxydation du câble, et la méthode par gammagraphie pour détecter une rupture de fil.

Les investigations sur la protection des câbles : la recherche de vide dans les gaines par thermographie infrarouge, et la détection d'anomalies d'injection de câbles au coulis de ciment par sonde capacitive.

Les investigations sur les ancrages, ce sont les zones les plus sensibles des ouvrages à câbles, là où on constate le plus de rupture et il n'y a malheureusement pas de méthode opérationnelle, les seules solutions qui existent sont le contrôle visuel et le suivi de fabrication des ancrages.

M. VAURIGAUD termine son exposé en nous présentant les méthodes de mesure d'efforts qui permettent de contrôler le bon fonctionnement de la structure et qui sont utilisées pour vérifier la conformité de l'ouvrage en matière de sécurité.

(Antoine GARDES, Maxime FRANCESCATO)

### Évaluation dynamique sur structure béton et métal

**Antoine CLEMENT (SITES)**

Ce sujet vise à sortir des mesures résultant des investigations dynamiques c'est donc une information susceptible d'apporter une appréciation plus pertinente de la performance d'un ouvrage sur son cycle de vie.

Dans un premier temps, on nous a parlé de la notion de dynamique :

Il existe 4 types d'investigations dynamiques :

- Mesure du confort
- Evaluation des sollicitations
- Analyse structurale
- Surveillance du comportement

La notion de dynamique représente le couple de l'excitation et de la structure résultant sur une mesure exponentielle décroissante.

Cette notion peut être influée par modification de la masse et de la raideur.

D'une manière générale le mouvement vibratoire est la somme de la torsion, flexion verticale et horizontale.

Dans un deuxième temps, on a pu voir la mesure du confort :

Au cours de cette conférence, M.Clément nous expliquait l'inconfort des piétons par la résonance des passerelles qui sont influencées par la fréquence d'excitation et d'oscillation.

Le point de vérification est caractérisé par l'outil de mesure de l'accéléromètre pour l'investigation dynamique.

Dans un troisième temps, on a pu observer l'évaluation des sollicitations :

Pour évaluer la résistance de l'ouvrage, il existe deux facteurs à prendre en compte :

- Le coefficient de majoration dynamique
- La contrainte en fatigue

Dans un quatrième temps, on nous a parlé de l'analyse structurale :

A partir de mesures vibrations, des analyses sont faites à l'aide de capteurs.

En faisant des investigations qui peuvent être des analyses modales expérimentales mais aussi opérationnelles.

Les caractéristiques de cette analyse se représente sous 3 types de formes :

- Le capteur : nombre / position / direction
- L'excitation : impulsions / contrôlée / ambiante
- La méthode d'analyse : temporelle / fréquentielle

Pour conclure au cours de cette conférence présenté par M.Clément, l'évaluation dynamique sur structure béton et métal est différente pour chaque cas mais requiert une expertise basée sur l'instrumentation, l'enregistrement puis l'analyse des mesures retirées. Il propose donc une démarche complète de l'évaluation structurale des ponts par essais dynamiques au travers des enjeux essentiels qui sont respectivement la réalisation d'essais dynamique sous charge d'exploitation et la détection et/ou la localisation d'endommagement.

(KLEIM/LACOMBE)

### **Le système d'étanchéité liquide au service des rénovations de parking présenté**

#### **Erwan GIRARD (entreprise ETANDEX)**

Dans un premier temps l'intervenant a introduit sa présentation par un rappel des textes réglementaires en rapport avec l'étanchéité. Les textes réglementaires sont les suivants :

- DTU 20.12
- DTU 43.1 –43.5
- Règles professionnelles concernant les travaux d'étanchéité par application de
- Systèmes d'Etanchéité Liquide sur les dalles et rampes de parking.

Ensuite il nous a énuméré les différents types d'étanchéité que l'on peut retrouver dans un parking (Asphalte, feuille préfabriquée, mixte (asphalte +feuille préfabriquée)) et surtout le SEL (système étanchéité liquide) qui nous a présenté plus en détails dans la suite de sa conférence.

Ces derniers sont applicables à la fois pour de la réhabilitation mais aussi pour la construction de nouveaux parkings. Ils sont utilisables à l'intérieur comme à l'extérieur sur des parkings réservés aux véhicules légers.

Ils utilisent cette méthode pour pallier aux infiltrations d'eaux qui proviennent des pluies battantes ou directes, les véhicules qui amènent de l'eau ou de la neige.

Ces infiltrations d'eau entraînent des problèmes dans les parkings :

- Formation de stalactites
- Gênes aux usagers (traces de calcite sur voitures, flaques ...)
- Pertes d'exploitations
- Dégradations des équipements du Parking
- Dégradations de la structure en sous face (et de leur protection)
- Corrosion d'éléments métalliques
- Corrosion des armatures / Attaque aux chlorures
- Dégradations de la structure en face supérieure

De plus, avec cette méthode il est possible de résoudre les problèmes dus aux pentes dans les parkings en rénovation qui ne sont pas toujours de 2%, sans atteindre la capacité portante des planchers étant donné la légèreté du SEL.

Les SEL sont composés d'une couche primaire pare vapeur, une étanchéité polyuréthane projetée à chaud, une couche de roulement épaisse et une fermeture du système (transparente ou colorée).

Pour finir, il nous a présenté les caractéristiques de ces derniers vis-à-vis des solutions traditionnelles :

- Allongement à la rupture : 350%
- Adhérence au support > 1MPa
- Complexe total mince (4 à 6mm) et léger (<10kg/m<sup>2</sup>)
- Essais de roulage lourd (XP P 11-101 modifiée) :
  - 1h au droit des stationnements
  - 3h au droit des circulations
- Classement au feu : en extérieur Broof(T3) et en intérieur Cfl-S2
- Projection à chaud et à Prise instantanée
- Robotisation de l'application
- Esthétique

(LUCIEN/MAYNARD)

### Les actions de l'AQUASPRO pour la qualité des bétons projetés

#### Catherine LARIVE (CETU)

L'association ASQUAPRO (Association pour la Qualité de la Projection des bétons) existe depuis 1987, elle regroupe des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre, des bureaux d'ingénierie, des laboratoires de recherche, des entreprises, des organismes publics, des fabricants de matériels, des fournisseurs de matériaux et des experts indépendants.

Dans cette présentation Mme LARIVE, nous a présenté les différents mises en œuvre d'un béton projeté. En effet, le béton peut se projeter par voie sèche ou par voie mouillée.

Pour la projection du béton par voie sèche, on transfère des matériaux pulvérulents (légers et secs). Il est acheminé à l'aide d'air comprimé pouvant aller jusqu'à une portée 1km de portée avec un compresseur à fort débit. De plus, le béton peut se projeter sur une distance de 130m.

Dans la phase de mise en œuvre du béton par voie mouillée, on transfère du béton malaxe (besoin de super plastifiant). L'eau est introduite avant le transfert et l'air en fin de parcours. Pour l'application du béton sur le support, il faut d'abord préparer le support, ensuite la lance de pré mouillage insérée dans le béton va régler le rapport E/C. Enfin, il est important d'utiliser des activateurs et des raidisseurs qui assurent la tenue du béton donc sa qualité.

L'ASQUAPRO présente une nouvelle génération de béton. En effet, il s'agit du béton fibré plus particulièrement utilisé pour le soutènement de tunnel ou la réparation de structure. Cependant, ce béton a un problème de fluage. L'association a fait plusieurs comparaisons entre différents bétons avec plusieurs fibres plus des treillis soudés pour palier à ce problème.

L'ASUAPRO opte de nouvelles perspectives comme la formation de pilotes de robot sur simulateur, l'étanchement de béton projetés de soutènements revêtements, utilisation du laitier de haut fourneau dans les bétons projetés compliqué à cause d'une réaction chimique. La solution envisagée a été la modification de l'activateur.

(NATHAN/MONTEIRO)

### Protection du béton et de l'acier : certifications et garanties

#### Elizara PETROVA (OHGPI) et Alain PINON (ACQPA)

La protection du béton et de l'acier est réalisée par une peinture anti corrosion. Ces peintures ont pour enjeu de pérenniser les ouvrages, de les protéger par des systèmes de peinture de haute durabilité, elles sont indispensables à l'ouvrage pour augmenter sa durée de vie. Celles-ci présentent un excellent rapport qualité prix et valorisent l'ouvrage ancien par une amélioration de l'esthétique. Les professionnels qui les composent ont pour mission de créer des produits à forte technicité, confirmés par une certification, la maîtrise de leur mise en œuvre et une homologation des garanties contractuelles. L'**OHGPI** est l'Office d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle, elle porte un avis technique impartial et homologue les garanties contractuelles d'anticorrosion. Les garanties contractuelles ne doivent pas être un enjeu de concurrence commerciale, elles doivent permettre au Maître d'Ouvrage d'évaluer les offres sur une base technique objective et équitable entre offreurs. Les domaines d'utilisation sont les marchés neufs ou de rénovation sur des supports acier galvanisés, métallisé ou béton sur tout type d'ouvrage.

**ACQPA** est l'Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion elle a pour objectif de délivrer une marque de qualité sur une base volontaire et a pour missions de certifier les systèmes de peinture (produits) et les personnels. Cette association n'assure pas le rôle de formateur. La structure de l'ACQPA est divisée en 4 parties : les donneurs d'ordre, les fabricants, les entreprises d'application, les organismes techniques. Toutes les activités de certification de l'**ACQPA** sont basées sur les critères de compétence, d'indépendance et des référentiels de qualité reconnue. La certification est une valeur ajoutée aux produits et au personnel avec une garantie de qualité.

(PARAZOLS/PISTRE)

### Table ronde : Quel est l'état réels de nos infrastructures ?

Pour évoquer ce sujet, il y avait autour d'une table, David ZAMBON. Il fait parti de l'IDRIMM, il a un rôle dans la gestion du patrimoine et s'occupe également des enjeux économiques de celui-ci. Nathalie Richer (DIR-SO) de la Direction Interdépartementale des Routes du Sud-Ouest, Thierry Cayret (CD 32) du Conseil Départemental du Gers et Thierry Duprat (Com de Com Grand Armagnac), étaient également présents, pour débattre sur l'état de nos infrastructures, mais aussi des solutions qui doivent être apportés dans les années à venir. En premier lieu, les faits ont été énoncés, il a été dit que le patrimoine est correct. Sauf que la loi NOTRE et la décentralisation a contraint les collectivités, du coup nous avons un manque de moyens humains pour assurer le suivi de notre patrimoine. Les communes manquent de moyens humains compétent et surtout de moyens financiers. L'enjeu essentiel de nos jours et de connaître notre patrimoine. Le manque de moyens financier s'explique du fait qu'il est difficile de convaincre et d'avoir des aides puisque les routes et OA ne produisent aucunes recettes. De ce fait le budget souffre mais l'état investit de plus en plus dans l'entretien et non dans la création. Des solutions ont été énoncées. Une évaluation du budget sera faite pour faire évoluer notre patrimoine. De plus, nos infrastructures devront être entretenus avec le plus de rigueur possible de façon régulière. Un entretien obligatoire a même été énoncé, y compris pour les petites communes qui à ce jour n'en n'ont pas la capacité. Des compétences de main d'œuvre publique sont nécessaire pour assurer ces solutions. Pour finir, l'état de nos infrastructures n'est pas catastrophique, néanmoins il faudra très vite mettre en place des solutions évoquées lors du débat pour que cela ne puisse empirer.

(RAUJOL)

### LE "TOUR DU MONDE" DES GRAPHES"

#### Transformer des ouvrages en ouvrages d'art !

Ce sujet a eu pour but d'expliquer que les graffitis dans le domaine du génie civil sont devenus une sorte d'art urbain. Plusieurs graffitis nous ont été présentés sur plusieurs sortes d'ouvrages comme les barrages, les centrales nucléaires, les châteaux d'eau, des silos (à grain, à batardeau etc...), les ponts, les tunnels et autres sortes de passages sous-terrain, sur les routes, sur les murs de soutènement, sur les digues et sur d'autres cas particuliers tels que les graffitis sur les voies ferrées ou même les camions de chantier.

Centrale Nucléaire de Johannesburg



Barrage désaffecté de Piney



Fresque sous un pont à CANNES



Château d'eau en Dordogne



*(ZEMA Joris, YANKEY Jimmy)*

### ► INSA de Toulouse

#### **L'évaluation de la résistance résiduelle d'une structure existante : Les principes généraux** **JM Lacombe (Cerema-ITM)**

La maintenance et la rénovation dans le domaine du génie civil occupent actuellement une part importante de l'activité. En effet, 60% des constructions en France sont des ouvrages anciens ; malheureusement on ne dispose pas assez de documents pour permettre un recalcul lors de la réparation ou du renforcement de la structure. Beaucoup de personnes pensent que l'on peut utiliser les Eurocodes, mais il s'agit ici d'une erreur car ces normes européennes sont destinées principalement aux ouvrages neufs.

La première question que l'on peut alors se poser est « Quels textes pouvons-nous utiliser ? ». Actuellement, en l'absence de textes réglementaires, la stricte application des règlements destinés aux ouvrages neufs n'est généralement pas pertinente pour des ouvrages déjà bâtis. Elle peut même conduire à des renforcements ou des réparations injustifiés. Pour l'instant, lors de travaux de réparation ou de maintenance, on peut s'appuyer sur plusieurs textes, articles ou livres qui forment une référence :

- Norme ISO 13822 (2010) : « Base de calcul des structures, Evaluation des structures existantes », c'est une norme principalement utilisée à l'étranger qui donne des principes généraux sur les évaluations structurales et notamment page 6 où son but est d'éviter les interventions qui ne seraient pas strictement nécessaires.
- Les Eurocodes : à noter que les Eurocodes concernent la plupart du temps les ouvrages neufs, surtout l'Eurocode 0 qui forme une base de calcul, mais l'Eurocode 8 est une exception, car il s'applique également aux ouvrages existants.
- Guides STRRES : « Réparation et renforcement des structures », plus centrés sur les matériaux et la mise en œuvre. Abordent davantage le point de vue réparations que les évaluations structurales.
- Articles et Livres comme « Maintenance et réparation des ponts »,

Face à ce vide réglementaire qui se traduisait par une différence d'approche énorme entre les projeteurs qui étaient amenés à faire des évaluations structurales, le Sétra a publié en 2012 une note d'information sur ce sujet avec pour objectif de donner quelques principes généraux sur les calculs d'évaluations des ponts. Dans le prolongement de cette note a été publié en 2015 un guide CEREMA « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art ». Ce guide est beaucoup plus détaillé et reprend tous les aspects d'évaluations. Il dispose également de différentes annexes qui peuvent être utiles aux projeteurs comme « Evolution des règles de charge des ponts routes », et elles sont téléchargeables sur le site CEREMA.

Tout comme des anciens textes relatifs aux ouvrages d'art datant pour certains du 19<sup>ème</sup> siècle. Malgré ces ouvrages il n'y a pas de référentiel propre, mais un nouvel Eurocode sur l'évaluation des ouvrages existants est en cours de rédaction pour une parution prévue en 2023. Cet Eurocode sera probablement une annexe à l'Eurocode 0 ou un document indépendant, avec des annexes nationales. En parallèle, tous les Eurocodes sont en cours de remaniement et ils intégreront des annexes pour les ouvrages existants.

En attendant ces modifications sur les textes réglementaires ou la publication d'un Eurocode spécifique, plusieurs questions peuvent être retenues lors d'une évaluation de la résistance d'un bâtiment existant sur la méthode de travail, les textes à utiliser, les charges, le modèle et les caractéristiques des matériaux.

### Quels textes utiliser ?

Actuellement, il est recommandé d'utiliser les Eurocodes pour ouvrages neufs, mais avec des aménagements pertinents, en les adoptant au projet existant. Comme l'Eurocode 0 qui nous informe que l'on peut l'appliquer moyennant des dispositions additionnelles, et cette information peut être extrapolée à l'ensemble des Eurocodes. Concernant les états de charge définis par les Eurocodes 0 (ELS et ELU), les Etats-limites ultimes (ELU) doivent être satisfaits, car, la sécurité des personnes doit être assurée en toute circonstance. Alors que les Etats-limites de service (ELS), qui visent des objectifs de confort et de durabilité, peuvent subir des adaptations et sont du ressort du maître d'ouvrage.

### Quelles règles de charge utiliser ?

Utiliser l'Eurocode 1, qui est censé être le plus représentatif des charges du trafic actuel mais ces charges qui ont été calibrées pour des autoroutes à très fort trafic. Pour être plus précis, il est possible d'effectuer des mesures de trafic puis d'extrapoler des charges pour ainsi permettre de réduire sensiblement l'intensité des charges de calcul.

### Quelles caractéristiques pour les matériaux ?

Chaque ouvrage nécessite une utilisation différente : soit des données d'archive et du dossier d'ouvrage si l'ouvrage est récent, soit des prélèvements et d'évaluation si l'ouvrage est ancien, ou bien encore par combinaison des deux données.

### Quels modèles utiliser ?

Dans le cas d'un ouvrage existant, il est préférable de recourir à des modélisations fines pour éviter de renforcer l'ouvrage inutilement. Cela induit à faire travailler des éléments généralement négligés.

En conclusion, il convient de prendre en compte les connaissances que l'on a de l'ouvrage, qu'il soit neuf ou existant. Ces connaissances s'obtiennent en effectuant des investigations et des osculations, tout en s'associant avec un ingénieur structure dans le choix de celles-ci. Il faut aussi retenir que les résultats de ces évaluations structurales doivent être cohérents avec ce que l'on constate sur l'ouvrage.

*(ALASSAAD Farjallah, JEAN Emilie)*

## Analyse structurel des ponts en maçonnerie

### STABLON Thomas (ARCADIS)

44% des ouvrages sur le réseau SNCF sont en maçonnerie et ont été construits entre 1850 et 1880 et pratiquement 15% sont dans des mauvaises conditions. Ils nécessitent donc un suivi particulier ainsi que d'éventuelles réparations. Cela concerne donc un volume d'ouvrages assez conséquent.

Afin d'analyser ces ouvrages il existe plusieurs méthodes.

**Les méthodes empiriques, les plus anciennes**, sont des indicateurs afin d'avoir une base de comparaison par rapport à des calculs plus modernes.

Ces méthodes, tel que MEXE qui date des années 30 ou la méthode REAM plus moderne, font intervenir seulement des paramètres géométriques. Cela nous donne un premier indicateur, une valeur de charge, mais cela n'est pas assez pour déterminer la capacité portante de l'ouvrage.

Ces méthodes, utilisables directement sur site, sont relativement rapides et simples afin d'avoir une estimation de la charge de ruine sans analyser la structure en service.

**La méthode d'analyse à la rupture** associe les caractéristiques géométriques des critères liés aux matériaux (résistance en compression et glissement des blocs).

Les calculs de ces méthodes sont relativement simples mais demandent une bonne connaissance de la géométrie de l'ouvrage.

Le pont de Pinsaguel, par exemple est un ouvrage en bon état général qui nécessite, dans le cadre de l'aménagement urbain alentour, de le reconfigurer pour sécuriser les piétons. Donc à ce titre, l'ouvrage métallique a été élargi avec des consoles et l'ouvrage en maçonnerie a été élargi par une dalle. Avec une méthode d'analyse à la rupture, on a identifié les zones interdites par type d'engin.



Fig. 1 : Le pont de Pinsaguel rénové et élargi.

**La méthode éléments distincts** est plus complexe car il faut analyser l'agencement de chaque bloc et leurs interfaces à l'aide de paramètres caractérisés par des ressorts ou des amortisseurs dans les trois directions. C'est un processus assez lourd mais qui permet d'estimer le faciès de rupture assez précisément et donc créer des seuils d'alarmes. Aujourd'hui cette méthode n'est pas très utilisée mais est en développement.

**La méthode des éléments finis doit être utilisée avec vigilance** vis à vis de la maçonnerie. Cette méthode est bien pour étudier les problèmes 3D.

Le LMDC, le laboratoire de l'INSA et la SNCF ont développé sur le viaduc de Saint Ouen une méthodologie pour analyser ce type de structure avec la méthode des éléments finis. Ils ont utilisé un modèle 3D avec des ressorts calibrés sur site pour le système de fondation avec les lois de comportements non linéaires dans les matériaux. Ils ont ainsi retrouvé les faciès de fissuration identifiés sur site en retravaillant les tassements d'appuis identifiés sur site, on peut ainsi retrouver numériquement la structure existante et ensuite y appliquer les charges actuelles ou futures afin d'estimer la capacité portante.



Fig. 2 : Le viaduc de Saint Ouen

Les ouvrages en maçonnerie sont relativement robustes, néanmoins ils nécessitent un entretien régulier. Tous les ouvrages vieillissent et évoluent (évolution de charge, de structure) et des investigations sont nécessaires du fait des données éparées. Il faut donc adapter les méthodes d'analyse de ces ouvrages suivant leur cas afin de pouvoir les analyser le plus précisément possible.

(ATALLAH Georgio, LAGRIFFOUL Emma, MEDEIROS MACIEL Caio César)

### **Evaluation de la résistance résiduelle d'une structure existante pour les structures en béton armé et précontraint**

**Jean-François CARLES (CEREMA)**

Au cours de sa présentation, Jean François CARLES abordera les différents procédés permettant de vérifier et de s'assurer de la stabilité des structures en béton armé précontraintes. Pour ce faire, il commencera par décrire le référentiel d'application du principe des états limites ainsi que les caractéristiques des matériaux composant la structure. Puis il décrira la méthode à appliquer pour réaliser l'analyse structurale qui déterminera l'état de la structure étudié en fonction des états limites.

#### **L'application du principe des états limites et caractérisation des matériaux :**

L'ELU est respecté pour la sécurité structurale alors que le choix du niveau d'aptitude au service (ELS) relève du maître d'œuvre. Si la structure et la fatigue sont vérifiées à l'ELU et l'ELS acceptable vis-à-vis des limitations des contraintes des matériaux et de la maîtrise de la fissuration pas d'intervention nécessaire

Les caractéristiques dépendent de l'âge de l'ouvrage et des informations disponibles. Elles doivent être interprétées pour correspondre aux grandeurs requises par l'Eurocode et garantir sa stabilité dans le temps.

Le béton : En général on s'appuie sur les documents de chantier et transforme les résistances en résistance caractéristique ( $f_{acs} = 0.85 \text{ à } 0.9 f_{cn}$  pour la résistance nominale et  $f_{ck} = 0.7 \text{ à } 0.85 f_{cm}$  pour la résistance moyenne). Il est pertinent de s'appuyer sur la résistance caractéristique à 90 jours.

L'acier de béton armé : On considère les valeurs sur les plans comme caractéristiques sauf dans la période 1940-1950 à cause des aciers de récupération. Pour les aciers à haute adhérence, les règles de l'Eurocode

2 peuvent être utilisées. Des adaptations sont nécessaires pour les aciers lisses car ils ne sont pas considérés par l'EC2 comme la réduction des coefficients de scellement et de fissuration.

Les câbles de précontrainte : Les fils de précontrainte utilisés sont des aciers à haute capacité ayant une limite élastique proche des 1800 MPa, soit environ quatre fois plus que les aciers de béton.

Les caractéristiques liées aux procédés comme le coefficient de frottement à recalculer en fonction des mesures des coefficients de transmission et d'allongement. Les sections critiques sont repérées par pachomètre, radar, gammagraphie.

### L'analyse structurale :

Le calcul est linéaire de premier ordre basé sur un modèle élastique linéaire prenant en compte le phasage de construction. Une analyse plastique, à l'ELU tenant compte des redistributions d'efforts est parfois envisagée. Il faut s'assurer de l'étendue limitée des zones concernées, de la stabilité et la ductilité des zones de déformations plastiques ainsi que de la capacité de rotation des rotules plastiques.

Par la suite le conférencier aborde la vérification à l'état limite ultime, pour laquelle on utilise l'Eurocode 2 avec des adaptations pour l'ELU. Concernant les vérifications sous sollicitations normales les ouvrages d'art en béton précontraint présentent une réserve de capacité portante à l'ELU ainsi que pour les ouvrages d'art en béton armé lorsque des critères de limitation de fissuration étaient imposés.

Cependant cela est moins vrai concernant les sollicitations tangentes, notamment pour les ouvrages en béton précontraint, il est donc préférable de retenir l'inclinaison maximale autorisée par la bielle de béton pour dimensionner les aciers manquants mais un renforcement longitudinal peut dès lors s'avérer nécessaire. De plus si une fissure existe, les calculs doivent être menés selon l'inclinaison observée.

Le cas de la résistance à la fatigue est aussi abordé, il est dit que dans les zones non fissurées, la vérification est inutile si aucune augmentation de la charge n'est prévue alors que ce n'est pas le cas dans les zones fissurées. Dans le cas des zones fissurées une vérification doit être réalisée, donc si cette dernière est non satisfaite, une analyse plus approfondie est nécessaire.

La notion de supra résistance permet de s'assurer qu'on va avoir des désordres apparaître avant un effondrement brutal, c'est un critère qui n'est pas souvent vérifié. Finalement en question de vérification on a la question de la non-fragilité qui constitue un atout pour la sécurité structurale en assurant un mode de rupture progressif.

### Les états limites de service :

Aux états limites de service on cherche à avoir des limitations de la contrainte de compression dans le béton : la contrainte de compression de l'EC2 inférieure à  $0,45 f_{ck}$ . Lorsque le béton a plus d'un an, la limite est de  $0,55 f_{ck}$  sous combinaison caractéristique, la condition est inférieure à  $0,6 f_{ck}$  sous sollicitations normales. Il faut s'assurer que les contraintes pour les aciers restent en dessous de la plastification ( $< 0,8 f_{yk}$  armatures BA et  $< 0,8 f_{pk}$  pour les armatures de précontrainte adhérentes).

Il est rajouté que pour respecter la maîtrise de la fissuration il faut respecter les contraintes limites fixées dans l'annexe QQ de l'EC2, sensiblement plus élevées que celles fixées dans les règles antérieures.

### Conclusion:

Jean-François CARLES nous montre qu'il existe différentes méthodes qui permettent de vérifier l'évolution des ouvrages de béton armé et de béton précontraint. Cela est possible en se basant sur les règles et données du passé que l'on vient retranscrire en données actuelles ce qui permet de comparer aux codes actuels et donc de réaliser une vérification. Il se base aussi sur les faits historiques afin de pouvoir identifier des pathologies ou des défauts qui pourraient affecter l'intégrité de la structure.

(AZAR Patrick / GOMES DE OLIVEIRA Vitor / GALIMONT Romain)

### **L'évaluation de la résistance résiduelle d'une structure existante- Ouvrages métalliques, état des pratiques RATP**

**Jean François Douroux (RATP)**

Dans le cadre du colloque Le Pont édition 2018, M. Douroux, représentant de la RATP, a abordé les aspects relatifs à l'évaluation de la résistance résiduelle des ouvrages métalliques existant en France. Une brève description du réseau français de la RATP a ainsi été dépeinte, suivie des principaux procédés mis en place lors d'une démarche d'évaluation des ouvrages métalliques avant de traiter quelques exemples concrets d'ouvrages ayant fait l'objet de ces évaluations.

Le réseau français de la RATP constitue le deuxième réseau de métro en Europe pour ce qui est des voyageurs et dont la ligne A du RER, plus importante ligne d'Europe, est fréquentée par pas moins d'un million de voyageurs. Datant des années 1900 à 1940, le réseau présente quelques ouvrages nécessitant une modernisation ainsi qu'une maintenance adaptée aux nouvelles charges liées aux nombreux convois et à la circulation dense, caractéristiques du monde actuel. Pour cela, des évaluations dites structurales sont parfois menées ; lorsque l'ouvrage a connu des campagnes de réparations conséquentes et coûteuses, permettant ainsi de se prononcer quant au choix d'une énième réparation ou d'une reconstruction pure et simple de l'ouvrage.

Ces évaluations se basent en grande partie sur les archives relatives au dossier de l'ouvrage et répertorient les inspections réalisées ultérieurement, les notes de calcul d'époque ainsi que le registre des modifications éventuellement apportées à la structure. De nouvelles notes de calcul prenant en compte ces changements sont ensuite réalisées, basées en partie sur les Eurocodes et les règlements de calcul des ponts métalliques ; elles sont ensuite comparées aux anciennes notes afin de statuer sur la nécessité d'une éventuelle évaluation approfondie. Des investigations peuvent dans ce cas être menées sur site, comprenant des essais à la fatigue, des mesures de ductilité ainsi que le prélèvement d'échantillons destinés à déterminer la résistance et la soudabilité de l'ouvrage. Des essais d'instrumentation peuvent venir parfaire ces auscultations.

Les principaux problèmes soulevés lors des évaluations sont les suivants :

- Le choix du modèle de calcul à adopter est souvent sujet à discussions. En effet, des doutes peuvent parfois subsister quant au modèle de calcul à prendre en compte, les treillis articulés étant couramment utilisés à l'époque de construction des ouvrages et les modèles encastrés d'avantage employés de nos jours mais induisant des moments d'encastrement conséquents ;
- La prise en compte des fatigues dites secondaires correspondant aux moments d'encastrement par rapport aux fatigues principales induites par les efforts normaux, aspect abordé par Bertrand de Fontviolant en 1927 ;
- L'absence de prescription quant à l'utilisation de certains matériaux (excepté pour les ouvrages ferroviaires pour lesquels une notice a été établie par la SNCF) a de plus contribué à rendre la comparaison des données d'époque et actuelles plus ardue.

La mise en œuvre d'investigations permet de vérifier et de corroborer les résultats suggérés lors des calculs et peut mettre en évidence un défaut d'analyse, comme le montre l'exemple du collecteur de Clichy dont les contraintes calculées étaient de 360 MPa et celles mesurées sur site de 5,7 MPa. Plusieurs outils sont employés lors des évaluations, permettant de caractériser au mieux les phénomènes observés sur l'ouvrage. Le viaduc d'Austerlitz a par exemple été modélisé en 3D suite à l'observation de fissures au niveau des suspentes, et par le biais d'un calcul aux éléments finis l'évolution du phénomène de fissuration a ainsi pu être représenté et étudié.

La décision finale concernant les mesures de réparation ou de modification de l'ouvrage n'intervient qu'à l'issue de l'ensemble de l'étude. Il est primordial pour cela de s'appuyer sur les dossiers d'ouvrages et de prendre du recul quant aux résultats apportés par les calculs. Ces derniers doivent en effet traduire les constatations relevées in-situ et être vérifiés grâce à d'éventuelles investigations. Chaque ouvrage étant unique, il est important de ne pas se cloisonner dans un raisonnement conventionnel et préétabli mais de s'intéresser davantage à la conception et au mode de fonctionnement de l'ouvrage afin de statuer sur l'origine des désordres. Les évaluations structurales se doivent d'être appuyées par un suivi régulier de l'ouvrage afin d'optimiser les opérations de maintenance et d'assurer la préservation et la pérennité de notre patrimoine bâti.

*(Sofia Benaïssa, Elie Mahfoud)*

### Evaluation de la résistance résiduelle d'une structure existante à câbles et haubans

#### Jean-Bernard Datry (SETEC TPI)

Le but de cette présentation est de faire un état de l'art des ponts à haubans et à câbles, leurs comportements, les points faibles de ces structures, les pathologies associées et leurs causes courantes.

Aujourd'hui il existe 70 ponts suspendus en France. Les ponts à câbles sont apparus en France au début du 19<sup>ème</sup> siècle. Les ponts suspendus sont utilisés dans les cas où créer des fondations s'avère compliqué ou impossible. Notamment dans les lits de rivières sableux ou alluvionnaires ou dans les cas où les piles de pont seraient trop hautes. Ils sont donc caractérisés par de très longues portées qui induisent une souplesse importante. Pour les proportions, la plupart du temps les travées de rives sont deux à cinq fois moins longues que la travée principale, quant aux mâts ils sont hauts d'environ le dixième de la portée principale.

Les ponts à haubans et à câbles sont souvent constitués d'une travée isostatique sur deux piles maçonnées. Le tablier est fabriqué en acier recouvert de béton ou de bois en fonction de l'usage. Les travées de rives ne sont pas suspendues dans les cas courants.

Du fait de la géométrie élancée et fine des tabliers, les sollicitations les plus défavorables sont le vent et le trafic. Le vent génère, en fonction de sa puissance, différents effets. Dans le cas de vents faibles, le pont est soumis à des vortex qui causent l'instabilité du tablier en créant des zones de surpression et de dépression. Dans le cas de vents plus violents, les ponts sont soumis à des turbulences voire à des torsions (le pont de Tacoma en est l'exemple le plus connu).

Les constructions ont beaucoup évolué en deux siècles. Les matériaux et les techniques utilisés sont différents. Les méthodes de dimensionnement ont intégré le développement des calculs numériques et la généralisation des calculs au second ordre.

L'évolution du trafic et les accidents dus à la souplesse des ponts ont amené les constructeurs à raidir les travées. Les câbles mono-torons parallèles ont peu à peu laissé leur place à des câbles torsadés et gainés. Les câbles torsadés se traduisent par un module d'élasticité apparent plus faible que le module d'Young du matériau, puisqu'il est de l'ordre de 165 GPa. Il est calculé en fonction du cosinus de l'angle d'enroulement ( $E_{app} = E_{acier} \cos^3(\alpha)$ ).

Les premiers ponts ont été raidis par des poutres de forte inertie pour éviter des déformations trop importantes. Plus tard, on a mis en place des treillis puis des caissons orthotropes ou bi-caissons (pour les ponts de grande longueur).

Le calcul au second ordre permet d'intégrer dans le calcul la déformation du câble sous chargement lors du dimensionnement du pont. Il en résulte une forte diminution des efforts dans le tablier.

Suite à deux cent ans d'expérience, il a été mis en évidence que certains éléments, comme les suspentes, les selles d'épanouissement et les ancrages des ouvrages suspendus sont plus sensibles au vieillissement que le reste de la structure. Cela s'explique par les cycles de chargement / déchargement qui génèrent de la fatigue sur ces éléments métalliques et l'exposition de ces éléments aux attaques extérieures (corrosion en particulier). Aujourd'hui encore, il reste extrêmement difficile de protéger ces éléments.

L'évolution la plus notable en matière de protection se trouve dans la fabrication des câbles eux-mêmes. En effet, la galvanisation externe du mono-toron a été remplacée par une multitude de couches protectrices. La galvanisation, la pâte de zinc, le « wrapping » la peinture époxy et les revêtements polyuréthane sont des procédés courants et continuellement améliorés pour augmenter la durée de vie des câbles. Les autres éléments n'ont pas encore profité d'amélioration aussi notable que les câbles.

Malgré de nombreuses innovations technologiques, les ponts à haubans et à câbles restent sensibles. Les ponts fabriqués ces dernières années sont systématiquement monitorés, ce qui permet un suivi systématique des éléments du pont, de son comportement et de ses caractéristiques. Le but est de prévoir la maintenance et l'entretien (ou le remplacement de certaines pièces au besoin) au bon moment. Le défi auquel font face les entreprises de maintenance des ouvrages plus anciens, est d'instrumentaliser suffisamment et sur une durée

assez longue pour dissocier les effets naturels dits de « respiration » de l'ouvrage de ceux plus anormaux dits « accidentels ». Cette compréhension de l'ouvrage est essentielle pour réaliser des travaux sur un pont.

M. DATRY conclut sa présentation en rappelant que les éléments du pont sont constitués de matériaux divers, soumis à leurs propres risques et pathologies (piles en maçonnerie, tablier en béton armé, haubanage en acier etc...). C'est cette diversité qui rend complexe la maintenance et la gestion du vieillissement du parc.

(CONFAIS Aleth, LABEYLIE Jeremy, NEHME Ali)

### Généralités sur la protection cathodique des bétons

#### Raoul François (INSA Toulouse)

François Raoul, professeur des Universités à l'INSA de Toulouse a présenté une conférence dont le thème peut se résumer ainsi : Protection cathodique des structures en béton. Le professeur a abordé plusieurs points : la corrosion des aciers dans le béton, le principe de protection cathodique, les procédés des protections cathodiques, les cadres normatifs, le retour d'expérience, les effets indésirables ainsi que les développements futurs.

La corrosion peut être initiée par les chlorures ou par carbonatation. Ces corrosions sont localisées, c'est-à-dire qu'il y a une séparation d'une zone cathodique et d'une zone anodique. Il s'y produit une réaction chimique d'oxydo-réduction ; une oxydation produisant des électrons à l'anode  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$  et une réaction cathodique, une réduction consommant des électrons.  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$  en présence d'oxygène ou  $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$  en absence d'oxygène.

Grâce à son pH élevé, le béton forme rapidement une couche passivante protégeant l'acier de la corrosion, or le phénomène de pénétration des chlorures ou le phénomène de carbonatation peuvent provoquer une corrosion dite localisée. Ces deux phénomènes nous mènent à avoir une dép passivation conduisant à une création d'une zone active.

Plusieurs techniques permettent de stopper ou réduire ce procédé de corrosion. Nous pouvons citer la repassivation des aciers de structure ou leur protection par revêtement. Dans ce document, nous allons nous intéresser à la protection cathodique. Le principe est le suivant : comme nous l'avons mentionné précédemment, la corrosion est due à un échange d'électrons entre l'anode et la cathode. L'objectif est donc de stopper cet échange. Pour cela, il faut amener des électrons à la cathode pour ne plus permettre à l'anode de fournir ces particules. Cet apport d'électrons externes est possible via deux techniques détaillées ci-dessous : la protection cathodique galvanique (PCG) et la protection cathodique par courant imposé (PCCI).

Intéressons-nous d'abord à ce premier type de protection, la PCG. Celui-ci consiste à utiliser une anode dite sacrificielle dont le but est de laisser l'anode principale libre de tout échange électrochimique avec la cathode. Cette anode sacrificielle est faite avec du Zinc pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il est nécessaire d'utiliser un métal dont le potentiel électrochimique est inférieur à celui de l'acier des armatures afin que ce soit cette anode en Zinc qui fournisse les électrons au système. L'autre avantage du Zinc réside dans le fait que ce métal ne réagit pas avec le béton des structures à la différence d'autres métaux tels l'Aluminium ou le Magnésium.

Le principe de la protection cathodique par courant imposé se base sur l'utilisation d'une anode (matériau inerte) qui a pour but de limiter l'oxydation. Des électrons sont apportés à la cathode (armatures) et ensuite a lieu une transformation de l'oxygène en  $\text{OH}^-$ .

S'il n'y a plus d'oxygène à ce moment-là, la dissociation de l'eau apparaît. C'est-à-dire qu'il y a une transformation de l'eau en  $\text{OH}^-$  et en hydrogène. Les  $\text{OH}^-$  sont formés au niveau de l'acier, se déplacent vers l'anode et sont retransformés en oxygène.

En considérant 2 armatures liées entre elles électriquement dans une poutre, en faisant des coupures électriques et avec un système d'acquisition, les courants échangés peuvent être mesurés. À l'endroit de la pique de corrosion un courant anodique se développe alors que dans tout le reste de la poutre ce sont des courants cathodiques où l'oxygène se transforme en  $\text{OH}^-$ . Le système actif échange avec tout le reste de la poutre. En imposant un courant à la surface de l'anode, on observe qu'au niveau de la pique, le courant est anodique. Lorsque l'on injecte des électrons dans le système, les courants deviennent cathodiques dans toute la poutre. La protection cathodique est efficace, il n'y a plus de courant d'échange. La corrosion est stoppée.

Ces techniques existant depuis un certain nombre d'années, nous possédons à l'heure actuelle des données chiffrées présentant les résultats. Prenons l'exemple des Pays-Bas. Depuis la fin des années quatre-vingt, 105 structures ont été équipées avec une protection cathodique. Le résultat des données relevées permet d'obtenir l'évolution de la probabilité de défaillance des anodes en fonction de l'âge des structures ce qui peut conduire à la conclusion suivante : ces systèmes de protection cathodique sont fiables. En effet, moins de dix pourcents des systèmes anodiques risquent de connaître une défaillance au bout de sept années mais surtout moins de quinze pourcents au bout de quinze ans. Ces chiffres prouvent donc bien la qualité du dispositif de protection cathodique.

Il existe cependant des effets indésirables connus dus à cette protection cathodique. On consomme des  $\text{OH}^-$  à l'anode, un problème d'acidification de la zone de béton proche de l'anode peut avoir lieu. De plus, des problèmes de RAG peuvent se déclarer, car il y a une production des  $\text{OH}^-$  et la venue des alcalins dans le sens opposé des ions négatifs. À noter, que pour les câbles de précontrainte un problème de surpolarisation est envisageable ou de dissociation de l'eau au niveau de la cathode. À la place de réduire l'oxygène, une production d'hydrogène peut avoir lieu et potentiellement un risque de corrosion fissurante.

Pour le futur, le développement des aspects de modélisation numérique pour pouvoir prendre en compte des phénomènes 3D est primordial. Il faut mettre en place des modèles robustes basés sur les équations de base de l'électrochimie et sur la résolution des problèmes par la loi d'ohm pour la partie résistive. Pour

finir, le développement d'un retour d'expérience pour pouvoir calibrer ses modèles numériques est à améliorer.

La protection cathodique est une méthode fiable, en ce qui concerne le cadre normatif. M. François rappelle qu'il existe deux normes principales, l'EN ISO 15257 qui définit l'existence d'un processus de certification pour les personnes qui vont mettre en place et qui vont concevoir la protection cathodique et un autre cadre normatif qui est l'EN ISO 12696 qui précise quels sont les critères à vérifier pour être sûr que la protection cathodique fonctionne. Ces critères ont une définition empirique et sont donc perfectibles. Afin de décrocher cette certification, il faut qu'au moins un des trois critères suivants soit respecté.

Le premier critère est un potentiel dit 'Instant OFF' qui doit être inférieur à -720 mV, le deuxième critère est une vérification de dépolarisation, il ne faut pas qu'il y ait une repolarisation de 100 mV sur 24H. Le 3<sup>e</sup> et dernier critère est une dépolarisation de 150 mV sur une période plus longue à condition que cette dépolarisation ne soit pas perturbée par des facteurs extérieurs.

*(Mathieu Pellerano, El Hadi Seddiki et Jérémie Dejean)*

### **La protection cathodique des bétons armés: Mise en œuvre des différentes techniques**

#### **Philippe Le Hö (CCFA)**

Cette présentation fait suite à celle de Mr. Raoul François qui a présenté les généralités de la protection cathodique des bétons. Pour rappel, la protection cathodique du béton armé est une technique permettant d'éviter la corrosion des aciers en transformant les armatures présentes dans le béton en cathode d'une cellule électrochimique. L'exposé est présenté sous la forme d'une photothèque qui vient illustrer les différents moyens de mise en œuvre de cette technique.

Pour commencer, avant de choisir une technique de protection, il est nécessaire de connaître la nature du béton ainsi que la surface de contact du ferrailage avec le béton. Ensuite, il faut procéder à la recherche de la position précise des armatures à l'aide de radars. La position des armatures est repérée sur la surface du béton. Pour les différentes techniques il sera nécessaire de relier physiquement les armatures au circuit de protection.

#### *Protection par anodes galvaniques*

Pour cette technique on effectue des percements afin de mettre les armatures à nue. Il faut ensuite mettre en place les anodes galvaniques (une dizaine par m<sup>2</sup> par exemple) qui assureront la protection anodique. Il est important de mettre en place une densité d'anode suffisante afin qu'elles puissent travailler localement. Il faut ensuite relier les différentes anodes aux armatures afin d'assurer la continuité électrique du circuit. Après la mise en place du système, des mesures et des contrôles sont effectués afin d'assurer la bonne mise en œuvre du système. Ces contrôles sont effectués via différentes techniques, notamment la mesure de potentiels sur site à l'aide d'électrodes de mesures. On met également en place des armoires de contrôle qui permettront d'effectuer de prochaines vérifications.



### *Protection par courant imposé*

Une autre technique de mise en œuvre consiste, plutôt que de mettre en œuvre une anode métallique, à imposer un courant continu dans le ferrailage d'un élément en béton armé. D'une manière similaire les armatures doivent pouvoir être reliées au circuit. Des rubans électriques sont connectés aux armatures, le tout relié à un poste à courant imposé. Cette technique permet également un suivi sur site ou à distance à l'aide de télétransmission, mais également un pilotage du courant directement à distance.



### *Protection par plaques de zinc*

La mise en place de plaque de zinc peut également être une solution de protection cathodique. Ces plaques sont apposées sur la surface de l'élément en béton à protéger et sont reliées aux armatures afin d'assurer la continuité électrique.



Pour conclure, M. LE HÔ nous a donc mit en avant des solutions efficaces et durables pour la pérennisation des ouvrages avec notamment une équipe d'experts certifiés CEFACOR. Ces techniques sont basées sur des normes européennes reconnues et fonctionnelles. De plus il existe un centre d'examen à l'INSA Toulouse pour la formation des équipes. Il est à noter l'importance de la qualification des équipes de pose, de suivi et de maintenance de ce type de protection contre la corrosion afin d'assurer la pérennité des ouvrages qui nous entourent.

(ESTRADA ZULUAGA Mariana, GONTERO Romain, LE LUBOIS DE TREHERVE Victor, NAUDI Clémence)

### **Formation et certification en protection cathodique des structures en béton** **Raoul François (INSA Toulouse)**

#### **1. Présentation générale de la certification**

##### ***Objectifs de la certification***

La certification en protection cathodique des structures en béton permet de former des agents compétents pour lutter contre la corrosion du béton armé. La corrosion du béton armé est en effet non seulement la pathologie la plus répandue de ce matériau, mais encore une pathologie inéluctable, puisque, si elle peut être ralentie, elle ne peut être arrêtée.

##### ***Valeur normative de la certification***

Cette certification correspond à la norme française, européenne et internationale *EN ISO 15257: « Protection cathodique — Niveaux de compétence des personnes en protection cathodique — Base pour un dispositif particulier de certification »*.

La norme *EN ISO 15257* a été récemment modifiée (1er janvier 2018), notamment en ce qui concerne les niveaux de compétences. Ces changements étant générateurs de confusion, une présentation détaillée des niveaux des compétences sera exposée en partie 2.

##### ***Personnes concernées par la certification***

La certification concerne tous les acteurs de la construction:

- La maîtrise d'oeuvre : conception et dimensionnement.
- Les entreprises : mise en œuvre.
- Les bureaux de contrôle : vérification de la conformité des constructions.
- Les maîtres d'ouvrages (publics ou privés) : contrôle du système et préconisations adaptées.

La certification des opérateurs n'est aujourd'hui pas obligatoire en France, contrairement à des pays comme le Royaume-Unis où le nombre de personnes certifiées est 15 à 20 fois plus important qu'en France.

Selon Monsieur François, il devrait être obligatoire, en France, d'avoir recours à des opérateurs certifiés pour dimensionner et mettre en place la protection cathodique.

### **2. Domaines de certification et niveaux de compétences**

Comme indiqué ci-avant, la certification en protection cathodique des structures en béton est un dispositif permettant de reconnaître et d'attester de la compétence d'une personne travaillant dans la protection cathodique.

#### *Certificat nominatif spécialisé*

Cette certification est obtenue par la réussite d'un examen, qui donne lieu à l'attribution d'un certificat nominatif pour un secteur d'application donné et pour un niveau de compétence donné.

Les secteurs d'application sont au nombre de quatre :

- Structures métalliques terrestres (secteur Terre). Par exemple les pipelines.
- Structures métalliques en mer (secteur Mer).
- Structures en béton armé (secteur Béton, immergé ou non).
- Surfaces intérieures des structures métalliques contenant un électrolyte.

Quant au niveau de compétence, il en existe cinq :

Niveau 1 - Contrôleur en protection cathodique : certifie qu'un opérateur de chantier est capable de mettre en place une protection cathodique sur site.

Niveau 2 - Technicien en protection cathodique : capable de surveiller l'installation le contrôle et la maintenance de l'installation.

Niveau 3 - Technicien confirmé en protection cathodique : capable de préparer les instructions techniques pour les niveaux 2 et 1.

Niveau 4 - Spécialiste en protection cathodique : s'occupe conception et surveillance du système de protection cathodique (vérification de l'efficacité et de la conception globale).

Niveau 5 - Expert en protection cathodique : recherche et développement de la protection cathodique.

#### *La certification à l'INSA*

Depuis 2014 (ouverture du centre de l'INSA) 64 personnes ont obtenue la certification de niveau 2 de la norme *EN ISO 15257*. Un examen pour le niveau 3 est prévu en décembre et le niveau 1 et 4 seront développés l'année prochaine. Le niveau 4 est différent des autres puisqu'il ne nécessite de suivre aucune formation préalable pour participer à l'examen. Alors que pour le niveau 2, il faut 5 jours de formation, et pour le niveau 3, 10 jours sont nécessaires. Il est aussi impossible de s'inscrire en candidat libre.

### **3. Inscription à l'examen : modalités et coûts**

L'inscription est réalisée via le site Internet du centre français de l'anticorrosion (CEFRACOR) (<http://www.cefracor.org>) ou de la Protection Cathodique (<http://www.protectioncathodique.net>).

La demande d'inscription est analysée par le Centre de Formation Professionnelle Construction (CFPC) qui se prononce sur la recevabilité du dossier et transmet sa réponse par voie électronique. La candidature est finalisée une fois le montant des frais d'inscription réglé, à savoir 1250 euros.

Si les conditions de validité du dossier sont respectées, le secrétariat du CFPC envoie au candidat, par voie électronique avec accusé de réception, deux semaines avant la date de l'examen, une convocation à la session d'examen.

### **4. Durée de validité d'une certification pour la protection cathodique**

La certification est valable 5 ans, avec une possibilité de renouvellement de 5 ans supplémentaires si le bénéficiaire de cette certification présente un dossier justifiant d'une activité régulière ou d'une ou plusieurs formations au cours des 5 premières années de certification.

Au terme de ces 10 années il devient nécessaire de passer de nouveau les épreuves théoriques et pratiques pour conserver la certification.

Enfin, il est possible d'invalider la certification en cas de manquement éthique avéré ou s'il est constaté une interruption significative supérieure à un an et demi dans l'exercice des fonctions de la personne concernée.

### **5. Centre de formation de l'INSA Toulouse**

Le centre de formation au sein de L'INSA présente 2 intérêts :

- La formation des ingénieurs interne par le biais du master 2 ID-RIMS (Ingénierie de la durabilité – recherche et innovation en matériaux et structures) ;
- La formation continue (sans certification finale) et la formation certifiante.

Les travaux pratiques réalisés dans cet établissement permettent d'effectuer des manipulations sur tous les systèmes de protection cathodique, que ce soit par anode surfacique, par anode ponctuelle, par courant imposé ou courant galvanique. Le prix de la formation se situe aux alentours de 4250 euros pour une inscription au niveau 2, décomposé. e suit : 5 jours de formation à 3000 euros et inscription à l'examen à 1250 euros.

(FAUCHEUX Maxime , SHABAN Shahzad)

### **Le rôle du maître d'ouvrage et de son assistant (sur ouvrage existant) Laurent Labourie (CEREMA)**

Concernant les responsabilités du maître d'ouvrage, il y a certes des instructions mais pas de norme à proprement parler sur la surveillance et l'entretien des ouvrages. Il n'existe toujours pas aujourd'hui de norme sur le calcul des ouvrages existants. Il n'y a aucune obligation d'assurance, cependant les normes de conception prévoient explicitement, ou implicitement, la mise en œuvre d'un système de surveillance et d'entretien (régulier, suivant des périodicités prévues lors de la conception).

Cependant il existe beaucoup d'obligations comme le fait que chaque collectivité territoriale est propriétaire de son propre réseau routier, de ce fait le pont appartient à la voie portée et donc à son gestionnaire. Le maître d'ouvrage est responsable, civilement et pénalement, de la sécurité d'usage. Mais pourquoi ?

Selon la Loi MOP titre I, le maître de l'ouvrage est la personne morale (...) pour laquelle l'ouvrage est construit. Responsable principal de l'ouvrage, il remplit dans ce rôle une fonction d'intérêt général dont il ne peut se démettre. D'après la directive européenne relative aux produits de la construction EN1990 2.1 : Exigences de base, le maître d'ouvrage est responsable du respect « d'exigences essentielles ». Les plus importantes sont la résistance mécanique et la stabilité des ouvrages, la sécurité en cas d'incendie, l'hygiène, la santé et l'environnement, la sécurité d'utilisation.

En conclusion le maître de l'ouvrage assume les responsabilités civiles et pénales liées à la surveillance, l'entretien et la maintenance des ouvrages. Ainsi la surveillance et l'entretien des ouvrages sont bien des obligations pour le maître d'ouvrage, mais il est « libre » de s'organiser comme il l'entend suivant ses moyens et sa politique propre. Les maîtres d'œuvres, assistants et autres intervenants assument la responsabilité de leurs prestations suivant les hypothèses fournies par le maître d'ouvrage. Pourquoi est-ce ainsi ?

Historiquement l'Etat a fait le choix de ne pas s'immiscer dans les politiques des collectivités pour cause d'une trop grande disparité des ouvrages et des techniques. Les difficultés que peut rencontrer le maître d'ouvrage peuvent être techniques, comme par exemple rencontrer le reflet des technologies utilisées sur 100 ans et plus, ou la nécessité d'adapter les moyens de surveillance, de contrôles et des objectifs de maintenance. Ces difficultés peuvent aussi être d'ordre organisationnel et financier, comme la perte d'informations ou la méconnaissance des étapes successives à respecter : inspection, diagnostic, programme...

Faire appel à l'assistance maître d'ouvrage permet au maître d'ouvrage de garder un rôle de garant au cours des différentes opérations du projet. En effet il peut avoir un rôle de conseiller (technique, administratif, financier, management de projet). Il apporte également des connaissances sur les responsabilités que doit tenir le maître d'ouvrage et sur la conduite à suivre afin de les faire exercer. L'AMO peut recevoir un mandat défini, on dit alors que le mandataire est un maître d'ouvrage délégué. Avoir recours à l'AMO permet de lui transférer une grande diversité de missions afin que le maître d'ouvrage conserve du temps pour suivre et intervenir si nécessaire sur les opérations.

Les situations de recours à l'AMO peuvent être réparties en trois catégories :

### 1. Encadrement de l'expertise et du diagnostic

Au cours de cette phase majeure, l'AMO intervient auprès du maître d'ouvrage en deux temps :

- Le premier peut être qualifié de « temps de découverte ». Au cours de cette étape il va assister le MO au niveau des diagnostics et recalculs sur le projet. Cela peut être de la prise de mesures d'urgence, la création d'un avis dit d'expert, la réalisation d'une inspection détaillée... Lors de ce temps de découverte il est préférable voire nécessaire d'éviter de travailler sur des solutions de réparation car il peut y avoir encore un manque de connaissance sur l'ouvrage et ses pathologies. De même, effectuer les diagnostics Plomb, Amiante HAP le plus tôt possible est nécessaire.
- Le second temps vise l'analyse du projet. L'AMO propose des décisions, assiste (+ analyse) et rédige les cahiers des charges alors que le maître d'ouvrage décide et assume les risques. Une stratégie doit alors être mise en place afin de conduire le projet. Différentes entités interviennent à ce niveau telles qu'un BET, un Laboratoire, un gestionnaire, la MOE..

Afin de bien comprendre cette phase il est nécessaire de prendre de la hauteur sur un projet et voir les rôles des différents intervenants dans les opérations d'expertises et de diagnostics. Vient alors après la validation de la stratégie à suivre, la réalisation des instructions réglementaires (Labo, tiers) qui est validée

par l'AMO. Le choix du mode de suivi des travaux est également mis en œuvre : régie, maîtrise d'œuvre avec comme décisionnaire le MOA et le Gestionnaire. Enfin la rédaction du cahier des charges de la consultation du maître d'œuvre est réalisée par l'AMO.

### 2. Encadrement des missions d'études de la maîtrise d'œuvre

Cette phase nécessite deux prérequis. En effet il faut avoir un programme avec un scénario de réparation/traitement ainsi qu'avoir abouti à des instructions réglementaires.

Dès lors, le phasage type consiste à l'appropriation par le MOE du scénario. Vient également l'APS avec un « coût d'objectif », non pertinente mais des calculs « avancés » sont recommandés. Il y a aussi des essais de travaux éventuels ainsi qu'un projet détaillé (PRO).

L'assistance à maîtrise d'ouvrage présente à ce stade un intérêt majeur de par sa connaissance de l'ouvrage et des études antérieures. De plus il sert d'intermédiaire entre MOA et MOE. Pour rappel le MOE a le rôle de « Concepteur » et le MOA celui de « Responsable des risques ».

L'AMO apporte un Contrôle dit « extérieur » des études et validation des prestations, juge la pertinence des dimensionnements, des coûts et des plannings.

### 3. Accompagnement du maître d'ouvrage en phase travaux

L'AMO est en position de retrait. Le maître d'ouvrage doit être attentif aux non-conformités, gérer les avenants et réclamations ainsi que la communication avec les tiers. La mission de l'AMO est la réception des travaux. Il devra être présent lors des essais éventuels, encadrer les inspections détaillées, vérifier la bonne composition des dossiers (DOE, DIUO).

En conclusion, l'AMO doit être un bon animateur, techniquement compétent et doit avoir la confiance du maître d'ouvrage. Idéalement, il intervient sur l'ensemble de l'opération, de la découverte jusqu'à la réception. En phases préalables il s'investit sur les risques, les hypothèses et le choix d'un scénario. Enfin, il sait élargir le cercle de réflexion et s'appuyer sur d'autres entités (BET, Laboratoires, CT).

*(Bastian Lacombe, Naheel Kinnoo, Jules Le Bec)*

## Les normes attachées aux travaux de réparation

**Christian Tournier (Directeur Scientifique de FREYSSINET, Président de la Commission CNROA)**

La gestion du patrimoine bâti représente un enjeu essentiel de nos sociétés, dont les gestionnaires de réseaux, soient-ils publics ou privés, y allouent une part de plus en plus conséquente de leur budget. Les techniques actuelles d'instrumentalisation et de diagnostic permettent un suivi dans le temps de l'avancement des différents désordres d'ordre mécanique ou associé à une pathologie spécifique. Ces techniques de contrôle permettent d'assurer la pérennité des ouvrages en priorisant les opérations de maintenance.

C'est dans ce contexte de durabilité des ouvrages d'art, que s'inscrit la 23<sup>ème</sup> édition du colloque « Le Pont » qui réunit chaque année les différents acteurs du génie civil, afin de discuter de l'état de l'art dans ce domaine. L'établissement de normes permet à la fois de fixer les règles de l'art et elles offrent également un support de travail sur lequel peuvent s'appuyer les différents gestionnaires de parc.

En France, les spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés sont régies par la série des normes NF-P-95 qui constitue un socle de directives nationales concernant la qualité des produits destinés aux ouvrages d'art. Pourtant, l'arrivée de la norme européenne NF-EN-1504 1-10, relative à l'enregistrement des produits pour le marquage CE, impose depuis 2010 le classement des produits de réparation en fonction de caractéristiques bien définies (étanchéité, résistance mécanique etc...). De plus, la décomposition des tâches en principes et méthodes, influence la rédaction des CCTP et CCTG. Ainsi, la révision des normes françaises se justifie par des exigences nationales particulières au niveau de la qualité des produits à utiliser pour la réparation des ouvrages d'art, qui ne sont pas fixés par les normes européennes. Ce travail de révision, tend à harmoniser les normes existantes vis-à-vis de la norme européenne, afin de mieux prendre en compte les exigences relatives au CCTP et CCTG en fixant les niveaux de qualité pour les produits et leur mise en œuvre.

Chaque norme s'auto-suffit et suivra le même plan décomposé selon les chapitres suivants :

- Etudes et travaux préliminaires.
- Les descriptions d'emploi des produits et système de réparation.
- La réalisation des travaux
- La réalisation des essais et contrôle.
- Les conditions de réception des produits et des systèmes sur le chantier.

L'ensemble des normes NF-P-95 s'intéresse donc, à la mise en œuvre et ne traite pas des aspects de calcul. Il a en conséquence été dressé l'avancement des différents groupes de travail chargés de leur révision.

Ainsi deux normes sont déjà disponibles sur le site d'AFNOR :

- Depuis 2014 la norme **NF-P-95-103** relative aux « traitements des fissures et protection superficielle des bétons. »
- Depuis 2017 la norme **NF-P-95-101** relative aux « principes et produits de ragréage sur les ouvrages. »

Deux autres normes sont en fin de rédaction :

- La rédaction de la norme **NF-P-95-104** relative aux « techniques de précontrainte additionnelle » a été achevée par un groupe de travail de 8 personnes animé par Jean-Michel LACOMBE du CEREMA.

Elle est en phase de relecture par le groupe technique et devrait être disponible d'ici octobre 2018 pour une enquête publique, où les professionnels du secteur sont invités à apporter leur commentaire.

- La norme **NF-P-95-102** relative aux « mortiers et bétons projetés » est toujours en cours de rédaction par un groupe de travail de 9 personnes animé par David CHAMOLEY du CETU et Catherine LARIVE de ASQUAPRO, l'enquête publique devrait être lancée courant du 1<sup>er</sup> trimestre 2019 pour une publication en 2020.

La partie de l'ancienne norme traitant des maçonneries a été retirée, car certains travaux spécifiques tels que les rejointoiements et reconstitutions de pierres n'y étaient pas traités. La révision de la norme se recentre donc, sur les travaux en béton armé, mais reste applicable sur maçonnerie dans le cadre

## Les manifestations régionales

de travaux tels que les contre-voutes et les butons dont l'application relève plus du béton que de la maçonnerie.

Enfin une autre série de révisions est en perspective concernant la norme **NF-P-95-105** relative aux « techniques de renforcement par composites collés, comme les armatures additionnelles collées », où le comité de rédaction est en cours de constitution et l'acceptation des candidatures se fait par vote du comité de normalisation.

La réunion de lancement est prévue pour le 12 novembre 2018. Et à plus long terme le comité prévoit :

- La rédaction de la norme **NF-P-95-100** : il s'agira d'un fascicule de documentation, sorte de guide chapeau de l'ensemble des normes NF-95.
- La révision de la norme **NF-P-95-107** relative aux « réparations et renforcement des maçonneries » permettra de préciser certains travaux spécifiques à la maçonnerie.

Enfin il est également envisagé une révision de la norme **NF-P-95-106** relative aux « spécifications relatives aux fondations des ouvrages » afin d'y intégrer la prise en compte de l'accroche des fondations sur les bâtiments existants.

(GUTIERREZ MONSALVE Laura, HESS Lucas)

