Notice d'aide à la décision

LE PILOTAGE DE LA MAINTENANCE DES OUVRAGES D'ART EN BÉTON

Livret 1

Gestion patrimoniale et durée de vie des ouvrages

DURABILITÉ DES OUVRAGES D'ART ET PILOTAGE DE LA MAINTENANCE

GT7

Pilote : N. Bardou (Cofiroute)

Groupe de travail : Groupe de travail :
N. Bessoule (Sixense),
F. Combier (Egis),
S. De La Roque (Cofiroute),
E. Helin (Quadric),
Y. Jeanjean (Sanef),
L. Marracci (Arcadis),
B. Quénée (Lerm)

Ingénierie de Maintenance du Génie Civil
IMGC

Sommaire

INTRODUCTION 3

CHAPITRE 1.
LES PROCESSUS DE PILOTAGE POUR ORGANISER LA GESTION PATRIMONIALE 5

- » Processus d'inventaire et indicateur socio-économique (ISE) 6
- » Processus de surveillance et indicateur d'état apparent (IEA) 8
- » Processus de diagnostic et indicateur d'état vrai (IEV) 11
- » Processus d'analyse 12
- » Processus de décision et de programmation des actions 13

CHAPITRE 2.
LA DURÉE DE VIE D'UN OUVRAGE 16

- » Une notion à distinguer entre les équipements et la structure 17
- » Durée de vie de la structure 19
- » Facteurs influençant la durée de vie de la structure 22

CHAPITRE 3.
LES MÉCANISMES DE DÉGRADATION 23

- » Dégradation de la structure 24
- » Dégradation des équipements 28

CHAPITRE 4.
LES ACTIONS QUI PROLONGENT LA DURÉE DE VIE DES OUVRAGES 33

- » Choix des dispositions constructives 34
- » Actions de maintenance, de réparation ou d'aménagement de la structure 35
- » Actions d'entretien et de remplacement des équipements 36
- » Restriction des conditions d'exploitation 37

BIBLIOGRAPHIE 38

INTRODUCTION GÉNÉRALE DE LA NOTICE

A. OBJET DE LA NOTICE

La mission de gestion du patrimoine ouvrages d'art est un enjeu majeur pour les maîtres d'ouvrages et gestionnaires d'infrastructures routières, confrontés à la double nécessité de devoir assurer la pérennité de leur parc et de garantir la sécurité des usagers.

Cette mission s'est singulièrement complexifiée depuis plusieurs années compte tenu d'une part, des contraintes budgétaires et des exigences toujours plus fortes en matière de disponibilité des infrastructures et, d'autre part, du vieillissement des ouvrages, soumis à un trafic routier de plus en plus agressif.

Dans ce contexte, les maîtres d'ouvrages sont tenus de mettre en place des stratégies de gestion efficaces de leur patrimoine de ponts qui permettent de hiérarchiser les priorités d'intervention et d'optimiser les coûts de maintenance à moyen et long terme.

Cela nécessite de trouver des réponses aux questions suivantes : **quelles actions** faut-il engager pour garantir la sécurité des usagers et maintenir (ou améliorer) l'état du parc ? **À quel moment** ? Et pour **quels ouvrages** ?
La finalité étant d'intervenir le plus efficacement possible afin d'optimiser les ressources disponibles (moyens financiers et humains) sans intervenir prématurément, ni intervenir trop tard.

Afin de guider les gestionnaires dans l'organisation de la maintenance de leur parc, cette notice a pour objectif de fournir des éléments d'analyse relatifs **à l'évaluation de la durée de vie** des ouvrages d'art en béton. Aussi bien pour la partie structure (tablier, appuis) que pour les équipements d'ouvrage. Ces éléments d'aide à la décision et les méthodes de pronostic présentées doivent permettre d'anticiper les échéances pour la programmation optimale des actions de maintenance (entretien, réparation, remplacement).

B. ARTICULATION DE LA NOTICE

La notice est organisée en 4 livrets. Ce livret 1 introduit la notice en rappelant les grands processus de pilotage de la gestion patrimoniale (chapitre 1) et en clarifiant la notion de durée de vie d'un ouvrage (chapitre 2). Les derniers chapitres décrivent les principaux mécanismes de dégradation qui réduisent la durée de vie des ouvrages (chapitre 3) et rappellent les actions qui permettent de prolonger leur durée de vie (chapitre 4). Une bibliographie choisie est proposée à la fin de ce premier livret.
Les 3 autres livrets qui complètent la notice traitent des thématiques suivantes :

- › Identification des ouvrages critiques et des structures à risques, qui requièrent une stratégie d'évaluation et de gestion spécifique (**livret 2**) ;
- › Méthodes d'établissement de pronostic sur la durabilité des structures (**livret 3**) ;
- › Méthodes d'établissement de pronostic sur la durabilité des équipements (**livret 4**).

C. DÉMARCHE GÉNÉRALE D'ORGANISATION DE LA GESTION PATRIMONIALE

L'organisation de la gestion d'actifs (selon NF ISO 55000) et plus particulièrement de la gestion d'un parc d'ouvrages d'art est décrite dans de nombreux ouvrages de référence (cf. Bibliographie en fin du document). Nous présentons ici une approche volontairement simplifiée, afin de rappeler les processus fondamentaux qui permettent de piloter la maintenance des ponts et de mettre en évidence la manière dont les différents livrets de la notice s'articulent.

La mise en place d'une méthode de gestion performante repose sur une connaissance approfondie du patrimoine (Niveau 1), qui met en jeu trois processus parallèles :

- » Un processus d'inventaire valorisé et de structuration du patrimoine, qui permet notamment d'affecter à chaque ouvrage un Indice Socio-Economique (ISE) traduisant l'importance stratégique relative entre les ouvrages.
- » Un processus de surveillance périodique, destiné à rendre compte de l'état de conservation de chaque ouvrage et alerter en cas de dégradation anormale. Ce processus est organisé autour de la réalisation de visites et d'inspections (avec ou sans moyens d'accès, ou par télé-inspection) et permet d'attribuer à chaque ouvrage un Indice d'Etat Apparent (IEA), qui s'appuie sur des constats visuels établis par des spécialistes.
- » Un processus de diagnostic, déclenché au cas par cas – généralement lorsque l'état apparent révèle une anomalie – qui met en jeu la réalisation d'auscultations (investigations et essais in situ, métrologie, instrumentation,

analyses et essais de laboratoire) et/ou d'études de recalcul. Ce processus permet d'évaluer l'état pathologique réel de l'ouvrage et de lui affecter un Indice d'Etat Vrai (IEV).

Lorsque ces processus sont correctement suivis et que les informations sont régulièrement collectées et mises à jour, le gestionnaire dispose alors de moyens lui permettant d'organiser la maintenance de son parc de manière efficace. En s'appuyant sur une politique de maintenance, qui définit les objectifs à atteindre, et une méthode de gestion patrimoniale associée, il est capable de construire un programme pluriannuel des actions de surveillance et de maintenance (Niveau 3) ; la principale difficulté consistant le plus souvent à trouver une manière de hiérarchiser les priorités d'intervention dans un budget contraint.

On ne peut cependant pas passer de l'évaluation de l'état des ouvrages (Niveau 1) à la programmation des travaux (Niveau 3) en faisant l'économie d'une phase d'analyse intermédiaire (Niveau 2). Cette analyse intermédiaire devant en effet permettre :

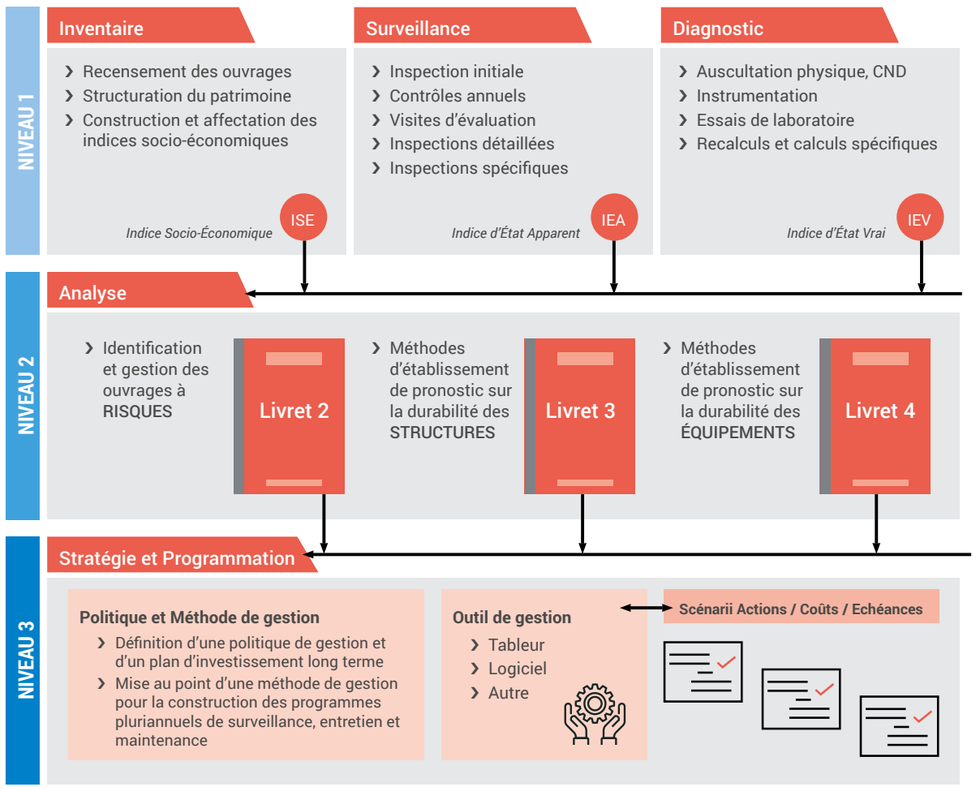
- d'une part de détecter au travers d'une analyse de risques les ouvrages, ou groupes d'ouvrages, sensibles, qui méritent une attention particulière et qui devront être gérés d'une manière spécifique compte tenu de leur vulnérabilité (ou a contrario de leur robustesse). Le résultat de cette analyse permet de construire des indicateurs spécifiques qui peuvent entrer en jeu dans la méthode de gestion par analyse de risques. Cette analyse est développée dans **le livret 2** de la notice.
- d'autre part d'établir un pronostic sur la durabilité des ouvrages afin de se projeter sur le vieillissement attendu et l'évolution future de l'état du parc. La programmation des actions de maintenance sur les différents ouvrages découlera de cette évaluation, en fonction du programme de mise à niveau défini par le gestionnaire. Les méthodes qui permettent d'établir un pronostic sur la durée de vie des structures et des équipements de ponts sont respectivement décrites plus précisément dans les **livrets 3 et 4** de la notice.

En résumé

La démarche de gestion organisée d'un parc d'ouvrages peut être représentée sous la forme du logigramme ci-dessous. Ce logigramme explicite aussi la manière dont les livrets de la notice s'articulent.

➤ *FIGURE 1*

Logigramme du processus de gestion patrimoniale et place des livrets 2, 3 et 4 dans le système.



Chapitre 1

LES PROCESSUS DE PILOTAGE POUR ORGANISER LA GESTION PATRIMONIALE

1.1 Processus d'inventaire et indicateur socio-économique (ISE)

1.1.1/ Recensement des ouvrages et structuration des données patrimoniales

La première étape de la gestion patrimoniale consiste à réaliser un recensement exhaustif des ouvrages, sous forme de liste, afin de délimiter clairement le périmètre de gestion, en fonction de la propriété des ouvrages (on notera que la propriété et la gestion – d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage – peuvent parfois être dissociées entre différents acteurs, en fonction des conventions d'entretien existantes). Les informations patrimoniales permettant de situer et de caractériser les ponts doivent ensuite être collectées et structurées, sous forme de base de données, pouvant être adossée à des outils numériques (selon le principe d'un SIG) et/ou des logiciels métiers.

Le chapitre 3 du Fascicule 1 et l'annexe 6 du Fascicule 2 de l'ITSEOA fournissent une liste des données à rassembler dans ce qui constitue le « dossier d'ouvrage », pouvant être organisées selon les rubriques suivantes :

- Identification (voie portée, voie franchies, PR, coordonnées GPS, etc.) ;
- Caractéristiques générales (dimensions, travures, typologie, matériaux, etc.) ;
- Conception, Exécution (règlements, année de construction, mode constructif, constructeur, etc.) ;
- Vie de l'Ouvrage (état initial, PV d'inspection, entretien, travaux, suivis, instrumentation, etc.).

Ces données peuvent également être regroupées en s'appuyant sur le modèle de « Carnet de maintenance » proposé par le STRRES et l'IMGC ; les informations sont alors structurées sous forme de fiches (fiche Technique, Entretien, Actions).

1.1.2/ Attribution de l'Indicateur Socio-Economique ISE

Pour pouvoir par la suite élaborer des stratégies de maintenance du parc d'ouvrages d'art, il sera nécessaire que chaque ouvrage soit doté d'un « coefficient d'importance » visant à apprécier le rôle relatif de l'ouvrage à l'échelle du réseau. Ce coefficient, ou cet indicateur, traduit les enjeux identifiés par le gestionnaire sur un réseau particulier. Il est conçu pour refléter le niveau d'intérêt que présentent les ouvrages d'un point de vue stratégique, politique, économique, architectural, social ou encore culturel, afin d'en tenir compte dans la politique de maintenance. Il entrera en jeu dans la programmation de la maintenance pour définir les priorités d'intervention.

Cet indicateur est parfois désigné dans la littérature comme « indice stratégique » ou « indice socio-économique » (c'est cette dernière désignation qui a été retenue ici : ISE). Plusieurs guides proposent des méthodologies pratiques pour construire cet indicateur, notamment :

- » Gestion des ouvrages d'art, Guide méthodologique à l'usage des départements et autres collectivités locales : Annexe 4 (SETRA, mai 2006) ;
- » Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine : Chapitre 3.7 (SETRA, version provisoire 2011) ;
- » VSC, méthode d'aide à la gestion de patrimoines : Chapitre 7 (LCPC, 2006).

D'autres méthodes de hiérarchisation existent et peuvent être développées sur mesure, en fonction de la typologie du parc d'ouvrages géré.
Il est important pour un maître d'ouvrage de lister de façon exhaustive l'ensemble des critères qui rentrent en compte dans l'ISE et d'en définir la pondération. Chaque critère fera l'objet d'une notation, pour arriver à la note finale constituant ainsi l'ISE.

La figure ci-après, proposée par le guide VSC, donne un aperçu des différents critères qui peuvent entrer en jeu pour définir les règles de mise au point de tels indicateurs.

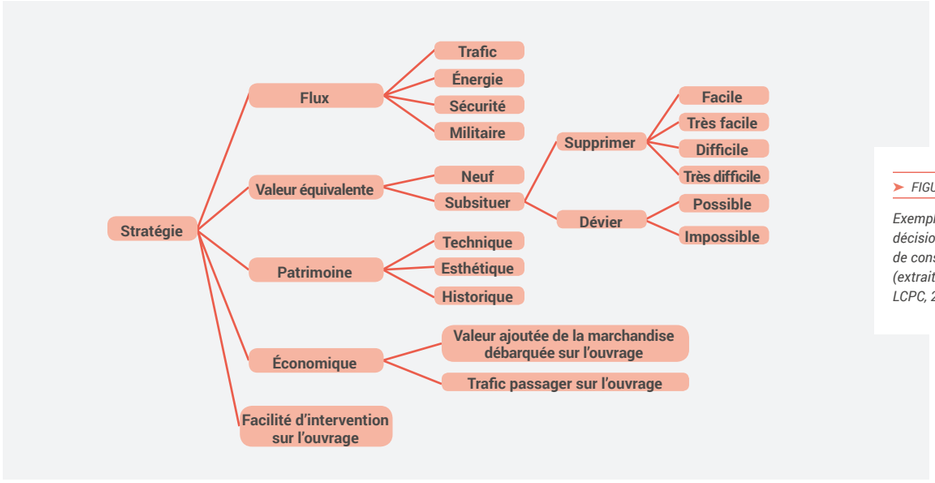


FIGURE 2

Exemple de critères décisionnels permettant de construire un ISE (extrait du Guide VSC, LCPC, 2006)

À l'issue de ce travail, le gestionnaire est ainsi en mesure d'affecter à chaque ouvrage un indice socio-économique (ISE).

Cette première étape du processus de gestion permet d'avoir une vue précise et synthétique des caractéristiques du parc d'ouvrages (types de tabliers, gammes de portées, natures des franchissements, pyramide des âges, distribution des ouvrages selon l'ISE, etc.). Une synthèse est généralement présentée sous forme de planches d'indicateurs et de graphiques facilitant la vision d'ensemble du patrimoine géré.

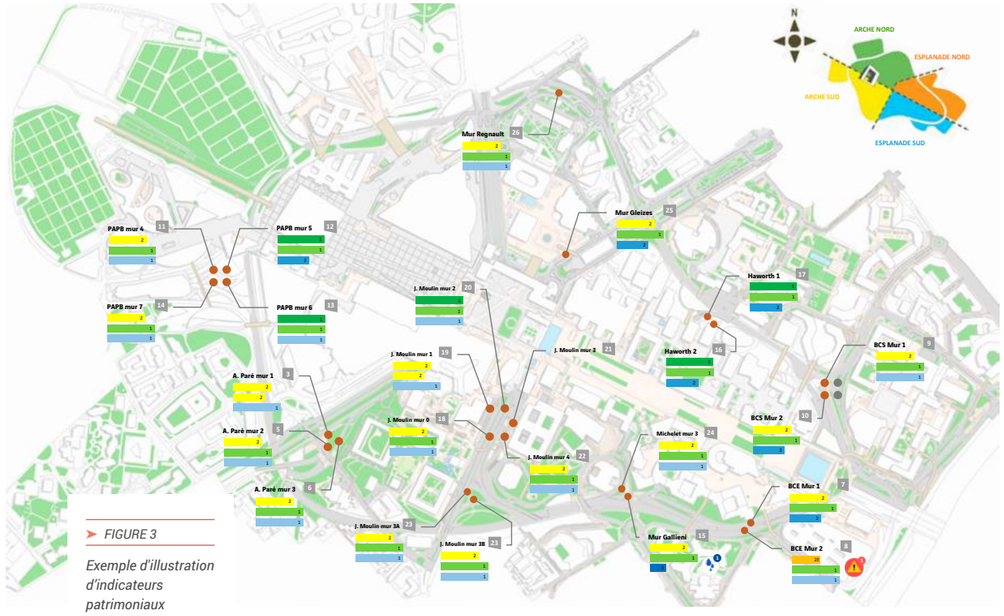


FIGURE 3

Exemple d'illustration d'indicateurs patrimoniaux (crédit : SIXENSE)

1.2 Processus de surveillance et indicateur d'état apparent (IEA)

1.2.1/ Organisation de la surveillance

La mise en place d'un processus de surveillance de l'état de santé des ouvrages est une étape fondamentale dans la gestion du patrimoine. Elle permet de suivre le vieillissement des ouvrages inventoriés, en répertoriant les désordres, afin d'alerter le gestionnaire en cas de découverte d'anomalie.

En France, c'est une démarche aujourd'hui largement partagée par bon nombre de maîtres d'ouvrages et gestionnaires d'infrastructures car le référentiel technique associé est mis en place depuis près de 40 ans et périodiquement enrichi.

Le texte de référence en vigueur pour les ouvrages du réseau routier national est l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA) de 2010 (circulaire du 16 février 2011 relative à la publication de la nouvelle instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, qui annule et remplace l'ITSEOA du 19 octobre 1979 modifiée le 26 décembre 1995).

Selon cette circulaire de référence, l'ITSEOA est composée de 4 fascicules (complétés par une vingtaine de guides techniques d'application) :

- **Fascicule 0 :** dispositions générales applicables à tous les ouvrages,
- **Fascicule 1** : dossier d'ouvrage,
- **Fascicule 2** : généralités sur la surveillance,
- **Fascicule 3** : auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde.

La « méthode de surveillance » s'organise dans le temps en déployant plusieurs **types d'actions.**

Chaque ouvrage doit faire l'objet d'une visite de référence désignée par Inspection Détaillée Initiale (IDI) ayant pour objectif d'établir un « point zéro » de l'état apparent de l'ouvrage. Lors de cette inspection, les désordres doivent être recensés et cartographiés, c'est-à-dire positionnés sur un fond de plan à l'échelle, de manière à disposer d'un support fiable qui permettra d'apprécier l'apparition ou l'évolution des désordres dans le temps (en étendue, en intensité) en regard de l'état de référence.

En complément, suivant l'organisation et la gestion du maître d'ouvrage, d'autres actions de surveillance périodique sont engagées comme des contrôles annuels, des visites d'évaluation (type IQOA ou autres), des inspections détaillées de l'ensemble ou de parties d'ouvrage, des inspections subaquatiques des parties immergées des appuis. Enfin, à l'issue d'événements particuliers ou imprévus pendant la vie de l'ouvrage, des Inspections Détaillées Exceptionnelles (IDE) peuvent être menées (accident ou autre catastrophe exceptionnelle : séisme, crues, …), de même qu'en fin de période de garantie (fin de garantie particulière ou contractuelle).

La **périodicité** de ces actions de surveillance est fixée par le gestionnaire, en accord avec sa politique de gestion. L'ITSEOA définit la périodicité des inspections comme suit : un contrôle annuel, une visite d'évaluation tous les 3 ans (ou un tiers du patrimoine concerné par an), une inspection détaillée de l'ouvrage ou d'une partie d'ouvrage tous les 3, 6 ou 9 ans en fonction de l'importance et de l'état du pont. Le gestionnaire a la possibilité de moduler la fréquence des visites, en prenant en compte les particularités des ouvrages comme leur vulnérabilité (ou leur robustesse), les conditions d'exploitation, ou encore leur environnement.

Chaque opération de surveillance permet ainsi d'apprécier l'état visuel apparent d'un ouvrage et de porter un jugement sur la gravité des anomalies détectées. L'ITSEOA propose la classification suivante, qui constitue un premier filtre pour décider des prochaines actions à engager :

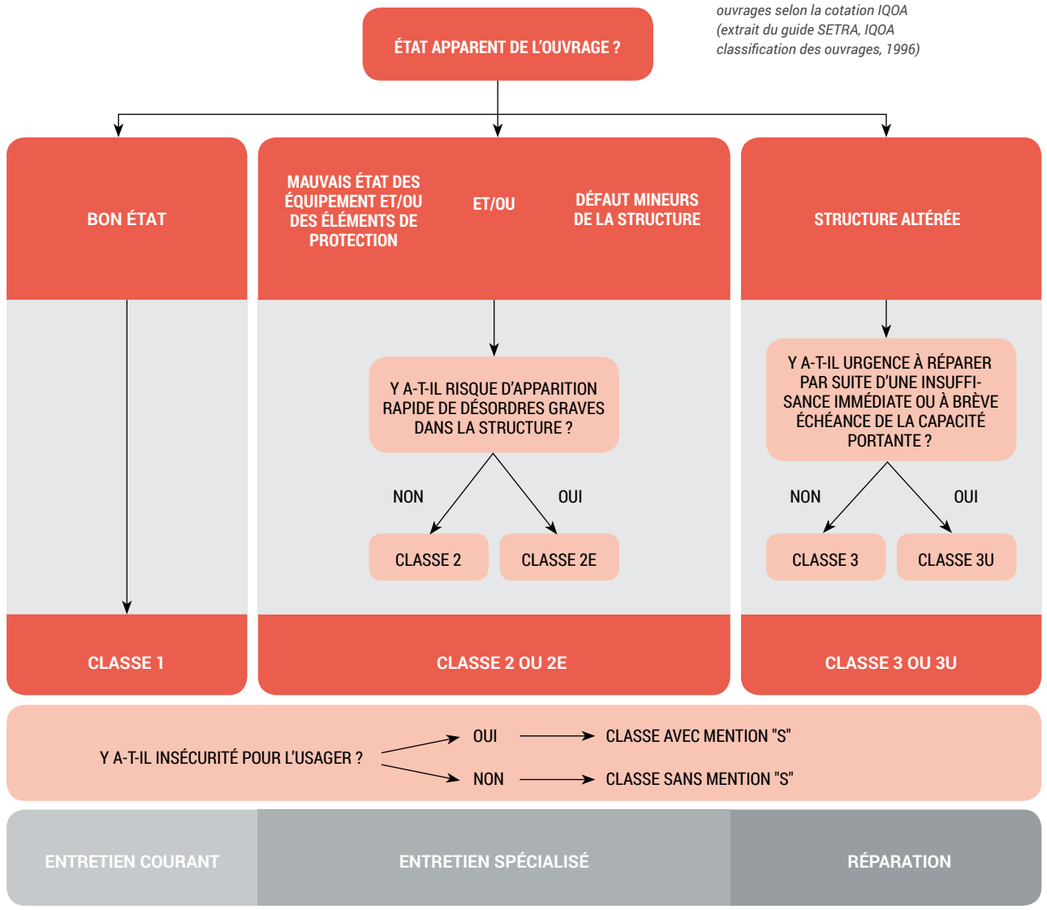
- État normal ou quasi-normal (pas de désordres ou présence de désordres mineurs auxquels l'entretien spécialisé peut remédier) ;
- État défectueux (présence de désordres majeurs structurels mettant en cause la sécurité ou la pérennité de l'ouvrage) ;
- État douteux (présence de désordres sans pouvoir apprécier leur gravité réelle ou présence d'indices permettant de soupçonner des désordres).

1.2.2/ Attribution de l'Indicateur d'Etat Apparent IEA

Pour synthétiser le résultat des campagnes d'inspections, le gestionnaire affecte à chaque ouvrage une « note d'état » qui permet de classer la population des ponts par catégories, selon un référentiel préétabli.
En France, le référentiel de cotation le plus répandu est l'IQOA (Image Qualité des Ouvrages d'Art) qui propose une classification de l'état sur 5 niveaux, avec les cotations 1, 2, 2E, 3 et 3U. En complément de l'une de ces classes d'état une mention spécifique S pour « Sécurité » vient compléter la notation, en cas de désordre susceptible de remettre en cause la sécurité des usagers, nécessitant de fait d'être traité de manière urgente.

➤ *FIGURE 4*

Logigramme de classification de l'état des ouvrages selon la cotation IQOA (extrait du guide SETRA, IQOA classification des ouvrages, 1996)



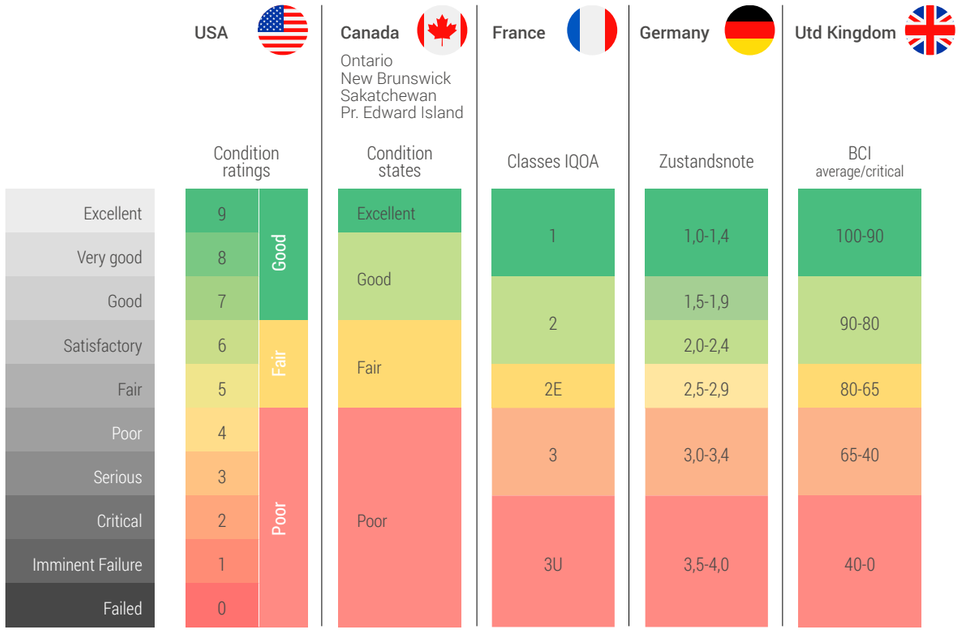
Les gestionnaires (hors Réseau Routier National non Concédé et concédé) ont la possibilité de recourir à ce référentiel standard ou de construire leur propre référentiel de cotation en s'appuyant sur d'autres méthodes (en général en affectant des notes élémentaires par parties d'ouvrages, qui se combinent ensuite pour coter l'ouvrage dans son ensemble).

Si la France emploie préférentiellement une échelle sur 5 niveaux, d'autres pays utilisent des échelles de cotations sur 4 niveaux comme le Canada ou 9 niveaux comme les Etats-Unis ; certains pays travaillent avec des échelles de score (de 1 à 4 pour l'Allemagne, ou de 0 à 100 pour l'Angleterre).

L'important est d'employer une échelle qui soit suffisamment discriminante pour permettre de hiérarchiser l'état des ouvrages et d'organiser la programmation pluriannuelle de la maintenance en s'appuyant sur cet indice d'état apparent (IEA).

➤ *FIGURE 5*

Proposition de correspondance entre les échelles de cotation de l'IEA adoptées par différents pays (crédit : SIXENSE)



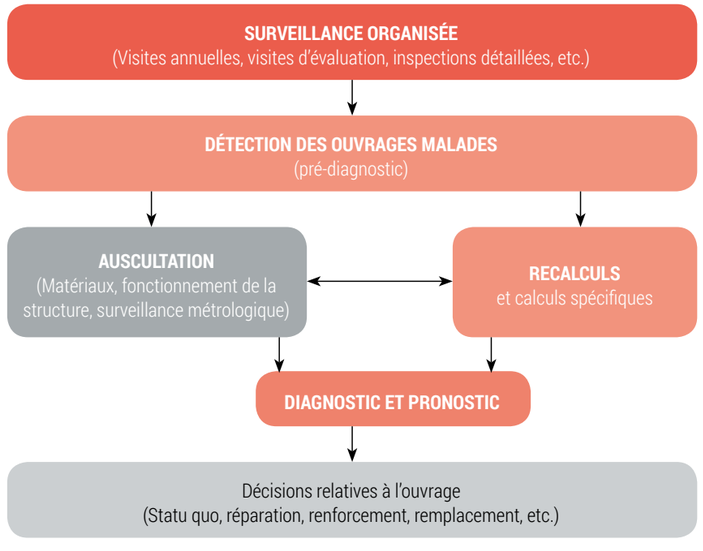
1.3 Processus de diagnostic et indicateur d'état vrai (IEV)

1.3.1/ Motivations du diagnostic

Le processus de surveillance périodique, qui repose sur des inspections visuelles, permet d'identifier un ouvrage ou une population d'ouvrages défectueux ou dans un état douteux. L'ouvrage est qualifié de douteux lorsque l'analyse effectuée à la suite d'une visite de surveillance ne permet pas de porter un jugement définitif. Soit parce que des désordres ont été constatés mais que la simple inspection visuelle ne permet pas d'apprécier leur étendue, leur gravité réelle ou potentielle (par exemple : ouvrages comportant des zones apparentes d'armatures corrodées, soulevant la question du risque potentiel de développement à l'échelle de l'ouvrage ; ouvrages comportant des symptômes de réaction de gonflement des bétons, dont l'origine demande à être établie et le potentiel d'évolution caractérisé). Soit parce que des désordres n'ont pas été mis en évidence, mais des indices qui permettent d'en soupçonner l'existence ont été détectés (par exemple : traces de circulations d'eau en about de dalle sur la zone de cachetage d'un pont dalle précontraint, pouvant faire craindre une corrosion des câbles de précontrainte).

Il s'agit alors d'approfondir l'analyse, au moyen d'un **diagnostic**, pour préciser l'état pathologique réel des ouvrages concernés, lever les doutes et les reclasser dans la catégorie des ouvrages en état normal (ou quasi-normal) ou dans celle des ouvrages en état défectueux (nécessitant la réalisation d'opérations de maintenance ou de réparation). Le diagnostic a donc pour objectifs de :

- Confirmer l'existence des désordres et en évaluer l'ampleur ;
- Déterminer les causes des désordres et juger du potentiel d'évolution ;
- Apprécier la gravité de la situation et juger du degré d'urgence à intervenir ;
- Guider les réflexions pour définir les méthodes de réparation ou de renforcement à engager.



➤ *FIGURE 6*

Position du diagnostic dans la gestion organisée (crédit : IFSTTAR)

Le processus de diagnostic met en jeu la réalisation de différents types d'investigations, que l'on peut regrouper en deux familles principales :

- **L'auscultation** : auscultation de la structure, en ayant recours aux investigations sur site (comme des mesures de déformations, mesures de forces, mesures locales de fonctionnement, essais de chargement ou essais dynamiques), et auscultation des matériaux (au moyen d'investigations in situ et/ou d'analyses de laboratoire à partir de prélèvements) ;
- Les études de **recalcul**, qui peuvent être réalisées avant, conjointement ou consécutivement à l'auscultation, et qui sont destinées à analyser le fonctionnement réel de l'ouvrage, comprendre les processus à l'origine des désordres structurels rencontrés et réévaluer la portance et le degré de sécurité réel de l'ouvrage.

Les méthodologies de diagnostic et méthodes d'auscultation, notamment la description des outils et techniques d'investigations, sont présentées de manière détaillée dans la Collection des Cahiers Interactifs de l'IFSTTAR auxquels nous renvoyons *(http://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/).*

1.3.2/ Attribution de l'indicateur d'Etat Vrai IEV

Les ouvrages ayant fait l'objet d'un tel processus de diagnostic pourront se voir attribuer un indice d'état vrai (IEV), qui permet ainsi d'isoler une population d'ouvrages pathologiques dans le patrimoine, pour lesquels des études complémentaires doivent être réalisées afin de définir si des actions spécifiques de surveillance, de maintenance ou de réparation doivent être programmées.

1.4 Processus d'analyse

1.4.1/ Identification et gestion des ouvrages à risques

Le maître d'ouvrage doit avoir à l'esprit que tous les ponts qu'il gère ne présentent pas le même niveau de fiabilité en termes de sécurité structurale. Certains ouvrages, par leur typologie, leur époque de conception, leurs matériaux constitutifs ou l'environnement auquel ils sont (ou ont été) soumis, peuvent présenter « naturellement » des faiblesses susceptibles de limiter leur durée de vie, voire de subir une défaillance soudaine.

Partant de cet état de fait, l'une des premières missions du gestionnaire, après l'inventaire valorisé, consiste à détecter les « ouvrages critiques » au sein de son parc afin de mettre en place un plan d'action spécifique de maîtrise des risques pour les ouvrages identifiés. Les principaux objectifs étant de :

- Garantir la sécurité des usagers, en évitant un effondrement brusque d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage particulièrement vulnérable ;
- Garantir l'exploitation des ouvrages, pour empêcher une limitation de tonnage imprévue, ou une fermeture en urgence à la circulation.

Ce plan d'action peut consister à mettre en place des actions de surveillance particulières pour anticiper ou détecter l'apparition d'anomalies de comportement devant alerter le gestionnaire et/ou engager des opérations de travaux préventives (entretien spécialisé, réparation, renforcement) pour réduire ou supprimer les risques, ou tout du moins en limiter les conséquences.

Les méthodes d'analyse permettant l'identification et la hiérarchisation des risques, reposant notamment sur le retour d'expérience de défaillances passées, sont développées dans le **livret 2** de la notice.

> Le résultat de l'analyse doit permettre de construire, pour chaque ouvrage, des indicateurs de vulnérabilité qui entreront en jeu dans la méthode de gestion, au même titre que l'indicateur socio-économique (ISE) ou l'indicateur d'état (IEA, IEV).

1.4.2/ Méthodes d'établissement de pronostic sur la durabilité

Les méthodes qui permettent d'établir un pronostic sur la durabilité des structures et des équipements de ponts sont respectivement décrites dans les **livrets 3 et 4** de la notice. La programmation des actions de maintenance sur les différents ouvrages découlera de cette évaluation.

1.5 Processus de décision et de programmation des actions

1.5.1/ Deux niveaux d'organisation

Le référentiel NF ISO 55000 (2014) fournit le cadre général pour définir le schéma organisationnel d'un système de gestion d'actifs. Pour la gestion d'un parc de ponts, le système est généralement organisé à 2 niveaux :

- Un niveau **global**, à l'échelle du parc (on parle aussi de niveau « Réseau »), qui repose sur l'établissement *d'une politique de gestion* des ouvrages et d'un plan d'investissement à moyen-long terme (20, 30 ou 40 ans) pour assurer la surveillance, l'entretien et la maintenance du parc ;
- Un niveau **local**, à l'échelle de l'ouvrage (on parle aussi de niveau « Projet »), qui s'appuie sur *une méthode de gestion,* permettant de bâtir la programmation de maintenance pluriannuelle, en sélectionnant - après priorisation - les ouvrages à surveiller spécifiquement, à entretenir et à maintenir.

1.5.2/ Politique de gestion et plan d'investissement à long terme

Le maître d'ouvrage ou le gestionnaire d'infrastructures doivent établir une « politique de gestion des ponts » qui définit les objectifs à atteindre en matière de surveillance et d'entretien du parc. La politique est bâtie en tenant compte du cadre légal et réglementaire de la gestion des ouvrages d'art et des ressources techniques, financières et humaines disponibles dans l'organisation.

La réflexion sur le choix des objectifs est stratégique car elle joue un rôle essentiel dans le pilotage des décisions (en termes d'affectation des budgets, ou d'échéancier de réalisation) et va guider les arbitrages.

> La formalisation de cette politique de gestion passe par la rédaction d'une « doctrine de gestion » qui doit in fine être validée et signée par la plus haute autorité de la maitrise d'ouvrage, qui alloue annuellement les budgets en matière de surveillance et d'entretien des ouvrages.

Pour mener cette réflexion de manière efficace, il est nécessaire de disposer d'une vision claire de la typologie et de l'état du patrimoine géré. Autrement dit, les actions qui relèvent du Niveau 1 sur le logigramme de la Figure 1 doivent a minima avoir été engagées.

La définition des objectifs à atteindre (à court, moyen et long terme) peut se formuler sous forme de questions : Faut-il privilégier la remise en état d'une certaine catégorie d'ouvrages à court terme ? Faut-il fixer un objectif en matière d'amélioration de l'indicateur d'état général du parc dans un délai donné ? Faut-il plutôt viser le maintien d'une proportion limite d'ouvrages dans une classe d'état donnée ? ou autre ?

À titre d'exemple, nous faisons figurer ci-dessous les objectifs d'état du parc ouvrages d'art retenus par l'Etat Français sur le Réseau Routier National non Concédé.

FIGURE 7

Valeurs cibles de proportions d'ouvrages entre classes d'état IQOA, exprimées en surface de tablier (crédit : ORCESI, IABSE Conference, 2015)

INDICE	OBJECTIF	VALEUR CIBLE
LP1=1+2	Entretien courant pour éviter les travaux de réparation	≥ 55 %
LP2=2E	Entretien spécialisé pour éviter les travaux de réparation	≤ 30 %
LP3=3+3U	Travaux de réparation pour éviter la ruine	≤ 15 %
LP4=3U	Travaux de renforcement urgents pour éviter les perturbations de trafic et assurer la sécurité des usagers	≤ 1 %

Évidemment, le choix des objectifs à atteindre est directement lié à l'état initial du parc et à la capacité du maître d'ouvrage à pouvoir investir pour maintenir l'état des ouvrages. Cela n'aurait pas de sens que de fixer à court terme un objectif de remise en état de l'ensemble du parc si les moyens humains et financiers ne le permettent pas.

Les objectifs de la politique de gestion doivent donc être évalués et fixés en construisant parallèlement un plan d'investissement à long terme, en s'appuyant sur un outil de programmation financière. Pour que les projections financières soient réalistes, il est nécessaire d'intégrer dans la simulation le fait que les ouvrages vieillissent et se dégradent progressivement dans le temps. Des méthodes de simulation ont été développées à cet effet depuis les années 1990 par le RST de l'Etat (cf. BOA n°33, Impact d'une politique de gestion sur l'état d'un patrimoine d'ouvrages en béton armé, 1999). Il existe donc des outils informatiques qui permettent de simuler l'évolution de l'état du patrimoine, pour certaines typologies de ponts, et d'évaluer les incidences financières à moyen terme engendrées par le choix d'une politique budgétaire affectée à la maintenance.

Ce type de simulation financière a pour objectif d'aider à apprécier dans le temps les besoins en investissements et de programmer sur le long terme une politique de gestion permettant de maintenir, voire d'améliorer, l'état général du parc. Ceci peut être utile pour valider la pertinence d'une politique de gestion, en montrant la répercussion des décisions d'investissement sur l'état du parc à plus ou moins long terme (ou en montrant le surcoût que peut engendrer un report des actions de maintenance dans le temps).

Cette approche globale de l'impact des investissements à l'échelle du parc ne se substitue pas à l'étape de programmation pluri-annuelle. C'est une démarche parallèle, qui aide à construire les programmes de surveillance et de maintenance, en s'appuyant sur une méthode de gestion fiable.

FIGURE 8

Exemple d'interface d'un outil de simulation financière pour la maintenance d'un parc OA (crédit : SIXENSE, logiciel BRIDGGET)



1.5.3/ Méthode de gestion et programmation pluriannuelle

La méthode de gestion doit permettre de traduire en actions la stratégie de surveillance et de maintenance définie dans la politique de gestion. La méthode de gestion compile l'ensemble des données patrimoniales pour définir un (ou plusieurs) scenario(s) de programmation pluriannuelle des inspections, opérations d'entretien, travaux de réparation ou de consolidation des ouvrages.

Le niveau de sophistication des différentes méthodes de gestion d'un parc d'ouvrages est très variable. On peut schématiquement classer les méthodes selon 4 niveaux, en fonction de leur degré de complexité :

- **Un niveau basique** qui consiste à prioriser les opérations de maintenance uniquement à partir de l'indicateur d'état des ouvrages (IEA ou IEV). Autrement dit : les ouvrages dont le niveau de dégradation est le plus élevé sont traités en priorité, quel que soit le type d'ouvrage.
- **Un niveau intermédiaire** qui consiste – en complément du niveau basique – à hiérarchiser et à prioriser les actions en prenant en compte l'état des ouvrages et leur importance relative dans le parc. L'application de la méthode de gestion est alors menée en croisant deux indicateurs : l'indicateur d'état (en général l'IEA) et l'indicateur socio-économique (ISE), qui traduit l'importance stratégique de l'ouvrage. La « Méthode Départementale » ou la méthode « Visites Simplifiées Comparées, VSC » développées par le SETRA et le LCPC relèvent de ce niveau.
- **Un niveau avancé** qui – en complément du niveau intermédiaire – fait entrer en jeu des paramètres comme la vitesse d'évolution des endommagements, ou encore la notion de valeur du patrimoine, ou de robustesse des ouvrages. C'est le cas par exemple de la méthode « Stratégie de maintenance par valorisation d'un patrimoine » mise au point par le SETRA.
- **Un niveau expert** qui – en complément du niveau avancé – intègre des analyses 3D (risques), 4D (coûts), 5D (temps) ou 6D (sûreté/fiabilité), en introduisant des analyses et des stratégies financières d'investissement (aléas coûts/bénéfices), des principes de sûreté à l'échelle de du patrimoine concerné, en fonction de sa typicité, et des analyses de risques temporelles en regard des scénarios d'investissements.

Les bénéfices attendus, à la suite de la mise en place de tels systèmes de gestion, augmentent naturellement en fonction du degré de complexité des méthodes. Si les méthodes basiques permettent essentiellement de satisfaire les exigences de sécurité, en intervenant en priorité sur les ouvrages dont l'état est le plus préoccupant, les méthodes les plus avancées offrent des possibilités de gestion beaucoup plus riches, comme la capacité de simuler plusieurs stratégies de maintenance, afin de comparer les avantages et inconvénients de différents scenarii d'intervention.

C'est la raison pour laquelle les gestionnaires tendent régulièrement à faire évoluer la méthode de gestion qu'ils utilisent, en recherchant des niveaux de sophistication supérieurs, afin de promouvoir la maintenance préventive et optimiser l'affectation des ressources budgétaires, de plus en plus contraintes.

Les principes des méthodes de gestion des ouvrages d'art consistant à valoriser le patrimoine sur les principes de « gestion d'actif » constituent des évolutions nécessaires qui peuvent permettre également à terme, à un maître d'ouvrage, entre autres approches, d'envisager de faire assurer son patrimoine par une compagnie d'assurance.

Chapitre 2.

LA DURÉE DE VIE D'UN OUVRAGE

2.1 Une notion à distinguer entre les équipements et la structure

2.1.1/ Equipements d'ouvrage et structure

Les **équipements** d'ouvrages d'art (ou superstructures) sont les éléments constitutifs n'ayant, dans la plupart des cas, aucune fonction intrinsèque directe sur la solidité et le comportement mécanique de la structure[1]. Ils concourent à protéger la structure, à assurer le confort des usagers et la sécurité des personnes, ou à intégrer l'ouvrage dans son environnement :

- Rôle de protection contre les infiltrations et le vieillissement prématuré des matériaux (chapes d'étanchéité, revêtements de protection, joints de chaussée, corniches, perrés) ;
- Rôle fonctionnel (appareils d'appui, revêtement de chaussée, joints de chaussée, dalles de transition, trottoirs, dispositif d'assainissement, écrans anti-bruit, dispositifs parasismiques) ;
- Rôle de sécurité (garde-corps, parapets, dispositifs de retenue des véhicules) ;
- Rôle esthétique et architectural (corniches, perrés, garde-corps ou autre).

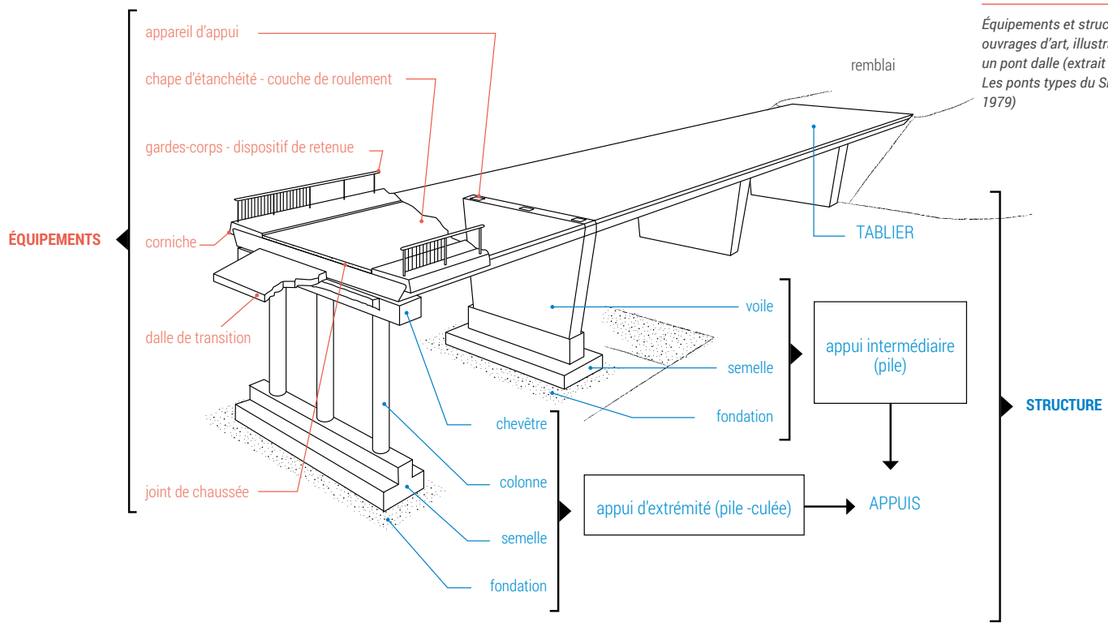
Les superstructures varient d'un ouvrage à l'autre, en fonction des contraintes d'intégration et de la sensibilité du concepteur.

La **structure** est quant à elle composée d'éléments qui constituent l'ossature d'un ouvrage et assurent sa stabilité d'ensemble (tablier et appuis).
Le schéma suivant illustre la distinction entre les équipements et la structure :

1 À l'exception notable des appareils d'appui qui – pour des questions de commodité – seront traités dans cette notice dans les chapitres se référant aux « Equipements » des ouvrages d'art plutôt qu'à la « Structure ».

FIGURE 9

Équipements et structure des ouvrages d'art, illustration sur un pont dalle (extrait du guide Les ponts types du SETRA, 1979)



2.1.2/ Produits « remplaçables » et « non remplaçables »

La notion de « durée de vie » doit s'entendre de différentes manières en fonction de la nature de l'objet dont il est question.

Les textes européens, en particulier la Directive sur les Produits de Construction relative à la durabilité des produits (Guidance Paper F, 89/106/EEC), introduisent le principe de produit « remplaçable », les équipements des ponts ici, et de composant « non remplaçable », à savoir les parties constitutives de la structure des ouvrages.

La durée de vie d'un **produit** remplaçable est définie comme la « période durant laquelle les performances du produit seront maintenues à un niveau assurant la conformité aux exigences essentielles d'un ouvrage correctement conçu et exécuté (c'est-à-dire que les caractéristiques essentielles du produit sont au moins égales à des valeurs minimales admissibles sans nécessiter de frais importants de réparation ou de remplacement). La durée de vie d'un produit dépend de sa durabilité inhérente et d'un entretien normal ».

Le document explicite la distinction entre la durée de vie présumée et la durée de vie réelle : *« une distinction claire doit être effectuée entre la durée de vie présumée raisonnable du point de vue économique d'un produit, qui est à la base de l'évaluation de la durabilité dans les spécifications techniques, et la durée de vie réelle d'un produit dans un ouvrage. Cette dernière dépend d'un certain nombre de facteurs que le fabricant ne maîtrise pas, comme la conception, le lieu d'utilisation (exposition), l'installation, l'utilisation et l'entretien. La durée de vie présumée ne peut donc pas être interprétée comme une garantie donnée par le fabricant ».*

Autrement dit, la durée de vie d'un équipement s'apprécie en fonction des caractéristiques et performances du produit dans un contexte donné (le terme contexte étant pris au sens large, relevant à la fois de la conception, installation, utilisation, exposition et entretien dudit produit).

Le **livret 4** relatif à la durabilité des équipements reprend ces notions pour proposer des grilles de durée de vie des différents équipements de ponts.

La notion de durée de vie de la **structure** est détaillée dans le chapitre suivant auquel nous renvoyons.

Pour une structure dont la durée de vie est « longue », il est entendu que la durée de vie des produits qui l'équipent ne saurait égaler celle de la structure et qu'une ou plusieurs opérations de remplacement des équipements seront donc nécessaires. Nous rappelons à ce sujet le lien figurant dans les textes européens entre la durée de vie minimale présumée des produits et celle des ouvrages, qu'il s'agit de respecter pour des raisons économiques évidentes :

➤ *TABLEAU 1*

Exigences de durée de vie présumée minimale des produits (EOTA Guidance Document 002, 1999)

DURÉE DE VIE PRÉSUMÉE DE L'OUVRAGE		DURÉE DE VIE PRÉSUMÉE DU PRODUIT (EN ANNÉES)		
Catégorie	*Durée (en années)*	*Réparable ou facilement remplaçable*	*Moins facilement réparable ou remplaçable*	*Non réparable ou non remplaçable*
Courte	10	10	10	10
Moyenne	25	10	25	25
Normale	50	10	25	50
Longue	100	10	25	100

2.2 Durée de vie de la structure

2.2.1/ Conception et Durée d'utilisation de projet

En phase de conception, le choix de la **durée d'utilisation du projet** relève du maître d'ouvrage.

Cette durée est définie dans les Eurocodes (NF EN 1990, 2003, Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures) comme la : « durée pendant laquelle une structure ou une de ses parties est censée pouvoir être utilisée comme prévu en faisant l'objet de la maintenance escomptée, mais sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des réparations majeures » (art. 1.5.2.8).

La durée de vie conventionnelle retenue pour la conception des ouvrages neufs est de 100 ans. Cette « durée d'utilisation de projet » est prescrite dans l'Annexe Nationale à la NF EN 1990 (2003). Nous reproduisons ci-dessous le tableau 2.1 (NF) qui fournit les valeurs de la durée d'utilisation de projet :

➤ *TABLEAU 2*

D'après Tableau 2.1 (NF) durée indicative d'utilisation de projet (NF EN 1990/NA, Annexe Nationale à la NF EN 1990, 2003)

CATÉGORIE DE DURÉE D'UTILISATION DE PROJET	DURÉE INDICATIVE D'UTILISATION DE PROJET : ANNÉES	EXEMPLES
1	10	Structures provisoires
2	25	Éléments structuraux remplaçables
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Bâtiments et autres structures courantes
5	100	Bâtiments monumentaux, ponts et autres ouvrage de génie civil

Dans le même référentiel, l'article 2.1 « Exigences de base » stipule notamment :

(1) Une structure doit être conçue et réalisée de sorte que, pendant sa durée de vie escomptée, avec des niveaux de fiabilité appropriés et de façon économique :
- elle résiste à toutes les actions et influences susceptibles d'intervenir pendant son exécution et son utilisation ; et
- elle reste adaptée à l'usage pour lequel elle a été conçue.

(2) Une structure doit être conçue et dimensionnée pour avoir :
- une résistance structurale ;
- une aptitude au service ; et
- une durabilité.

Une définition de la **durabilité** est proposée dans le guide méthodologique « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art » (CEREMA, 2015) : « aptitude d'un bien à accomplir des exigences de performance dans des conditions données d'usage et de maintenance sur une durée de projet ou de service conventionnelle ou jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint ».

En tout état de cause, on retiendra que la durée de vie visée à la conception (ou durée d'utilisation de projet) ne peut être atteinte qu'en assurant périodiquement un entretien et une maintenance adaptés.

2.2.2/ Exploitation et Durée de vie résiduelle

Pour des ouvrages existants, dont l'immense majorité n'a pas été conçue d'après le référentiel moderne des Eurocodes, la définition de la durée de vie mérite d'être clarifiée.

Elle ne saurait s'entendre exclusivement comme la durée qui nous sépare de « la fin de vie » de l'ouvrage et donc sa destruction et son remplacement par un ouvrage neuf.

Une définition est proposée dans l'article « Age et durée de vie des ponts du réseau routier national non concédé »

(SETRA, BOA n°58, 2008), à savoir : « on peut comprendre la durée de vie comme la période à l'issue de laquelle l'ouvrage demandera des travaux de réhabilitation importants, sinon son remplacement ». Ce qui rejoint la définition de la « durée d'utilisation de projet définie plus haut ».

Pour compléter cette approche, la définition suivante est ici proposée :

La **durée de vie résiduelle** est la période durant laquelle une structure existante est apte à accomplir des exigences de *performances* acceptables, dans un contexte donné, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des réparations majeures.

La notion de *performance* s'entend à la fois du point de vue structural, selon la définition des états-limites de service (ELS) et ultimes (ELU), et du point de vue de la durabilité des matériaux.

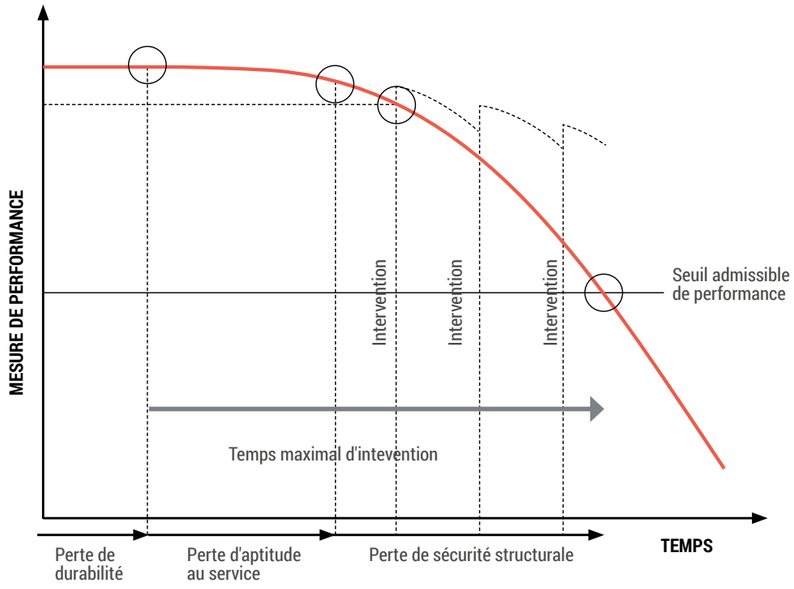
La notion de *contexte* est à prendre au sens large et regroupe les conditions d'usage (ou d'exploitation), d'environnement (ou d'exposition) et d'entretien de l'ouvrage.

Compte tenu de la définition retenue, il y a lieu de considérer que la durée de vie résiduelle de l'ouvrage peut « être prolongée », moyennant la réalisation de travaux visant à restituer la performance de l'ouvrage : soit pour maintenir la capacité résistante de l'ouvrage, soit pour freiner (ou stopper) les phénomènes de dégradation des matériaux liés au vieillissement ou à l'apparition de pathologies spécifiques. La figure ci-après illustre ce principe.

Du point de vue structural, la question qui se pose au gestionnaire est donc d'estimer la cinétique de consommation dans le temps des marges de sécurité (en termes de résistance) pour définir s'il peut allonger la période d'exploitation de l'ouvrage sans intervenir, ou s'il faut procéder à une remise à niveau, par une opération de réparation ou de renforcement. Ces considérations font l'objet du **livret 3**.

➤ *FIGURE 10*

Profils d'évolution de la performance au cours du temps (extrait du rapport de synthèse du LCPC, OA48, 2004)



2.2.3/ Durée de vie estimée des familles d'ouvrages

Si la durée de vie reste un paramètre à apprécier au cas par cas, il n'en demeure pas moins que les ouvrages existants ne bénéficient pas a priori de la même espérance de vie. L'attention du gestionnaire est donc attirée sur le fait que les différentes familles d'ouvrages qui constituent son parc peuvent présenter de fortes disparités concernant la durée de vie escomptée.

Pour illustrer cet état de fait, le tableau ci-dessous donne la durée de vie estimée de plusieurs familles de ponts à partir d'une étude statistique faite par le SETRA sur la démolition et la reconstruction des ponts en France, tirée de l'annexe 7 du guide « Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine ».

➤ *TABLEAU 3*

Estimation de la durée de vie statistique de plusieurs familles de ponts compte tenu de leur durée de vie théorique et de l'âge moyen de ponts démolis du fait de leur vétusté (SETRA, 2011)

FAMILLE	FAMILLES D'OUVRAGES	ÂGE MOYEN DES PONTS DÉMOLIS	DURÉE DE VIE THÉORIQUE	DURÉE DE VIE STATISTIQUE
F1	Béton armé	51 ans	100 ans	80 ans
F2	Buses béton		70 ans	70 ans
F3	Buses métalliques		70 ans	35/45 ans
F4	Béton précontraint hors caissons	31 ans	100 ans	70 ans
F5	Caissons en béton précontraint	31 ans	100 ans	70 ans
F6	Maçonnerie	86 ans		250 ans
F7	Métal	82 ans	100 ans	70 ans
F8	Mixte acier-béton		100 ans	90 ans
F9	Ouvrages divers		100 ans	70 ans

2.3 Facteurs influençant la durée de vie de la structure

La performance d'une structure, et donc sa durée de vie résiduelle, est affectée par un ensemble de paramètres que l'on peut regrouper schématiquement en 3 familles :

1. Le vieillissement des matériaux constitutifs de la **structure** (béton, armatures passives et actives) ou l'apparition de pathologies (comme par exemple la corrosion des armatures, ou les réactions de gonflement des bétons) ;
2. La dégradation des **équipements** qui assurent une fonction protectrice de la structure (comme par exemple les chapes d'étanchéité ou les joints de chaussée) ;
3. L'agressivité du **contexte**, qui regroupe les notions de :
   - conditions d'usage (importance du trafic, passage de convois exceptionnels, conditions d'exploitation hivernales, survenance d'accidents, etc.) ;
   - conditions d'environnement (climat, exposition aux fondants, aux phénomènes de gel/dégel, etc.),
   - conditions d'entretien des ouvrages, qui dépendent du budget que le gestionnaire y consacre (puisque le volume des budgets alloués conditionne la nature et la fréquence des actions d'entretien courant engagées sur le parc).

Ces 3 familles sont en interaction et influent les unes sur les autres pour préserver ou, au contraire, dégrader la durée de vie de l'ouvrage.

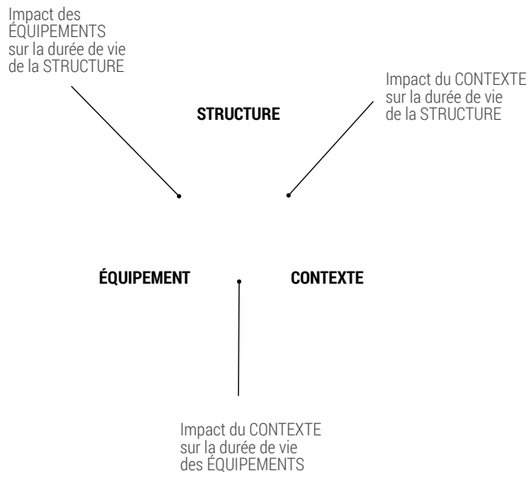
Un environnement agressif peut impacter à la fois la durabilité des équipements et des matériaux de la structure. La défaillance d'équipements est susceptible de provoquer l'apparition de désordres sur la structure (cf. illustrations au chapitre 3). Ou encore l'endommagement de la structure peut être retardé par la mise en place de programmes d'entretien ou le remplacement d'équipements vétustes.

Autrement dit, pour prolonger la durée de vie d'un ouvrage, le gestionnaire a la possibilité d'intervenir soit sur les équipements, soit sur la structure elle-même, soit sur le contexte, s'il en a la possibilité (par exemple, en limitant le tonnage sur le pont, si le niveau de service peut être dégradé sur l'itinéraire considéré).

On gardera en mémoire que le paramètre le plus efficace pour maintenir les ouvrages en état, et sur lequel le gestionnaire peut directement agir, consiste à assurer un entretien périodique efficace, auquel il est primordial de consacrer des budgets adaptés.

➤ *FIGURE 11*

Illustration de l'interaction entre les 3 familles de paramètres relatifs à la Structure, aux Equipements et au Contexte



À ces 3 familles principales viennent naturellement s'ajouter d'autres paramètres qui influent sur la durée de vie, liés à la *conception de l'ouvrage*, et en particulier aux dispositions retenues pour favoriser la durabilité, à la *qualité d'exécution de la structure* (le soin apporté lors la construction) et à la *qualité intrinsèque des équipements*. Ces points sont rappelés dans le chapitre 4.

Chapitre 3.

LES MÉCANISMES DE DÉGRADATION

3.1 Dégradation de la structure

Les retours d'expérience acquis sur le patrimoine de génie civil en béton armé ou précontraint révèlent que ce matériau, réputé stable, peut néanmoins évoluer dans le temps. Les principaux facteurs influençant son vieillissement seront liés notamment à l'âge de la construction, au mode constructif, à la qualité de réalisation, à la composition du béton et à sa mise en œuvre initiale, à ses conditions de service (fatigue), d'utilisation (sels de déverglaçage) et d'entretien (traitements préventifs ou curatifs de la corrosion, par exemple), le tout sous l'influence forte de l'environnement : rigueur du climat, influences extérieures (ambiance marine, pollution industrielle, etc.).

Les ouvrages précontraints seront en plus impactés par les effets différés (relaxation de l'acier, fluage et retrait du béton) ainsi que par les pathologies affectant les câbles de précontrainte[1].

3.1.1/ Dégradations de la matrice cimentaire - Causes principales

Outre les problèmes de conception et de mise en œuvre, la majeure partie des dégradations pathologiques des bétons se feront principalement sous l'influence des éléments extérieurs, qui agiront :

- Par le biais du CO^2 (qui génère de la carbonatation) ;
- Par le biais de l'eau sous toutes ses formes : liquide, vapeur, glace ;
- Par des agents agressifs (ions chlorures et sulfates principalement).

Ces éléments réagiront chimiquement avec les constituants internes (ciment, granulats) et pourront engendrer différentes réactions délétères.

D'autres manifestations pathologiques seront :

» La conséquence de phénomènes structuraux : géométrie des formes, répartition des contraintes, reports de charges, fatigue des matériaux, surcharges, etc. ;
» Les conséquences de températures excessives des composants du béton lors d'opérations de bétonnage par temps chaud ou par étuvage ;
» Les conséquences de l'exothermie du ciment après bétonnage des pièces massives (réactions de gonflement interne du béton).

1 Voir en particulier la Note d'information Ouvrages d'art n°03 du Cerema « Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure » de novembre 2018

Sans prétendre à l'exhaustivité, le tableau ci-dessous illustre les principales pathologies dont peuvent souffrir les ouvrages en béton :

TABLEAU 4

Liste des principales pathologies de dégradation du béton

CAUSES OU FACTEURS INFLUENTS	MANIFESTATION, DÉSORDRES TYPES	COMMENTAIRE	FRÉQUENCE OBSERVÉE
Impact, choc de véhicule hors gabarit	Epaufrure, perte de section de béton, voire sectionnement d'armatures	Gravité à évaluer en fonction du positionnement des désordres sur l'ouvrage	Assez fréquent
Surcharge imprévue, passage de convoi exeptionnel	Déformations, fissurations d'origine mécanique	Evaluation délicate en fonction des cas de figure	Assez fréquent
Mouvement ou tassement d'appui	Déformations, fissurations d'origine mécanique	A relier à des phénomènes de surcharge, ou de défauts d'appui (perte de portance d'un sol)	Peu fréquent (fonction du contexte géotechnique et qualité des fondations)
Fluage gêné	Fissuration et déformation pièces élancées et comprimées	Peut se cumuler au retrait	Peu fréquent (effet du fluage sur les structures phasées avant 1975)
Retrait gêné	Fissuration en général perpendiculaire à la surface, plus ou moins profonde selon type de retrait (endogène, dessication, thermique...)	Nécessité d'un diagnostic laboratoire pour qualifier le type de retrait	Fréquent (retrait de dessication et fissuration récurrente sur reprises de bétonnage)
Réaction alcali-granulats (RAG)	Fissuration de surface en faïençage, avec traces humides voire efflorescences et coulées blanchâtres. Parfois cratères de surface ("pop-out"). Gonflement possible de la structure	Nécessité d'un diagnostic laboratoire de confirmation	Rare, plutôt en contextes humide
Réaction sulfatique interne (RSI)	Fissuration de surface, en général en faïençage, avec traces humides. Gonflement possible de la structure	Affecte pièces massives (> 0,80 m) Nécessité d'un diagnostic laboratoire	Peu fréquent
Réaction sulfatique externe (RSE)	Fissuration de surface, en général en faïençage, avec traces humides. Gonflement possible de la structure	Nécessité d'un diagnostic laboratoire	Peu fréquent
Lessivage	Erosion superficielle avec perte de matière - Concrétions en sous-face de pièces	Surfaces exposées aux projections / infiltrations d'eau	Assez fréquent
Cycles gel/dégel	Ecaillage superficiel, éclatements	Surfaces exposées aux intempéries, plus souvent horizontales	Fréquent en régions froides ou d'altitude
Erosion, usure	Perte de matière, arrachements superficiels	Lié au trafic	Fréquent
Incendie	Suies en surface, éclatements du béton, teinte rosée des granulats	Peut affaiblir l'ouvrage (perte Rc et caractéristiques élastiques aciers)	Rare

La consultation des guides IQOA pour les typologies des différentes familles de désordres (notamment les typologies de fissuration des différents types de tabliers de ponts) apportera une illustration utile de ces phénomènes (Principes d'évaluation pour la classification des ponts du réseau routier national non concédé selon la méthode IQOA (Image de la qualité des ouvrages d'art), CEREMA).

Nous apportons ci-après quelques précisions sur certaines pathologies.

3.1.2/ Dégradations de la matrice cimentaire – Les réactions de gonflement internes (RGI) du béton

Ce groupe de pathologies comprend 2 grandes familles :

a. Les réactions sulfatiques : les gonflements se manifestent suite à la cristallisation interne au béton de sels complexes (ettringite et thaumasite principalement) sous l'effet d'une contamination par des sulfates externes (on parle alors de RSE), soit internes, propres au béton initial (RSI).

➤ *FIGURE 12*

faïençage d'une pile de pont symptomatique d'une réaction sulfatique interne (RSI) par ettringite différée (DEF)



b. Les réactions alcali-granulats (RAG) : les gonflements sont la conséquence de la formation de produits géliformes (on parle de gels d'alcali-réaction), issus de la réaction chimique provoquée par des mouvements d'eau entre éléments alcalins de la pâte de ciment (Na et K essentiellement) et la silice libre de certains granulats (granulats dits réactifs, type silex, opale, certains quartz etc.), en présence de chaux.



➤ *FIGURE 13*

faïençage d'une pile de pont symptomatique d'une réaction alcali-granulats (RAG)

3.1.3/ Dégradations de la matrice cimentaire – Les phénomènes de gel/dégel

Les effets du gel sur les bétons sont communs à tous les matériaux, à savoir un écaillage superficiel du matériau sous l'effet de la transformation de l'eau imbibant l'espace poreux en glace, générant une augmentation de volume de l'ordre de 9 %.

➤ *FIGURE 14*

écaillage d'un béton sous l'effet d'actions de gel / dégel



Finalement, les conséquences de ces pathologies – identifiables au travers de campagnes de diagnostics – seront à la fois esthétiques mais surtout fonctionnelles, pouvant impacter les caractéristiques du béton et par conséquent la tenue structurelle d'un ouvrage

3.1.4/ Dégradations des armatures – Causes principales

La corrosion des armatures représente la principale pathologie des ouvrages en béton armé et précontraints. Ses manifestations peuvent prendre la forme d'éclatements (ou épaufrures) de la surface de la structure sous l'effet du gonflement des aciers sous-jacents. Ces derniers sont alors visibles, et parfois associés à des coulures de rouille. A l'extrême, les armatures pourront être sectionnées par la corrosion, entraînant un affaiblissement des structures. Des stades moins avancés de gonflement du parement se traduiront par des fissures ou des décollements d'écailles superficielles du parement.

À savoir que la corrosion des câbles de précontrainte est souvent difficile à détecter, et nécessite le recours à des auscultations complexes. Cette corrosion a pour origine des armatures insuffisamment protégées ou attaquées du fait de défauts d'injection du coulis de ciment, de pénétration d'eau éventuellement chargée en chlorures dans les gaines (défaut d'étanchéité des gaines, problèmes aux raccords, fragilité du PEHD des gaines de câbles extérieurs).

La nature de cette corrosion peut être double :

a. dépassivation des armatures sous l'effet d'une baisse de pH du béton, en relation avec sa carbonatation de surface qui atteint voire dépasse l'épaisseur d'enrobage des armatures.



➤ *FIGURE 15*

Test de mesure de carbonatation par aspersion d'une solution de phénolphtaléine alcoolique (crédit : LERM Setec)

b. dissolution des armatures par des ions chlorures en concentration élevée (dont l'origine est soit l'environnement marin proche, soit des sels de déverglaçage, ou encore une pollution atmosphérique industrielle).

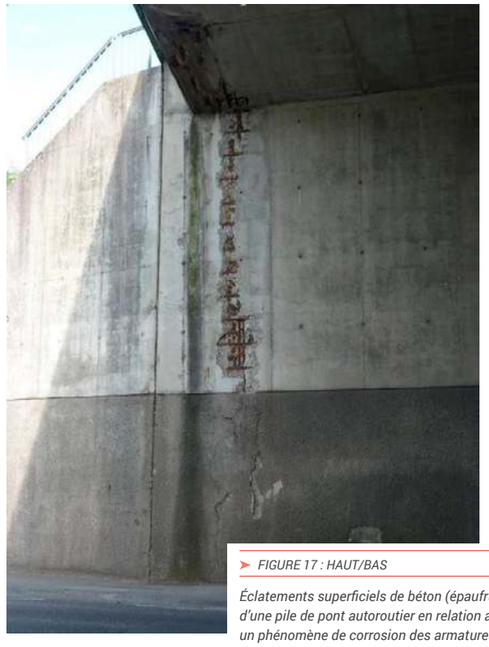
À noter que ces 2 mécanismes peuvent coexister, et sont aggravés dans le cas des armatures de précontrainte par la corrosion fissurante sous tension.

➤ *FIGURE 16 : HAUT/BAS*

Éclatements superficiels de béton (épaufrures) en relation avec un processus de corrosion des armatures sous-jacentes par les ions chlorures en milieu marin







➤ *FIGURE 17 : HAUT/BAS*

Éclatements superficiels de béton (épaufrures) d'une pile de pont autoroutier en relation avec un phénomène de corrosion des armatures sous-jacentes par les ions chlorures de déverglaçage



3.2 Dégradation des équipements

3.2.1/ Les référentiels techniques

Les équipements de ponts constituent un ensemble de dispositifs destinés à assurer d'une part la sécurité et le confort des usagers, et d'autre part la protection et le bon fonctionnement de la structure.

Les équipements peuvent se décliner en sept familles principales, pour lesquelles des précisions sont apportées dans la suite du document :

- Les dispositifs de retenue (garde-corps, glissières, barrières de retenue) ;
- Les corniches ;
- Les trottoirs ;
- Les revêtements de chaussée ;
- Les systèmes d'évacuation des eaux et de drainage ;
- Les joints de chaussée et de trottoirs ;
- L'étanchéité générale.

Les équipements de ponts sont ainsi constitués de gammes de systèmes ou de produits de natures diverses, dont les matériaux constitutifs diffèrent (acier et autres alliages, bois, produits bitumineux, élastomères, matériaux composites, etc.) et dont la fabrication relève de processus industriels variés (métallurgie, mécanique, chimie).

Compte tenu de la variété des familles d'équipements et de l'hétérogénéité des produits, il n'est pas possible de décrire ici au cas par cas les processus de dégradation et de vieillissement des différents dispositifs. Ces précisions sortent du cadre de ce livret, qui met l'accent dans la limite du document sur les impacts et les risques liés à la défaillance des équipements (envers la **sécurité** des usagers et la **durabilité** de la structure).

Pour plus de détails sur la question des dégradations des équipements, nous renvoyons à la lecture du Fascicule 21 de l'ITSEOA « Equipements des ouvrages d'art » et à la série des guides FAEQ édités par le STRRES. La bibliographie en fin du livret liste également une série de guides techniques qui traitent de la manifestation des désordres, des méthodologies de diagnostic et des principes de réparation des différents équipements.

On notera que les **appareils d'appui** de ponts font partie intégrante de la structure des ouvrages, en assurant le transfert des efforts du tablier vers les appuis. Néanmoins, compte tenu du caractère « industriel » de ces dispositifs, lié à leur fabrication, ces éléments sont classés dans le cadre de cette notice dans la partie associée aux « Équipements ».

Comme pour les autres équipements de ponts, ce livret ne décrit pas les mécanismes de vieillissement et de détérioration des appareils d'appui. Le lecteur intéressé pourra consulter le référentiel ITSEOA avec le Fascicule 13 « Appareils d'appui » et le guide du même nom du STRRES, référencé FAEQ 5.

3.2.2/ Impacts potentiels de la dégradation des équipements sur la sécurité et la durabilité

Les désordres affectant les équipements peuvent avoir des impacts potentiels sur la sécurité des usagers et/ou la durabilité de la structure, en fonction de la typologie des dégradations et de leur intensité.

En présence d'équipements vétustes ou défaillants sur les ouvrages, l'appréciation des risques doit toujours être examinée au cas par cas. Cela étant, afin de guider le gestionnaire dans son évaluation, le tableau 6 ci-après dresse une liste (non exhaustive) des désordres les plus fréquemment rencontrés selon les familles d'équipements et propose une classification de l'impact potentiel sur la sécurité des usagers et la durabilité de la structure selon 5 niveaux :

➤ *TABLEAU 5*

Échelle retenue pour évaluer le niveau d'impact potentiel d'une dégradation d'un équipement vis-à-vis des risques pour la sécurité des usagers et de la durabilité de la structure

Impact faible	1 2 3
Impact faible à modéré	1 2 3
Impact modéré	1 2 3
Impact modéré à fort	1 2 3
Impact fort	1 2 3

➤ *TABLEAU 6*

grille des impacts potentiels des désordres affectant les équipements sur la sécurité des usagers et la durabilité de la structure

EQUIPEMENTS DES OUVRAGES D'ART	TYPE DE DÉGRADATION OBSERVÉE SUR LES ÉQUIPEMENTS		IMPACT POTENTIEL SUR LA SÉCURITÉ DES USAGERS	IMPACT POTENTIEL SUR LA DURABILITÉ DE LA STRUCTURE
Dispositif de retenue [D]	D1	Détérioration du dispositif en partie courante	1 2 3	1 2 3
	D2	Détérioration de la zone d'ancrage à la structure	1 2 3	1 2 3
	D3	Dégradation du revêtement de protection	1 2 3	1 2 3
	D4	Défaut d'alignement (en plan, ou selon le profil en long)	1 2 3	1 2 3
	D5	Blocage du dispositif au droit d'un joint de dilatation	1 2 3	1 2 3
Corniches [C]	C1	Détérioration du système d'ancrage à la structure	1 2 3	1 2 3
	C2	Corrosion des armatures, vieillissement du béton	1 2 3	1 2 3
	C3	Ecoulements à l'arrière de la corniche et intrados de tablier	1 2 3	1 2 3
	C4	Ruissellements sur la face latérale et intrados de tablier	1 2 3	1 2 3
Trottoirs [T]	T1	Affaissement du corps de trottoirs ou disparition de dallettes	1 2 3	1 2 3
	T2	Altération du revêtement de trottoir	1 2 3	1 2 3
	T3	Désolidarisation de bordures du corps de trottoir	1 2 3	1 2 3
Revêtement de chaussée (R]	R1	Affaissement de la chaussée sur accès	1 2 3	1 2 3
	R2	Altération du revêtement sur ouvrage (faïençage, pelade)	1 2 3	1 2 3
Système d'évacuation des eaux et de drainage [S]	S1	Stagnation d'eau sur le tablier	1 2 3	1 2 3
	S2	Ecoulement en intrados de tablier	1 2 3	1 2 3
	S3	Ecoulement sur appui	1 2 3	1 2 3
	S4	Ravinement des remblais contigus	1 2 3	1 2 3
Joints de chaussée [J]	J1	Défaut d'étanchéité et écoulement sur appui	1 2 3	1 2 3
	J2	Décalage du joint dans le plan vertical ou horizontal	1 2 3	1 2 3
	J3	Ouverture anormale du joint	1 2 3	1 2 3
	J4	Désolidarisation d'éléments de joint	1 2 3	1 2 3
	J5	Disparition d'ancrage ou d'élément de joint	1 2 3	1 2 3
Etanchéité [E]	E1	Décollement des relevés d'étanchéité en rive	1 2 3	1 2 3
	E2	Traces d'humidité en intrados en partie courante du tablier	1 2 3	1 2 3
	E3	Traces d'humidité en intrados sous trottoirs	1 2 3	1 2 3
	E4	Circulation d'eau en rive de tablier le long des corniches	1 2 3	1 2 3
	E5	Circulation d'eau au travers du tablier via les ancrages des DR	1 2 3	1 2 3

Les deux chapitres qui suivent illustrent par des photographies l'état d'équipements à risques pour les usagers, ainsi que l'apparition de dégradations sur la structure en présence d'équipements défaillants. La désignation des photographies fait référence aux codes de désordres types listés dans le tableau précédent (Tableau 6).

3.2.3/ Risques pour la sécurité des usagers en présence d'équipements défaillants – Illustrations

Les gestionnaires doivent être attentifs à la surveillance et à l'entretien des équipements dont une défaillance serait susceptible d'avoir une incidence directe sur la sécurité des usagers (piétons ou automobilistes).
Une vigilance particulière doit donc être portée aux :

- **Garde-corps et parapets**, afin d'éviter tout risque de chute de piéton depuis la partie supérieure de l'ouvrage (illustration en photo D1).
- **Dispositifs de retenue** (glissières et barrières de sécurité), afin d'éviter une sortie de véhicule en cas de choc (cf. photo D2).
- **Joints de chaussée**, afin de contrôler qu'il n'y ait pas d'élément de joint saillant qui pourraient provoquer une crevaison de pneumatique au passage d'un véhicule (cf. photo J5), voire même un accident.
- **Corniches**, en raison du risque de chute de fragments de béton – voire d'élément de corniche – sur la voie franchie (cf. photo C2).

L'état du **revêtement de chaussée** joue également un rôle important vis-à-vis de la sécurité des usagers et le gestionnaire devra veiller à entretenir ou renouveler périodiquement la couche de roulement.

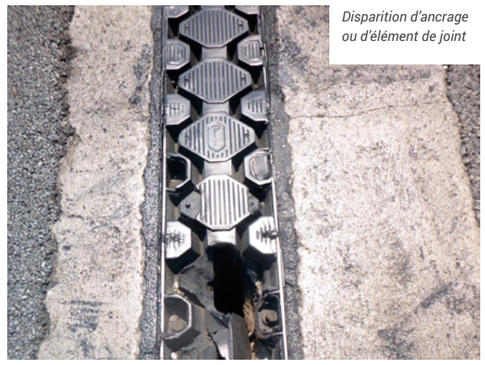
➤ *D2 / BARRIÈRE DE RETENUE*

Détérioration de la zone d'ancrage à la structure



➤ *J5 / JOINT DE CHAUSSÉE*

Disparition d'ancrage ou d'élément de joint



➤ *D1 / GARDE CORPS*

Détérioration du dispositif en partie courante



➤ *C2 / CORNICHES*

Corrosion des armatures, vieillissement du béton



3.2.4/ Dégradation accélérée de la structure en présence d'équipements défaillants – Illustrations

Ce sont les **circulations d'eau** non maîtrisées qui provoquent dans la plupart des cas le vieillissement prématuré de la structure (tablier ou appuis), selon les mécanismes rappelés au chapitre 3.1.

Ces écoulements peuvent être liés à la défaillance :

1. de la chape d'étanchéité (en partie courante, en rives du tablier, au niveau du raccordement de points singuliers),
2. des joints de chaussée,
3. du système d'évacuation des eaux et de drainage.

Les gestionnaires doivent donc être vigilants dans le cadre de la surveillance pour déceler les symptômes traduisant des défauts d'étanchéité afin d'enclencher les actions correctives (entretien, ou réparation) et ne pas laisser perdurer les circulations d'eau intempestives. La vitesse d'évolution des désordres peut varier fortement d'un ouvrage à l'autre, en fonction de l'environnement (maritime, montagneux, urbain) et de la qualité intrinsèque des bétons. Les actions correctives doivent être enclenchées le plus tôt possible afin de limiter l'évolution des désordres et les répercussions sur la dégradation de la structure.

En fonction du positionnement des zones de défauts d'étanchéité, les dégradations peuvent impacter la structure :

- **en intrados de tablier :** en partie courante du tablier, au niveau de points singuliers comme les dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux lorsqu'ils sont mal raccordés (illustration en photo S2), ou encore au droit de l'émergence d'ancrages traversants de dispositifs de retenue (cf. photo E5).

➤ *E5 / ETANCHÉITÉ*

Circulation d'eau au travers du tablier via des réservations de tiges d'ancrages traversantes



- **au niveau des zones d'appui comportant un joint :** les désordres peuvent alors se manifester dans la zone d'about du tablier (cf. photo J1-1 sur un pont à poutres), directement sur l'appui en cas de ruissellements abondants (cf. photo J1-2 sur une tête de pile) ou encore au niveau de l'encorbellement du tablier (cf. photo J1-3). La gravité des désordres est à apprécier au cas par cas, en fonction de la nature de l'ouvrage (notamment en présence de précontrainte), du positionnement, de l'étendue et de l'intensité des désordres. Les défaillances de joints de chaussée et de trottoirs favorisent le vieillissement prématuré des appareils d'appui et occasionnent des désordres dans des zones généralement difficiles d'accès, au niveau desquelles la réalisation des travaux de réparation se trouve fortement compliquée.

➤ *S2 / SYSTÈME D'ÉVACUATION DES EAUX ET DE DRAINAGE*

Écoulement en intrados de tablier



➤ *J1-1 / JOINTS DE CHAUSSÉE*

Défaut d'étanchéité et écoulement sur appui



➤ *J1-2 / JOINTS DE CHAUSSÉE*

Défaut d'étanchéité et écoulement sur appui



➤ *J1-3 / JOINTS DE CHAUSSÉE*

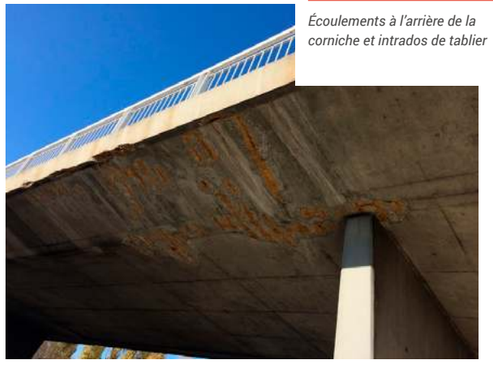
Défaut d'étanchéité et écoulement sur appui



- **le long des rives du tablier :** les désordres apparaissent au niveau de l'encorbellement sous trottoir ou sur les retombées de poutres ou d'âmes du tablier, selon la typologie des ouvrages, favorisant la corrosion des armatures du béton armé (cf. photo C3). Les écoulements sont alors à examiner de près en fonction de la configuration des équipements, notamment vis-à-vis des corniches, pour lesquelles la présence de circulations d'eau à l'arrière est susceptible de dégrader le système de fixation à la structure et menacer la stabilité des éléments.

➤ *C3 / CORNICHES*

Écoulements à l'arrière de la corniche et intrados de tablier



Chapitre 4.

LES ACTIONS QUI PROLONGENT LA DURÉE DE VIE DES OUVRAGES

On retiendra des chapitres précédents que la durée de vie des ouvrages est notamment affectée par :

- la conception de l'ouvrage et en particulier la pertinence des règlements d'origine (par rapport aux errements de l'époque de construction) ainsi que le choix des dispositions constructives favorisant la durabilité ;
- la qualité d'exécution de la structure, dépendant du soin apporté lors de la construction et du contrôle qualité assuré lors des travaux ;
- le vieillissement des composants structurels et leur éventuel vieillissement accéléré pour cause anormale ;
- la qualité des équipements ayant un rôle protecteur de la structure et leur vieillissement, normal ou anormal ;
- le contexte, c'est à dire les conditions d'usage (ou d'exploitation) et d'environnement (ou d'exposition) de l'ouvrage ;
- les conditions d'entretien de l'ouvrage, en matière d'investissements budgétaires consacrés à l'entretien courant et en matière de fréquence d'intervention sur les ouvrages.

Outre la qualité du contrôle des études et des travaux qui demeurent une nécessité forte, l'allongement de la période d'exploitation des ouvrages peut passer par :

- une intensification des actions d'entretien (entretien courant et/ou spécialisé) ;
- la remise à niveau partielle ou totale des équipements protecteurs de la structure ;
- une opération de réparation ou de renforcement des éléments structurels ;
- une modification des conditions d'exploitation.

Nous détaillons ci-après quatre familles d'actions permettant de prolonger la durée de vie des ouvrages :

- le choix des dispositions constructives ;
- les actions de maintenance, de réparation ou d'aménagement de la structure ;
- les actions d'entretien et de remplacement des équipements ;
- les restrictions des conditions d'exploitation.

4.1 Choix des dispositions constructives

Bien que n'entrant pas stricto sensu dans le champ du présent document, nous rappelons l'importance de la phase de conception en particulier vis-à-vis :

- des choix conceptuels :
  - la définition de classes d'exposition des bétons pertinentes et d'épaisseurs d'enrobages adaptées ;
  - le choix d'une formulation de béton appropriée ;
  - des choix structurels « durables » comme la conception de ponts intégraux permettant la suppression des appareils d'appui et des joints de chaussée ;
  - la limitation des inserts sur les longrines de rive, des joints de chaussée, des surfaces de béton directement exposées aux eaux pluviales et aux sels de déverglaçage ;
  - …
- des choix de dispositions préventives :
  - par l'emploi d'armatures inox, ou composites ;
  - par la mise en œuvre de revêtements de protection de parements ;
  - par incorporation d'une protection cathodique sous forme d'anodes sacrificielles, ou par courant imposé ;
  - …

4.2 Actions de maintenance, de réparation ou d'aménagement de la structure

Les principales actions susceptibles d'être appliquées aux ouvrages sont les suivantes :

- Les actions de renforcement structurel :
  - l'injection ou le colmatage des fissures, vides ou interstices ;
  - l'ajout d'armatures passives ;
  - le collage de matériaux composites (cf. photo M) ;
  - dans le cas où les deux techniques précédentes s'avèrent insuffisantes, la mise en œuvre de précontrainte additionnelle, qui nécessite une intervention plus lourde (cf. photo P) ;
  - la dénivellation d'appuis ;
  - l'hydrodémolition ou la reconstruction partielle ;
  - l'ajout de mortier / béton ;
  - la réinjection de gaines de précontrainte ;
  - le chemisage de poteaux / pieux ;
  - le confinement d'élément atteints de réactions internes (RSI, RAG) ;
  - l'injection de joints de voussoirs sous chargement / gradient thermique ;
  - …



➤ *M / MATÉRIAUX COMPOSITES*

Renforcement de poutre de VIPP



➤ *P / PRÉCONTRAINTE ADDITIONNELLE*

Renforcement de chevêtres de piles marteau

- Les actions visant à limiter ou empêcher la corrosion des armatures :
  - l'extraction électro-chimique des chlorures ;
  - la mise en œuvre d'une protection cathodique, par anodes sacrificielles (cf. photo A) ou courant imposé (cf. photo C) ;
  - l'application d'inhibiteurs de corrosion ;
  - l'imprégnation de parements ou la mise en œuvre de revêtements de protection (cf. photo R) ;
  - le remplacement du béton pollué ou carbonaté par du béton sain ;
  - la ré-alcalinisation de béton ;
  - …



➤ *A / ANODES SACRIFICIELLES*

Protection cathodique dans une entretoise de tablier



➤ *C | COURANT IMPOSÉ*

Protection cathodique d'une poutre



➤ *R / REVÊTEMENT DE PROTECTION*

Sur embases de piles

4.3 Actions d'entretien et de remplacement des équipements

Les superstructures ont en général une pérennité inférieure à la durée de vie de l'ouvrage qu'ils équipent (le paragraphe 2.1.2 donne à titre indicatif des fourchettes de valeurs pour les principaux équipements). A ce titre, les équipements ont, pour la plupart, une probabilité forte d'être remplacés pendant la durée de vie de l'ouvrage.

On se limitera ci-après à une brève évocation des interventions les plus fréquentes sur les superstructures :

» la réfection de joints de chaussée ;
» le traitement d'étanchéité et/ou la protection des parements.

La réfection de joints de chaussée demeure aujourd'hui une entreprise délicate et une source d'insatisfaction pour les maîtres d'ouvrages du fait de forts enjeux liés à la sécurité, au confort, aux nuisances sonores et à la pérennité des organes sous-jacents à ces joints (ancrages de précontrainte, chevêtres d'appuis…). Pour remédier à ces écueils, on pourra notamment apporter une vigilance particulière sur les points suivants :

- le choix des joints de chaussée et du souffle associé, adossé à une étude détaillée ;
- la maîtrise de la température à cœur de l'ouvrage lors de la pose ;
- L'adaptation des ouvrages :
  - par élimination de joints de chaussée et attelage de travées ;
  - par réduction des portées avec ajout d'un ou plusieurs appuis supplémentaires et en mettant en œuvre les renforcements adéquats ;
  - en allégeant les superstructures, par exemple en adoptant une étanchéité mince, ou un renformis en matériau allégé ;
  - de façon plus radicale, en procédant au changement de tablier pour adopter une structure plus légère tout en conservant les appuis ;
  - en renforçant les fondations éventuellement en sous-œuvre ;
  - …
- les conditions d'exploitation en phase de travaux permettant si possible d'éviter :
  - les travaux de nuit ;
  - les durées de travaux très courtes nécessitant l'emploi de mortier très fortement dosé ;
  - les découpages transversaux des joints ;
- le traitement soigné des interfaces avec les joints de trottoirs et/ou les joints de corniche ;
- l'incorporation du drain et la réalisation d'un exutoire satisfaisant ;
- une vérification poussée de l'étanchéité du joint, avec la pose - chaque fois que cela est possible - d'une goulotte de récupération des eaux.

Les travaux d'étanchéité et de protection des parements, qu'il s'agisse d'étanchéité en zone courante ou des actions visant à supprimer les pénétrations d'eau au droit des rives des tabliers, doivent généralement faire l'objet d'une étude de conception préalable et être associés à un diagnostic physico-chimique.
On pourra notamment porter une attention particulière sur les points suivants :

- le choix des étanchéités et des revêtements en fonction du degré de pollution (chlorures par exemple) des supports ;
- l'état de préparation et les conditions hygrométriques des supports ;
- le soin apporté au traitement des raccordements et des points singuliers ;
- les conditions de phasage en phase de travaux permettant si possible d'éviter une mise en œuvre morcelée.

4.4 Restriction des conditions d'exploitation

Lorsque la dégradation du niveau de service est acceptable pour le gestionnaire, la durée de vie d'un ouvrage peut se voir prolongée au travers d'actions conservatoires telles que :

› la neutralisation d'une Bande d'Arrêt d'Urgence (BAU) ;
› la réduction du nombre de voies de circulation ;
› la réduction du tonnage à l'essieu (mesure qui peut s'avérer délicate d'application et difficile à faire respecter) ;
› la limitation du gabarit de passage par pose de portique aux entrées d'ouvrage ;
› la réduction de la vitesse de roulement ;
› la fermeture de l'ouvrage en période évènementielle ;
› la fermeture de l'ouvrage sous conditions climatiques particulières ou exceptionnelles.

Chapitre 4
LES ACTIONS QUI PROLONGENT LA DURÉE DE VIE DES OUVRAGES

BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 - Les processus de pilotage pour organiser la gestion patrimoniale :

- *Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA, révision 2010), Fascicules 1 à 4 et ensemble des guides d'application*
- *La maintenance des ponts routiers. Approche économique (Presses des Ponts et Chaussées, 1992)*
- *Impact d'une politique de gestion sur l'état d'un patrimoine d'ouvrages en béton armé (SETRA, BOA n°33, 1999)*
- *Application des notions de fiabilité à la gestion des ouvrages existants (Presses des Ponts et Chaussées, 2003)*
- *Aptitude au service des ouvrages (LCPC, OA 48, 2004)*
- *Pour une gestion de l'état des ponts et autres ouvrages routiers (AIPCR, 2004)*
- *Étude sur les actions de réhabilitation des ponts en béton (AIPCR, 2005)*
- *Gestion des ponts en Europe. Projet européen BRIME (LCPC, OA 49, 2005)*
- *Gestion des ponts. Rapport conjoint franco-britannique (Editions Thomas Telford, 2005)*
- *Gestion des ouvrages d'art, Guide méthodologique à l'usage des départements et autres collectivités locales (SETRA, mai 2006)*
- *VSC, méthode d'aide à la gestion de patrimoines (LCPC, 2006)*
- *Etude de la performance des réseaux d'ouvrages d'art et détermination des stratégies de gestion optimales (LCPC, OA 64,2009)*
- *Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine (SETRA, version provisoire 2011)*
- *Gestion des ponts en service (AIPCR, 2012)*
- *Accroître la durabilité et la durée de service des ponts existants (AIPCR, 2012)*
- *Prioritisation of bridge rehabilitation works (AIPCR, 2012)*
- *Ponts routiers : amélioration de la durabilité en phase de conception et de construction (AIPCR, 2013)*
- *NF ISO 55000, Gestion d'actifs - Aperçu général, principes et terminologie (AFNOR, 2014)*
- *NF ISO 55001, Gestion d'actifs - Système de management – Exigences (AFNOR, 2014)*
- *Surveillance et entretien courant des ouvrages d'art routiers. Guide technique à l'usage des communes (CEREMA, septembre 2018)*
- *Inspection détaillée des ouvrages d'art : comment réussir sa commande ? (IDRRIM, 2018)*
- *Collection des Cahiers interactifs de l'IFSTTAR :*
- *https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/*

Chapitre 2 - La durée de vie d'un ouvrage

- *Guidance Document 002 (EOTA, 1999)*
- *Guidance paper F, Durability and construction products directive (European Commission, 2004)*
- *NF X50-501, Maintenance, Etat de référence des biens : Vocabulaire des activités de rénovation et de reconstruction (AFNOR, 2007)*
- *Age et durée de vie des ponts du réseau routier national non concédé (SETRA, BOA n°58, 2008)*
- *NF ISO 15686-1, Bâtiments et biens immobiliers construits, Conception prenant en compte la durée de vie – Partie 1 : Principes généraux et cadre (AFNOR, 2011)*
- *NF ISO 15686-2, Bâtiments et biens immobiliers construits, Conception prenant en compte la durée de vie – Partie 2 : Procédures pour la prévision de la durée de vie (AFNOR, 2012)*
- *NF EN 1990, Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures (AFNOR, 2003) et son Annexe Nationale NF EN 1990/NA*
- *Méthodes courantes d'évaluation structurale des ouvrages existants - Pratiques en vigueur dans le RST, note d'information n°35 (SETRA, 2012)*
- *Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art (CEREMA, 2015)*

Chapitre 3.1 - Les mécanismes de dégradation | Structure

- *GranDuBé : grandeurs associées à la durabilité des bétons (Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées, 2007)*
- *Alcali-réaction dans les structures en béton : mécanisme, pathologie et prévention (Techniques de l'Ingénieur, 2008)*
- *La durabilité des bétons : bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement (Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques - ATILH, 2008)*
- *Réaction sulfatique interne dans les structures en béton : mécanisme, pathologie et prévention (Techniques de l'Ingénieur, 2009)*
- *Guide de prescription des ciments pour des constructions durables : cas des bétons coulés en place (Cimbéton, 2009)*
- *Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels (Presses polytechniques romandes, 2010)*
- *Transformations physico-chimiques dans les matériaux du génie civil : conséquences mécaniques et microstructurales (IFSTTAR, LCPC, 2012)*
- *Durée de vie des ouvrages en béton armé. Approche prédictive, performantielle et probabiliste. Recommandations du projet APPLET (IFSTTAR, CERIB, 2012)*
- *Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne : guide technique (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC, 2017)*
- *Note d'information Ouvrages d'art n°03. Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure (CEREMA, 2018)*
- *Pathologie de gonflement des maçonneries en site maritime (CEREMA, 2018)*
- *La corrosion et ses conséquences sur les ouvrages en béton armé (ISTE Editions, 2018)*

Chapitre 3.2 - Les mécanismes de dégradation | Équipements

- *ITSEOA, Fascicule 21 – Equipements des ouvrages d'art (SETRA, 2011)*
- *ITSEOA, Fascicule 13 – Appareils d'appui (LCPC/SETRA, 2002)*
- *Guides du STRRES, famille « Equipements d'ouvrages » (guides FAEQ 1 à 5)*
- *Prévention des pathologies courantes des ouvrages d'art (LCPC/SETRA, 1998)*
- *STER 81, Mise à jour n°2. Réfection des étanchéités et des couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art (SETRA, 2001)*
- *Assainissement des ponts routes. Guide technique (SETRA, 1989)*
- *Entretien des complexes étanchéité / couche de roulement sur ouvrages d'art (LCPC, 2006)*
- *Pathologies, diagnostic et réparation des chapes d'étanchéité des ouvrages d'art (IFSTTAR, 2011)*
- *Corniches. Collection du guide technique GC (SETRA, 1994)*
- *Attention « corniches » (SETRA, BOA n°15, 1993)*
- *Pathologies, diagnostic et réparation des corniches en béton armé (IFSTTAR, 2011)*
- *Joints de chaussée des ponts routes (CEREMA, 2016)*
- *Le contrôle des travaux des joints de chaussée et de trottoirs sur ouvrages neufs et en réparation (LCPC, 2006)*
- *Propositions d'actions pour le remplacement des joints de chaussée sur ouvrages en service (SETRA, Note d'information n°24, 2003)*
- *Les trottoirs sur les ponts et aux abords immédiats. Guide technique (SETRA, 2005)*
- *Garde-corps. Collection du guide technique GC (SETRA, 1997)*
- *Dispositifs de retenue routiers marqués CE sur ouvrages d'art (CEREMA, 2014)*

Chapitre 4 - Les actions qui prolongent la durée de vie des ouvrages

- *NF EN 1504-1 à 10. Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton (AFNOR)*
- *Guides du STRRES, famille « Béton et maçonnerie » (guides FABEM 1 à 8)*
- *Précontrainte extérieure (SETRA, 1990)*
- *Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton (SETRA-LCPC, 1996)*
- *Maintenance et réparation des ponts (Presses des Ponts et Chaussées, 1997)*
- *Protection des bétons par application de produits à la surface du parement (LCPC, 2002)*
- *Management, maintenance and strengthening of concrete structures (FIB, Bulletin 17, 2002)*
- *Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (LCPC, 2003)*
- *Surveillance et entretien courant des ouvrages d'art routiers (SETRA, 2011)*
- *Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art (CEREMA, 2015)*
- *Pérennité du béton précontraint (Presses des Ponts, 2014)*
- *Diagnostic et renforcement sismique des ponts existants (CEREMA, 2015)*

Ingénierie de
Maintenance du Génie Civil

IMGC

http://www.imgc.fr/