Notice d'aide à la décision pour

LE PILOTAGE DE LA MAINTENANCE DES OUVRAGES D'ART

Livret 2

Identifier et gérer les ouvrages à risques

GT7 | DURABILITÉ DES OUVRAGES D'ART ET PILOTAGE DE LA MAINTENANCE

Animateur : Nicolas BESSOULE (Sixense Engineering)

Rédacteurs :
Jean-François BINDEL (Groupe ADP)
Sidoine DE LA ROQUE (Cofiroute)
Pierre HERMANN (Eurométropole de Strasbourg)
Mathieu PAPIN (Sixense Engineering)
Matthieu RUDINGER (RATP)
Viviane WEIGEL (CD 77, puis SYSTRA)

IMGC
Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

Le Groupe de Travail 7 de l'IMGC « Durabilité des ouvrages d'art et pilotage de la maintenance » est dirigé par Nicolas BARDOU, Cofiroute.

Ce Livret 2 a été rédigé par le sous-groupe animé par Nicolas BESSOULE, Sixense Engineering, et constitué de :

- Jean-François BINDEL (Groupe ADP)
- Sidoine DE LA ROQUE (Cofiroute)
- Pierre HERMANN (Eurométropole de Strasbourg)
- Mathieu PAPIN (Sixense Engineering)
- Matthieu RUDINGER (RATP)
- Viviane WEIGEL (CD 77, puis SYSTRA)

Le comité de relecture est constitué de :

- Bertrand COLLIN (SITES)
- Eric DELAHAYE (Cerema)
- Bruno GODART (ex UGE)
- Laurent LABOURIE (ex Cerema)
- Christophe RAULET (Setec Diadès)
- Chenthuran VILVARAJAH (ASF)
- Rabah ZEROUALI (CD 34)

Cette première édition a été publiée en novembre 2024.

L'IMGC est une association regroupant les différents acteurs de **l'Ingénierie de Maintenance** dans le domaine des ouvrages d'art.

Cette association, dédiée à l'ingénierie de la surveillance, du diagnostic et de la maîtrise d'œuvre des structures existantes, est organisée en trois collèges :

- Collège bureaux d'ingénierie ;
- Collèges maîtres d'ouvrage ;
- Collège organismes scientifiques.

Elle compte également des membres correspondants (fournisseurs de produits...).

L'IMGC est membre associé de SYNTEC-INGENIERIE, adhérente de l'IDRRIM et partenaire de l'AFGC, du STRRES et de l'association Le PONT.

Nos objectifs

- **Promouvoir les métiers** de l'Ingénierie de la Maintenance ;
- **Développer des programmes** de formations spécifiques ;
- **Permettre aux maîtres d'ouvrage** de bien appréhender des prestations ;
- **Être un lieu d'échange** entre maîtres d'ouvrage, bureaux d'ingénierie et organismes scientifiques.

https://www.imgc.fr

Sommaire

INTRODUCTION 5

PRÉAMBULE 6

CHAPITRE 1 :
GESTION DES RISQUES 7

1.1. Définition et référentiel 8
1.2 Déroulement général d'une analyse de risques 8
1.3 Illustration 10

CHAPITRE 2 :
ANALYSE DE RISQUES APPLIQUÉE À LA GESTION
DES OUVRAGES D'ART 11

2.1 Objectifs de l'analyse de risques 12
2.2 Analyse de risques à l'échelle d'un ouvrage particulier 13
2.3 Analyse de risques à l'échelle d'une famille d'ouvrages 13
2.3.1 Principe et référentiel technique 13
2.3.2 Déroulement général de l'analyse par famille d'ouvrages 14
2.4 Analyse de risques à l'échelle d'un parc d'ouvrages d'art 15
2.4.1 Motivations 15
2.4.2 Méthodologie d'analyse de risques patrimoniale 16
2.4.3 Etapes de l'analyse 17
2.5 Prise en considération de l'expérience des défaillances passées 18

CHAPITRE 3 :
ÉTAPE 1 : ATTRIBUTION DE L'INDICATEUR DE CRITICITE 19

3.1 Formation de l'indicateur de criticité ICR 20
3.2 Robustesse de l'ouvrage (ROB) 20
3.2.1 Définition 20
3.2.2 Coefficient de robustesse du tablier CROBT 20
3.2.3 Coefficient de robustesse des appuis CROBA 22
3.2.4 Coefficient de robustesse globale de l'ouvrage CROB 22
3.3 État apparent de conservation de l'ouvrage (ETA) 23
3.3.1 Définition 23
3.3.2 Coefficient d'état apparent CIEA 23
3.3.3 Prise en compte de l'incertitude liée à la problématique des parties d'ouvrages non inspectées 25
3.3.4 Coefficient d'état de conservation CETA 27

3.4 Contexte environnant (ENV) 28
3.4.1 Généralités 28
3.4.2 Effets du changement climatique 28
3.4.3 Choix des facteurs influençant le contexte environnant 28
3.4.4 Coefficient de contexte environnant C_{ENV} 32
3.5 Calcul de l'indicateur de criticité (ICR) 33
3.6 Registre des ouvrages par classes de criticité 33

CHAPITRE 4 :
ÉTAPE 2 : CATÉGORISATION DES OUVRAGES PAR CLASSES DE RISQUES 35

4.1 Principe 36
4.1.1 Introduction 36
4.1.2 L'indice socio-économique (ISE) 36
4.2 Constitution de l'indice ISE 37
4.2.1 Enjeux à considérer 37
4.2.1 Enjeux à considérer 37
4.2.2 Quelques méthodes existantes pour déterminer l'indice socio-économique ISE 37
4.2.3 Proposition du livret pour la formation de l'indice ISE 38
4.2.4 A propos des dommages humains (corporels) 40
4.3 Établissement de la cartographie des risques 41

CHAPITRE 5 :
GÉRER DES PONTS EN UTILISANT L'ANALYSE DE RISQUES 43

5.1 Options de gestion des risques 44
5.2 Poursuite et approfondissement de l'analyse de risques 46
5.3 Solutions possibles en matière de gestion 47
5.3.1 Conduire un diagnostic et des études de scénarios 47
5.3.2 Adapter les conditions d'exploitation 47
5.3.3 Adapter l'entretien 47
5.3.4 Mettre en place un régime de surveillance renforcée 48
5.3.5 Mettre en place un régime de haute surveillance 48
5.4 Reconduction de l'analyse de risques 49

BIBLIOGRAPHIE 50

INTRODUCTION

Ce document s'inscrit dans une notice composée de quatre livrets, destinée à guider les gestionnaires dans l'organisation de la maintenance de leur parc d'ouvrages d'art. La notice comprend les livrets suivants :

- Livret 1 : Gestion patrimoniale et durée de vie des ouvrages
- Livret 2 : Identifier et gérer les ouvrages à risques
- Livret 3 : Méthodes d'établissement de pronostic sur la durabilité des structures
- Livret 4 : Méthodes d'établissement de pronostic sur la durabilité des équipements

Ce **Livret 2** traite spécifiquement de l'identification des ouvrages (ou groupes d'ouvrages) à risques qui méritent une attention particulière et qui doivent être gérés d'une manière spécifique compte tenu des risques qu'ils présentent.

Le document est organisé en 5 chapitres. Le chapitre 1 rappelle la terminologie et les étapes de déroulement d'une analyse de risques. Le chapitre 2 présente les spécificités de l'analyse de risques appliquée au domaine des ouvrages d'art, en introduisant la notion d'échelle d'analyse (par ouvrage, par famille d'ouvrages, au niveau du parc dans son ensemble). Les chapitres 3 et 4 proposent une méthode de hiérarchisation des ouvrages par classes de risques à l'échelle d'un parc. Enfin le chapitre 5 présente les différentes stratégies qui s'offrent aux gestionnaires pour la maîtrise des risques. Une bibliographie choisie est proposée à la fin du document.

PRÉAMBULE

La prise en compte des risques est une des responsabilités essentielles du maître d'ouvrage propriétaire. En ce sens, la plupart des méthodes de surveillance basées sur l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA [01]) intègrent déjà, de façon implicite, une certaine « forme » d'analyse de risques. La prise en compte raisonnée des risques permet au gestionnaire d'exercer pleinement ses responsabilités techniques et juridiques.

Par ailleurs, l'analyse de risques appliquée à la gestion spécifique de certaines familles d'ouvrages (VIPP, buses métalliques, ponts en maçonneries, par exemple) fait l'objet de constants développements au travers des guides publiés par le Cerema [02]. Ces analyses et les développements qu'elles impliquent en matière de surveillance et d'auscultation s'intègrent dans le système de gestion global des ouvrages d'un patrimoine.

L'objectif de ce livret est **complémentaire** car il s'applique à l'ensemble des ouvrages d'un parc. Sans se substituer aux actions systématiques qui résultent d'une gestion conforme aux principes de l'ITSEOA, il permet d'affiner la stratégie de gestion technique des ouvrages, en particulier pour les actions conditionnelles les plus courantes, mais qui sont également les plus fréquentes (périodicité des inspections détaillées, programmation d'inspections détaillées spécifiques, organisation de l'entretien spécialisé, etc) et essentielles pour pérenniser les ouvrages.

Ce livret permet ainsi d'obtenir pour chaque ouvrage d'un parc un indicateur, reflet des risques, accessibles aux élus et aux décideurs non spécialistes. Cet indicateur est utile à l'élaboration d'une stratégie de gestion plus large qui intègre les aspects sociaux économiques (évolution des usages, investissements à anticiper…). Ce dernier sujet est abordé succinctement dans ce livret.

Bien évidemment, le cas d'ouvrages présentant des risques imminents susceptibles de mettre en jeu la sécurité des personnes et nécessitant la prise de mesures d'urgence est en marge du cadre d'une telle analyse à caractère stratégique. Cependant, même dans ce cas, comme les problématiques sont le plus souvent particulières, l'évaluation des risques vue sur l'ensemble de l'ouvrage est souvent utile dans le cadre d'une étude de scénarios de réhabilitation, de réparation ou de remplacement.

Enfin, si l'indicateur évalué à un moment donné est utile, le suivi de son évolution peut également permettre d'affiner la politique de gestion en vue d'adapter périodiquement les moyens matériels ou financiers dédiés à l'entretien du parc d'ouvrages d'art.

Il est à noter que ce livret s'applique uniquement aux ouvrages de type ponts à tablier, cadres, buses, voûtes... quels que soient les matériaux de construction ; les murs sont donc exclus.

Ce livret suppose l'établissement préalable d'un recensement exhaustif et la connaissance de différentes données techniques utiles à la construction d'indicateurs de gestion, notamment la note d'état et l'indicateur ISE tels que définis dans le Livret 1 « Gestion patrimoniale et durée de vie des ouvrages ».

Chapitre 1.

GESTION DES RISQUES

1.1 Définition et référentiel

La norme ISO 13824 :2020 [03] donne la définition suivante :

« Le risque est la combinaison de la probabilité d'occurrence ou fréquence d'occurrence d'un événement et la magnitude de ses conséquences. Du point de vue de la théorie de la décision, c'est la valeur attendue des conséquences indésirables, c'est-à-dire la somme de tous les produits des conséquences d'un événement et de leurs probabilités ».

Pour plus de détails sur ces notions, on pourra se référer à l'abondante bibliographie existante sur cette thématique et en particulier sur les références :

- [03] ISO 13824 :2020 « Bases du calcul des constructions – Principes généraux sur l'évaluation du risque pour les systèmes comprenant des structures »
- [04] ISO 31000 : 2018 « Management du risque – Lignes directrices »
- [05] NF EN 1991-1-7 Eurocode 1 : Actions sur les structures, Partie 1-7 : Actions générales — Actions accidentelles, Annexe B : Informations sur l'évaluation des risques
- [06] SETRA, 2013 « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art »

1.2 Déroulement général d'une analyse de risques

L'analyse de risques est basée sur le croisement de la probabilité d'occurrence ou fréquence d'occurrence d'un événement et la magnitude de ses conséquences.

Globalement, elle se décompose en 9 étapes que sont :

1. la définition des objectifs de cette analyse,
2. la définition du système et des principales hypothèses nécessaires à l'élaboration de cette analyse,
3. l'identification et l'évaluation des **aléas** qui sont à l'origine du risque, que l'on va par exemple classer de « faibles » à « très élevés » avec une décomposition en plusieurs niveaux qui dépendront de la finesse de l'analyse recherchée,
4. l'analyse de la **vulnérabilité** de l'objet étudié sous différentes hypothèses d'usage. Cette vulnérabilité (ou inversement cette robustesse) de l'objet étant elle-même décomposée en différents niveaux permettant de classer les objets selon leur conception, leur redondance, leur typologie…
5. l'évaluation des **enjeux** et de l'importance stratégique de l'objet qui vont permettre de cerner les conséquences de la défaillance de l'objet que ce soit sur le plan de l'exploitabilité, de risques financiers, écologiques ou environnementaux…
6. **l'évaluation du risque** qui résulte du croisement des paramètres précédents et qui, sous la forme d'une matrice des risques, permettra de classer l'objet étudié,
7. la sélection du ou des risque(s),
8. l'analyse détaillée pour les objets identifiés comme étant à risque plus ou moins élevé,
9. le traitement du risque par le gestionnaire de l'objet.

On peut résumer les principales définitions (**aléas, vulnérabilité, conséquences**) et le principe d'analyse de risques selon le synoptique en Figure 1.

L'**aléa** est le phénomène à l'origine du risque qui peut se produire ou non au cours de la vie de l'ouvrage.
En raison de sa nature incertoine, un alea est en général caractérisé par une probabilite d'occurrence associée à une période de retour et à une intensité (s'il existe suffisamment de données).

A défaut, il est possible de définir l'intensité de l'aléa par une fourchette de valeurs et, éventuellement, pour diterentes probabilités d'occurrence et périodes de retour. Il est ainsi possible d'apprécier l'effet de ces facteurs sur le niveau de risques.

La **vulnérabilité** est la « propriété intrinsèque de quelque chose entraînant une sensibilite à une source de risque pouvant induire un évènement avec une conséquence » ou plus simplement la sensiblite d'un ouvrage vis-a-vis de l'aléa.

La vulnérabilité est une notion dépendant de l'aléa concerné et de l'ouvrage. Ainsi, une passerelle piétonne métallique, légère, sera beaucoup plus vulnérable à un impact de véhicule hors gabarit qu'un pont cadre en béton. La vulnérabilité dépend également de la conception de l'ouvrage et de son état à un instant donné.

La combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité caractérise la probabilité de défaillance appelée **criticité** de la structure.

La **gravité des conséquences** s'apprécie en fonction des bilans socio-économique et/ou environnementaux qui résulteraient de la défaillance de l'ouvrage.

Une conséquence peut être certaine ou incertaine et peut avoir des effets positifs ou negatits, directs ou indirects, sur l'atteinte des objectits ; les conséquences peuvent être expimées de façon qualitative ou quantitative ; toute conséquence peut déclencher des effets en cascade et cumulatifs.

Ils agit donc de comptabiliser les dommages subis par les ouvrages à la fin de l'évènement. Cela inclut les dommages directs (conséquences humaines et dégâts de l'ouvrage entre autres), mais aussi les ettets socio-économiques induits ou les atteintes à l'environnement. Les conséquences ne se limitent donc pas à celles sur l'ouvrage en tant que tel, mals également à celles pour la collectivité de manière plus générale.

En combinant la criticité d'un ouvrage avec la gravité des conséquences (enjeu), on définit différents **niveaux de risques** qui doivent permettre au gestionnaire d'établir une stratégie de surveillance, d'entretien et de réparation.

➤ *Figure 1 : Définitions et principe général de l'analyse de risques*

1.3 Illustration

Pour illustrer ce principe, et faire écho au synoptique de l'analyse de risques présenté plus haut, on peut représenter le processus d'analyse de risques à l'aide des matrices suivantes définissant les classes de criticité (C1 à C4) et les classes de risques (R1 à R3).

Remarque : Il s'agit bien d'une illustration car les nombres de classes de vulnérabilité, de criticité et de risques, ainsi que les limites des zones colorées dans ces deux tableaux, peuvent varier selon le type d'analyse que l'on souhaite mener.

Classe de criticité		Classe de criticité				
		Très peu vulnérable	Peu vulnérable	Correct	Vulnérable	Très vulnérable
Classe d'aléa		1	2	3	4	5
0-20	Aléa faible	C1	C1	C2	C3	C3
20-40	Aléa modéré	C1	C2	C2	C3	C3
40-60	Aléa assez élevé	C2	C2	C3	C3	C4
60-80	Aléa élevé	C3	C3	C3	C4	C4
> à 80	Aléa très élevé	C3	C3	C4	C4	C4

Niveaux d'enjeux
1-normaux
2-élevés
3-très élevés

Classe de risques	Classe de criticité			
Niveaux d'enjeux	C1	C1	C3	C4
	Ouvrage non critique	Ouvrage peu critique	Ouvrage critique	Ouvrage très critique
1-normaux	R1	R1	R2	R3
2-élevés	R1	R1	R2	R3
3-très élevés	R1	R2	R3	R3

➤ *Figure 2 : Application - Extrait du guide IMGC « Maîtrise des risques par l'instrumentation » [28]*

Cette approche, qui conduit à hiérarchiser les ouvrages par classes de risques, guide le maître d'ouvrage dans l'élaboration de la stratégie de gestion de son parc d'ouvrages d'art.

Chapitre 2.

ANALYSE DE RISQUES APPLIQUÉE À LA GESTION DES OUVRAGES D'ART

> > > >

< < < <

2.1 Objectifs de l'analyse de risques

L'analyse de risques facilite une **approche stratégique de la gestion** des ouvrages d'art.

Dans le cas de la gestion d'un parc d'ouvrages d'art, l'analyse de risques consiste à :

- identifier au sein du parc les ouvrages, ou familles d'ouvrages, qui pourraient présenter un risque de défaillance en service ;
- hiérarchiser les ouvrages identifiés par ordre d'importance, ou par « classes de risques », afin de mettre en place un **plan d'action** stratégique pour la maîtrise des risques.

Ce **plan d'action** peut consister à (i) mettre en place des actions de surveillance spécifiques pour anticiper ou détecter l'apparition d'anomalies de comportement devant alerter le gestionnaire ou (ii) à engager un programme d'investigations dans l'objectif de mieux apprécier les risques encourus pouvant conduire à réaliser des opérations préventives pour réduire ou supprimer les risques, ou à en limiter les conséquences (réalisation de travaux sur l'ouvrage, modification des conditions d'exploitation).

Les principaux objectifs de la démarche visent à :

- garantir l'exploitation des ouvrages (en évitant une limitation de tonnage imprévue, ou une fermeture de l'ouvrage à la circulation) ;
- provisionner de futurs coûts de maintenance exceptionnels (comme la réalisation de travaux de confortement pour sécuriser un ouvrage en urgence, par exemple) ;
- améliorer la méthode de gestion, par l'introduction de nouveaux indicateurs ;
- optimiser le processus de surveillance.

Remarque : en pratique, et pour ce qui concerne la gestion des ouvrages d'art en particulier, il ne faut pas confondre « risque » et « catastrophe », ni associer systématiquement la notion de « risque » (telle qu'issue de l'analyse proposée) à celle d'un danger imminent. En effet, à l'exception des ouvrages qui nécessitent des mesures d'urgence (et qui de ce fait sortent momentanément de l'analyse), la requalification du risque n'est pas toujours possible à court terme. En revanche, l'analyse de risques doit permettre au gestionnaire de focaliser son attention et ses moyens sur les ouvrages les plus sensibles du fait d'une probabilité d'évènements indésirables élevée.

On peut distinguer trois niveaux de méthodologies d'analyse de risques selon leur champ d'application :

» **l'analyse de risques à l'échelle d'un ouvrage particulier ;**

» **l''analyse de risques à l'échelle d'une famille d'ouvrages ;**

» **l'analyse de risques à l'échelle du parc d'ouvrages d'art.**

2.2 Analyse de risques à l'échelle d'un ouvrage particulier

L'analyse de risques à l'échelle d'un ouvrage particulier est déclenchée par un événement ou une demande du maître d'ouvrage. Elle concerne a priori des grands ouvrages emblématiques mais peut aussi concerner des ouvrages plus courants qui présenteraient des enjeux de gestion particulièrement délicats.

Cette analyse « détaillée » peut suivre la démarche du guide SETRA « Maîtrise des risques - Application aux ouvrages d'art » [06] suivant les enjeux et le degré de finesse souhaités.

En tout état de cause, le traitement d'un ouvrage particulier relève d'une expertise développée « à la demande » suivant un programme préétabli et pertinent. Une telle approche se révèle particulièrement utile à l'argumentation de scénarios de gestion.

Ce type d'analyse peut être une conséquence, voire une déclinaison, de l'analyse de risques à l'échelle du parc ou d'une famille d'ouvrages ; elle n'est pas traitée dans ce livret.

2.3 Analyse de risques à l'échelle d'une famille d'ouvrages

2.3.1 Principe et référentiel technique

Cette approche développée par le Cerema s'applique à des groupes ou à des familles d'ouvrages présentant la même typologie (comprendre même type de matériau, ou de structure) ou concernés par un même aléa.

Cette approche permet de hiérarchiser les ouvrages par classes de risques dans le champ d'application considéré. Les analyses doivent être menées en parallèle sur l'ensemble des ouvrages d'un même groupe pour avoir une vision plus large à l'échelle du parc.

Ces analyses de risques par famille présentent l'intérêt de ne pas se limiter au seul Indice d'Etat Apparent (cf. Livret 1) pour hiérarchiser les ouvrages ; en effet, cet indice n'est pas suffisant dans le cas de familles d'ouvrages dites « à risques ». Les catégories de risques, qui résultent d'une analyse portant sur l'état de l'ouvrage, et sur un ensemble de données complémentaires (matériaux et procédés, environnement et exploitation des ouvrages, dimensionnement…) sont plus pertinentes pour procéder à cette hiérarchisation.

Il est à noter que si ces études de risques par groupes ou familles peuvent alimenter l'analyse de risques développée dans le présent livret, appliquée à l'ensemble du parc de ponts, cette dernière s'applique non pas seulement au tablier (cas des VIPP par exemple) mais à l'ensemble de l'ouvrage (appuis et tablier). Ces deux analyses ne s'excluent donc pas l'une de l'autre mais sont complémentaires (attention cependant, la construction des indicateurs n'est pas identique du fait de la généralisation souhaitée à l'analyse de l'ensemble du parc).

Le référentiel actuel du Cerema [02] concerne des ouvrages jugés particulièrement sensibles soit par leur typologie (VIPP, ponts en maçonnerie, buses métalliques, etc..), soit par leurs aléas spécifiques et à forts impacts (sites affouillables, incendies…).

Sans entrer dans le détail des méthodologies décrites dans les guides de Cerema, nous rappelons ci-après les grands principes de l'analyse de risques par groupe ou famille d'ouvrages.

2.3.2 Déroulement général de l'analyse par famille d'ouvrages

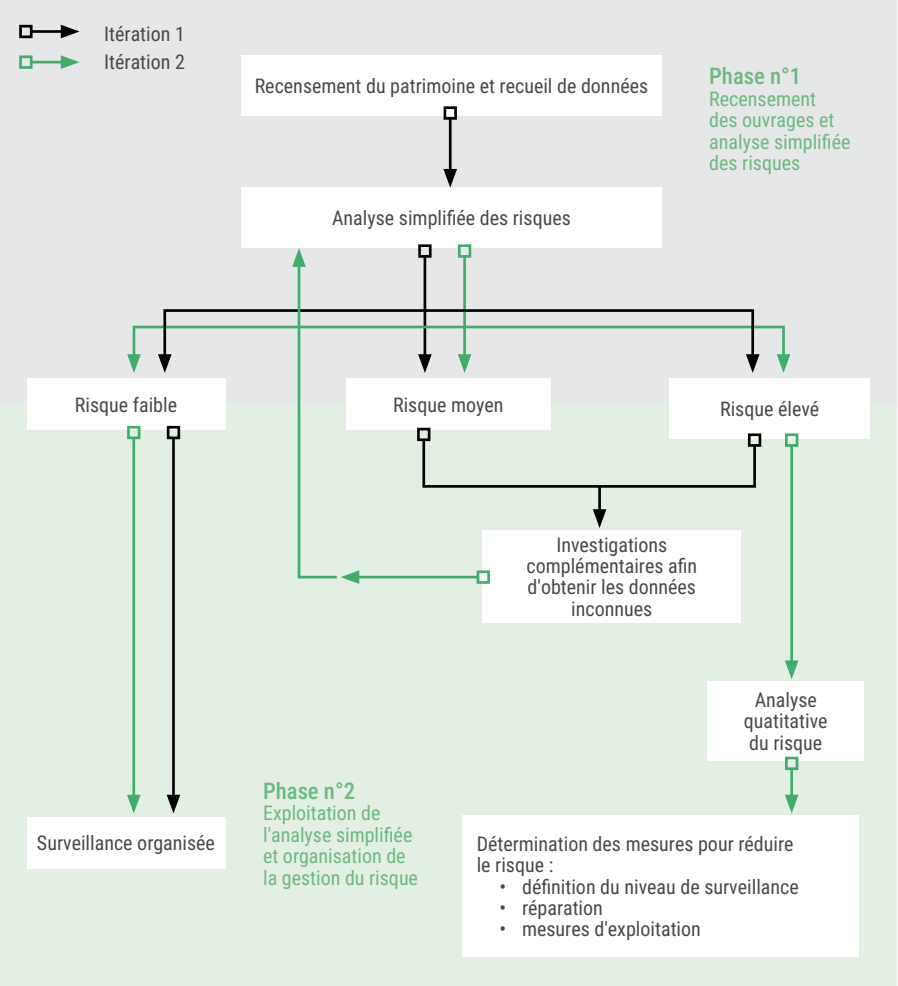
L'analyse de risques par famille d'ouvrages comporte deux phases principales (cf. Figure 3).

La première phase consiste à collecter les données techniques permettant de mener une « analyse simplifiée » des risques, par application des méthodologies développées dans les guides Cerema [02]. Cette phase conduit à classer les ouvrages considérés en trois catégories de risques (risque faible, risque moyen, risque élevé).

La seconde phase consiste à exploiter les résultats de l'analyse simplifiée afin d'organiser la gestion des risques. Les ouvrages à risque faible continuent d'être inspectés suivant le régime de surveillance courant, tandis que les ouvrages à risque moyen ou élevé demandent une phase d'évaluation complémentaire pour confirmer ou revoir la catégorisation obtenue. Cette seconde phase d'analyse nécessite généralement le recueil d'informations plus précises (recherche d'archives, analyse approfondie des dossiers d'ouvrages, inspection détaillée de tout ou partie de l'ouvrage).

Pour les ouvrages qui seraient confirmés comme étant à niveau de risque élevé, une phase complémentaire « d'analyse de risques détaillée » peut s'avérer nécessaire, pouvant conduire à une réévaluation approfondie par le calcul, ou à la réalisation d'un diagnostic matériaux, par exemple.

Cette démarche par étapes successives permet d'optimiser les moyens et les coûts.



➤ *Figure 3 : Organisation de l'analyse de risques en phases successives d'après le guide Cerema « Ponts en situation de crue » [02]*

2.4 Analyse de risques à l'échelle d'un parc d'ouvrages d'art

2.4.1 Motivations

L'application des méthodes d'analyse de risques, au moyen des méthodologies présentées plus haut, nécessite d'avoir une bonne connaissance du parc géré et de ses caractéristiques (typologie, géométrie, matériaux des ouvrages).

En première approche, ces analyses demeurent trop sophistiquées pour des maîtres d'ouvrage qui ne disposent que d'un simple inventaire (voire d'un inventaire incomplet), qui débutent dans la structuration de leur gestion (ou qui reprennent de nouveaux ponts en gestion), pour lesquels le fait de disposer d'un inventaire et d'un indice d'état apparent (IEA) est déjà considéré comme une première approche de gestion. En outre, pour des parcs « courants » constitués de quelques dizaines d'ouvrages d'art, avec des typologies hétérogènes, l'application des méthodes documentées, qui concernent des groupes d'ouvrages spécifiques, ne permet pas forcément d'identifier les ouvrages à risques à l'échelle du parc.

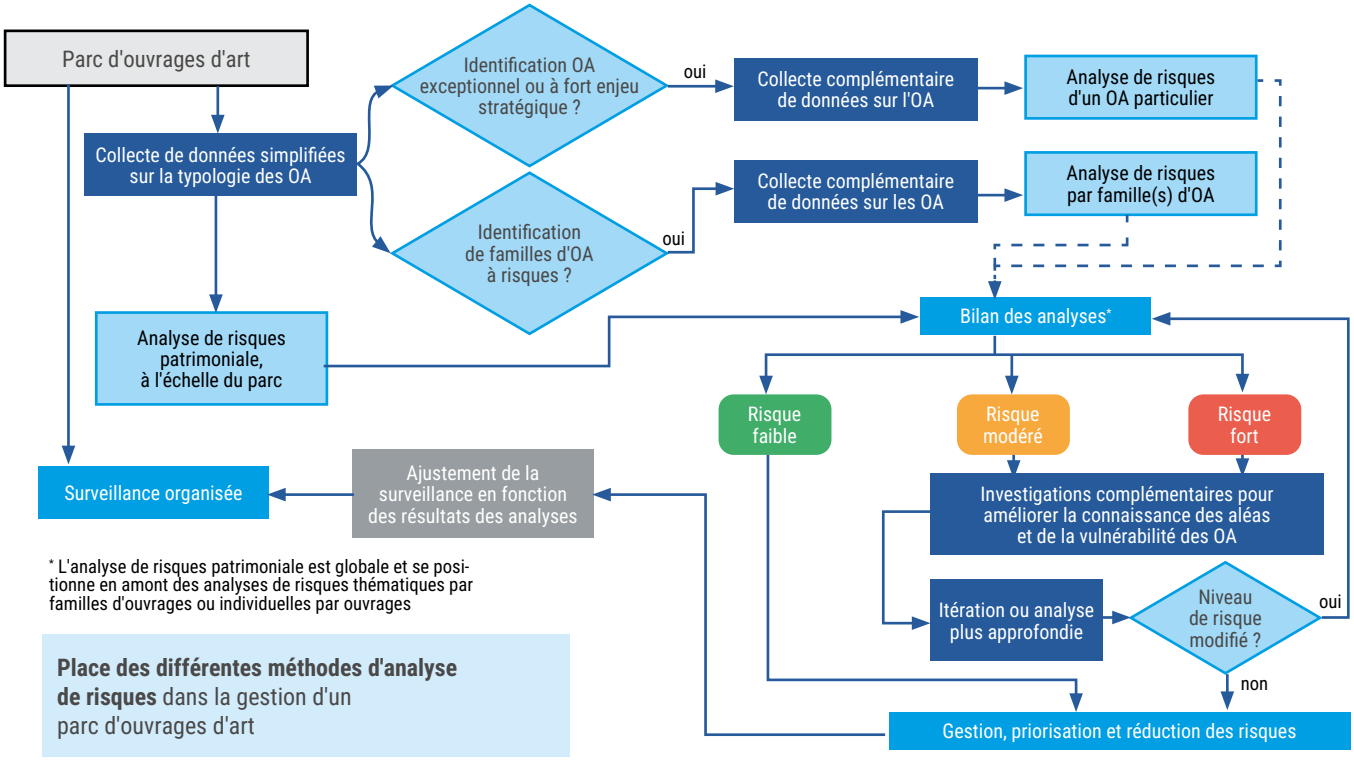
Une approche complémentaire aux méthodes d'analyses développées pour les groupes ou familles d'ouvrages présente donc un intérêt en particulier pour ces gestionnaires, ou pour d'autres plus avancés dans la démarche, afin de détecter les ouvrages sur lesquels leur attention doit être focalisée.

Une telle approche, basée sur l'utilisation d'informations simples, est désignée ici par « analyse de risques patrimoniale ». Elle s'apparente plutôt à une analyse de risques dite simplifiée mais généralisée à un ensemble d'ouvrages, avec des indicateurs homogènes.

Cette analyse patrimoniale à l'échelle du parc est l'objet de ce livret. Elle permet de s'appuyer sur une méthodologie pour réaliser l'appréciation initiale des risques, que la plupart des gestionnaires font de manière plus ou moins intuitive.

Pour des parcs déjà pris en main et gérés, l'analyse patrimoniale est menée indépendamment des analyses de risques spécifiques par ouvrage ou par famille d'ouvrages. Pour des parcs en cours de constitution, elle s'entend comme une approche « exploratoire » lors de la prise en main du parc.

On peut résumer la place de l'analyse de risques patrimoniale, à l'échelle du parc, par le logigramme suivant :



➤ *Figure 4 : Place des différentes méthodes d'analyses de risques dans la gestion d'un parc d'ouvrages d'art*

Remarque : bien entendu, l'application de l'analyse de risques ne se substitue en aucun cas à la surveillance organisée, notamment compte tenu du caractère systématique de cette dernière. Cependant l'analyse de risques doit permettre des ajustements plus précis de celle-ci, comme par exemple, la fréquence des inspections.

2.4.2 Méthodologie d'analyse de risques patrimoniale

Pour conduire la démarche d'analyse de risques appliquée à un parc dans son ensemble, on examine successivement les ouvrages suivant trois critères, à savoir :

- leur morphologie, dont on déduit la robustesse de l'ouvrage (ROB), suivant le matériau constitutif principal et la typologie de structure du tablier (ROBT) et des appuis (ROBA) ;
- leur état apparent de conservation (ETA) ;
- le contexte environnant (ENV), qui représente les aléas « les plus probables » auxquels les ponts sont soumis, notamment en termes de sensibilité et d'agreessivité.

Note importante

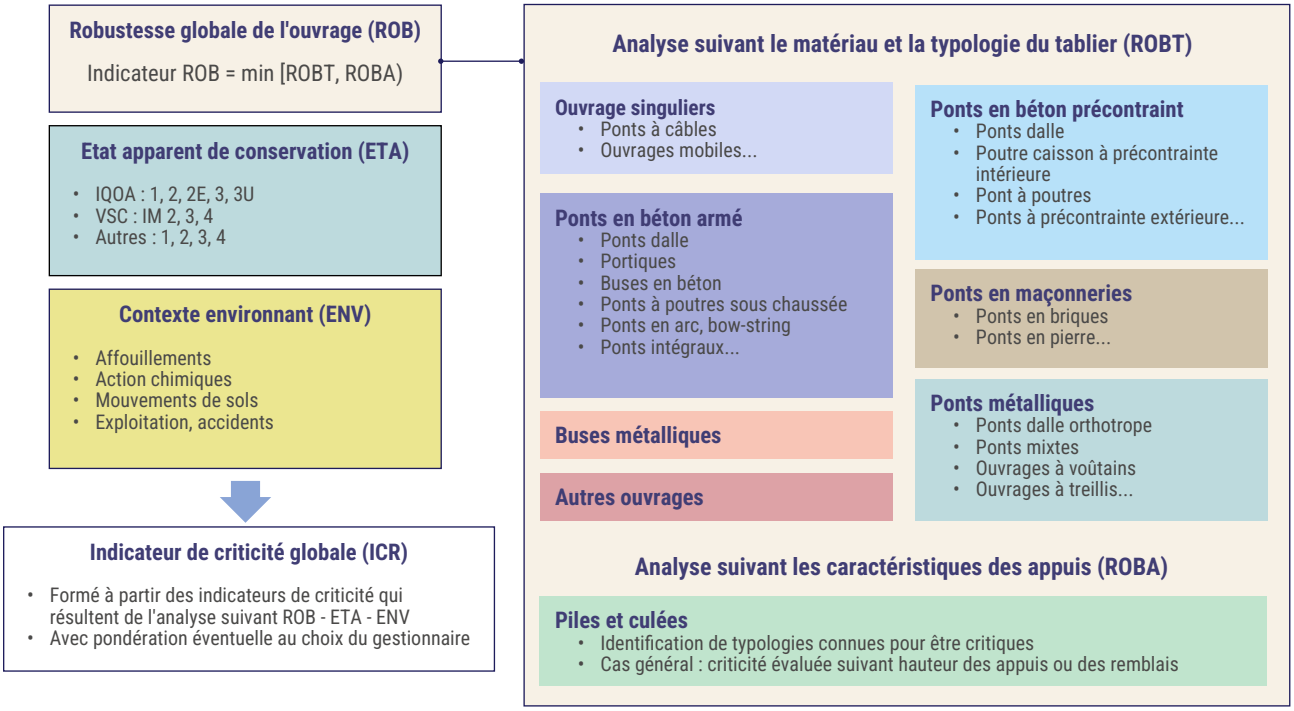
Afin de simplifier la démarche, la méthodologie d'analyse de risques patrimoniale développée dans ce livret déroge volontairement au principe classique des analyses de risques qui prévoit un croisement de l'aléa et de la vulnérabilité pour déterminer la criticité de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage considérée.

Ici la criticité est définie d'emblée à partir de différents critères qui croisent, implicitement ou explicitement, aléas et vulnérabilité (ou robustesse).

Le paramètre de contexte environnant, qui constitue habituellement un aléa, est considéré ici comme un critère d'analyse à part entière.

Le paramètre de vétusté, qui traduit la diminution de l'aptitude d'un ouvrage dans le temps par la dégradation progressive des matériaux, n'est pas considéré en tant que tel dans l'analyse. Il s'est en effet avéré impossible de proposer une loi qui permette de caractériser ce paramètre compte tenu de la très forte variabilité des facteurs qui conditionnent la vétusté d'un ouvrage (qualité initiale de construction, nature des matériaux constitutifs, environnement / exposition, conditions d'usage, niveaux d'entretien au cours de la vie de l'ouvrage). Les critères d'analyse proposés intègrent cependant, de manière implicite, ces différents paramètres.

De manière générale, il est possible d'adapter la méthodologie d'analyse patrimoniale proposée dans ce qui suit, en fonction de la typologie du parc géré.



➤ *Figure 5 : Critères d'analyse entrant en jeu dans l'analyse de risques patrimoniale*

2.4.3 Etapes de l'analyse

La méthode d'analyse de risques patrimoniale développée dans la suite du document repose sur les mêmes mécaniques que les méthodes d'analyse de risques présentées plus haut et comprend :

Etape 1 (cf. chapitre 3) : évaluation du **niveau de criticité** des ouvrages, par l'attribution d'un « indicateur de criticité » **ICR**, d'après l'analyse qualitative de la robustesse des ouvrages (ROB), de leur état apparent (ETA) et du contexte environnant (ENV) ;

Etape 2 (cf. chapitre 4) : catégorisation des ouvrages par **classes de risques**, après évaluation de la gravité des conséquences en cas de défaillance, en s'appuyant sur l'indicateur Socio-Economique ISE (cf. chapitre 4).

L'analyse est menée en écartant au préalable les ouvrages singuliers du parc qui, en raison de leur importance ou de leur typologie, doivent être étudiés au cas par cas (ouvrages exceptionnels, grands viaducs, ouvrages à câbles, etc).

2.5 Prise en considération de l'expérience des défaillances passées

Des défaillances de ponts se produisent régulièrement : elles résultent de conceptions déficientes, de défauts de construction, d'utilisation inadaptée voire abusive, de défauts de maintenance, de l'endommagement des matériaux, d'actions environnementales intenses et/ou soudaines (telles que le vent, les inondations, les séismes) ou encore de chocs sur les structures (liés à la circulation routière ou à la navigation).

Ces défaillances sont souvent singulières et spécifiques mais révèlent parfois des défauts récurrents d'un même type de structure ou de dispositions constructives relatives à des ouvrages construits à une même époque. Certaines dispositions ou conceptions sont connues pour, potentiellement, présenter des désordres spécifiques. Il convient donc d'y porter un regard attentif dans la préparation de l'analyse de risques et le déroulement de ses différentes étapes.

Au-delà des fascicules techniques de l'ITSEOA qui rassemblent, pour chaque type d'ouvrage, l'ensemble des informations utiles en ce domaine (aspects historiques, dispositions et conceptions « à risque », conduite à tenir…), le Cerema édite régulièrement des « Notes d'information » qui constituent autant d'alertes utiles aux gestionnaires sur les particularités de telle disposition constructive ou de telle situation nouvellement identifiée comme réputée « à risque ».

Les conférences, les clubs de gestionnaires d'ouvrages, sont autant d'instances qu'il ne faut pas négliger de fréquenter pour maintenir une veille technique et se tenir informé et partager des expériences.

De même, dans ce but, **l'ingénierie forensique** permet de découvrir de nouvelles vulnérabilités et a pour objectif d'anticiper les défaillances et d'améliorer les performances. Plusieurs organismes ont récemment réalisé des travaux sur ce sujet. On peut entre-autres citer les publications suivantes :

- AIPCR. Analyse et gestion des risques appliquée aux ponts, 2016 [19]
- AIPCR. Les défaillances imprévisibles d'infrastructures, 2018 [20]
- AIPCR. Inspection and damage assessment technique - Case studies, 2018 [21]
- AIPCR. Forensic Engineering for Structural Failures - Technical Report, 2023 [22]
- CIRIA. Hidden defects in bridges - Guidance for detection and management, 2017 [23]
- IABSE. Case Studies reports (CS1 à CS4) [24]

Les études réalisées ont notamment permis d'identifier des causes récurrentes à l'origine des défaillances recensées. Les défauts de conception et la qualité d'exécution des travaux et de mise en œuvre des matériaux apparaissent comme les deux causes les plus fréquentes.

Chapitre 3.

ÉTAPE 1 : ATTRIBUTION DE L'INDICATEUR DE CRITICITE

3.1 Formation de l'indicateur de criticité ICR

La méthode qui est ici proposée consiste à associer à chacun des ouvrages du parc un indicateur de criticité ICR à partir des paramètres suivants :

- la robustesse intrinsèque de l'ouvrage et la typologie de l'ouvrage (ROB) ;
- l'état apparent de conservation (ETA) ;
- le contexte environnant (ENV).

Cet indicateur de criticité reflète le fait qu'un ouvrage peu robuste, en mauvais état et situé dans un environnement réputé « à risques » méritera une vigilance particulière de la part du gestionnaire, en vue d'approfondir l'évaluation pour mieux apprécier les risques encourus.

3.2 Robustesse de l'ouvrage (ROB)

3.2.1 Définition

La **robustesse** caractérise, au sens de ce livret, l'aptitude de la structure d'un ouvrage à faire face aux différents aléas qu'il subit pendant sa durée de vie (aléas climatiques, évolution des trafics, etc..). La robustesse traduit le fait que certains types de ponts sont plus ou moins sensibles aux aléas environnants du fait de leur conception, de leurs dimensions et des matériaux utilisés.

On distinguera la robustesse des appuis et la robustesse du tablier. En effet, techniquement la robustesse du tablier n'est pas nécessairement la même que la robustesse de ses appuis.

Le coefficient de robustesse global de l'ouvrage est déterminé en retenant le minimum du coefficient de robustesse du tablier (CROBT) et du coefficient de robustesse du système d'appuis, piles et culées (CROBA).

3.2.2 Coefficient de robustesse du tablier CROBT

Depuis l'avènement des Eurocodes et des normes modernes de conception et de contrôle des matériaux et constructions, les ouvrages sont conçus avec une fiabilité suffisante pour assurer la durée de vie projetée. Mais il n'en est pas de même pour les ouvrages les plus anciens et il est nécessaire de distinguer les ouvrages suivant leur époque de construction en considération des développements technologiques ou théoriques contemporains.

Par exemple, en France, les périodes et étapes significatives sont les suivantes :

- 1953 : Instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint
- 1960 : apparition progressive de règlements et de normes de contrôle des matériaux (en particulier de tous les types d'acier) et des constructions, application du Fascicule 61 Titre II du CPC pour les charges routières ;
- 1965 : mise en place d'une « Commission Permanente d'Agrément de la précontrainte » permettant d'encadrer la distribution des procédés de précontrainte, application du premier règlement de calcul des ouvrages en béton précontraint (IP1) malgré des insuffisances corrigées en 1975 ;

- 1965-1970 : mise en place généralisée des dossiers pilotes de conception du SETRA (« pont types ») et de programmes de calcul automatique des ouvrages d'art courants ;
- 1975 : modification de l'IP1 en ce qui concerne la prise en compte des effets thermiques, du fluage du béton et de la diffusion des efforts concentrés ;
- 1983 : application du BAEL et surtout du BPEL pour le calcul moderne des ponts en béton précontraint ;
- 1990 : application progressive de règles de calcul à la fatigue des ouvrages métalliques ;
- 2002 : interdiction de l'injection des conduits de précontrainte extérieure par des produits rigides ;
- 2010 : application des Eurocodes.

Le coefficient de robustesse proposé prend en compte la typologie de construction en distinguant les périodes de construction les plus discriminantes. Les périodes proposées ne sont pas intangibles et il est fréquent que les concepteurs aient pu anticiper certaines règles ou au contraire les aient ignorées durant quelques années. L'examen du dossier d'ouvrage permet alors de confirmer l'appartenance d'un ouvrage à un modèle « historique » donné.

Le coefficient de robustesse est normé à 1 pour les ouvrages portiques et ponts intégraux en béton armé considérés comme les plus robustes. Dans leur ensemble, les ouvrages les plus récents tendent vers un coefficient de robustesse entre 0,8 et 1.

La robustesse des ponts en maçonnerie est à considérer avec prudence : nombre d'entre eux ont été construits avec des typologies et des formes très diverses mais seuls les ouvrages les plus robustes subsistent. Le coefficient proposé peut être modulé par le gestionnaire suivant son expérience sur les ouvrages dont il a la charge.

CAS	TYPOLOGIES D'OUVRAGE PAR PÉRIODES	COEFFICIENT DE ROBUSTESSE PAR PÉRIODE DE CONSTRUCTION		
1	Ponts suspendus et à haubans	Avant 1970 : 0,5	Après 1970 : 0,7	Après 1990 : 0,8
2	Ouvrages métalliques (poutres ou caissons sous chaussée) à dalle béton, ou mixte, ou orthotrope	Avant 1960 : 0,6	1960-1990 : 0,7	Après 1990 : 0,8
3	Autres ouvrages métalliques (ouvrages historiques, voutains, treillis…)	Avant 1960 : 0,5	1960-1990 : 0,6	Après 1990 : 0,8
4	Ponts à poutres en béton précontraint	Avant 1970 : 0,5	1970-1983 : 0,7	Après 1983 : 0,8
5	Ponts caisson en béton précontraint	Avant 1970 : 0,6	1970-1983 : 0,7	Après 1983 : 0,8
6	Ponts BP comportant une précontrainte extérieure à injection rigide	Avant 1983 : 0,5	Après 1983 : 0,6	
7	Ponts BP comportant une précontrainte extérieure entièrement injectée avec un produit souple	Avant 1970 : 0,6	1970-1983 : 0,7	Après 1983 : 0,8
8	Ponts dalle en béton précontraint	Avant 1970 : 0,6	1970-1983 : 0,7	Après 1983 : 0,9
9	Ponts dalle BA et portique BA, ponts intégraux BA	Avant 1970 : 0,7	1970- 1983 : 0,8	Après 1983 : 1,0
10	Ponts à poutres en BA	Avant 1970 : 0,6	1970- 1983 : 0,7	Après 1983 : 0,8
11	Ponts à poutrelles enrobées	Avant 1960 : 0,6	1960- 1983 : 0,8	Après 1983 : 1,0
12	Grands ouvrages en BA (bowstring, structures articulées, arcs…)	Avant 1970 : 0,6	1970-1983 : 0,7	Après 1983 : 0,8
13	Buses métalliques	Avant 1975 : 0,5	Après 1975 : 0,7	
14	Ponts entièrement en maçonnerie de briques	Avant 1900 : 0,7	Après 1900 : 0,8	
15	Ponts entièrement en maçonnerie de pierres	Avant 1900 : 0,8	Après 1900 : 0,9	

➤ *Tableau 1 : Grille de coefficients de robustesse du tablier*

Remarques :

- *Cas 1 : valeurs indicatives, car les ouvrages à câbles sont à exclure de l'analyse de risques patrimoniale compte tenu de leur caractère particulièrement à risques*
- *Cas 4 et 5 : dans le cas d'ouvrages qui comportent une précontrainte extérieure (d'origine ou par suite d'une réparation), considérer le cas éventuellement plus défavorable n°6*

3.2.3 Coefficient de robustesse des appuis CROBA

Hormis le cas particulier d'appuis connus pour être critiques, comme les piles comportant des futs isolés de faibles dimensions et les culées fondées superficiellement sur un remblai en sol renforcé, la robustesse sera principalement évaluée en fonction de la hauteur des remblais (au droit des culées) ou de la hauteur des appuis intermédiaires.

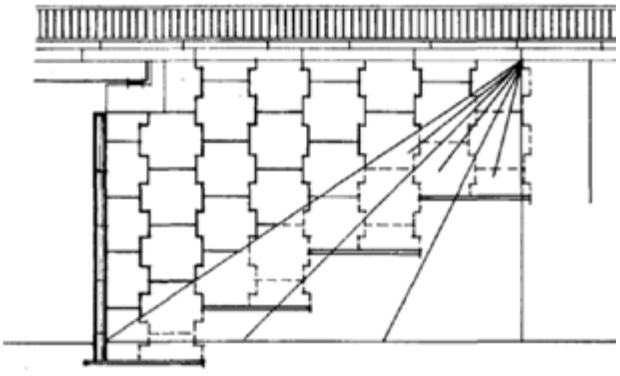
TYPES D'APPUIS INTERMÉDIAIRES	TYPES DE CULÉES	HAUTEUR DES APPUIS INTERMÉDIAIRES OU DU REMBLAI AU DROIT DES CULÉES	COEF. DE ROBUSTESSE
Fûts ou poteau BA de faibles dimensions (<0,6m) Piles en maçonnerie de faibles dimensions (<0,6m)	Appuis superficiels en tête de remblais en sol renforcé	Quelle que soit la hauteur	0,5
Fûts ou poteaux BA de faibles dimensions (0,6m-0,8m) Piles en maçonnerie de faibles dimensions (0,6m-0,8m) Voiles BA de moins de 0,6m	-	Quelle que soit la hauteur	0,7
Tous les autres types d'appuis	Autres types de culées	Plus de 9m	0,75
Tous les autres types d'appuis	Autres types de culées	5m-9m	0,85
Tous les autres types d'appuis ou pas d'appuis intermédiaire	Autres types de culées	<= 5m	1,0

➤ *Tableau 2 : Grille de coefficients de robustesse des appuis*

Remarque : il s'agit ici de la robustesse structurale intrinsèque des appuis indépendamment de tout contexte environnemental (hydraulique, géotechnique…) ou d'usage (chocs, trafic…) pris en compte par ailleurs (cf. indicateur de criticité du contexte environnant CENV).



Exemple d'une pile comportant des fûts isolés



Exemple d'une culée fondée sur un remblai en sol renforcé

3.2.4 Coefficient de robustesse globale de l'ouvrage CROB

Le coefficient de robustesse globale de l'ouvrage CROB est obtenu en retenant le coefficient minimal de robustesse du tablier et des appuis, soit :

$$C_{ROB} = \min (C_{ROBT}, C_{ROBA})$$

3.3 État apparent de conservation de l'ouvrage (ETA)

3.3.1 Définition

Le coefficient relatif à l'état de conservation de l'ouvrage CIEA est déterminé à partir de son indice d'état apparent (indice IEA), suivant le référentiel de cotation utilisé par le gestionnaire (IQOA, VSC ou autre). Ce coefficient CIEA est ensuite affecté par un coefficient d'incertitude CINC qui dépend de la fiabilité sur le niveau de connaissance de l'état de l'ouvrage.

3.3.2 Coefficient d'état apparent CIEA

L'état de conservation de l'ouvrage est caractérisé par l'indice d'état apparent IEA issu du processus de surveillance du parc (cf. Livret 1).

Selon le référentiel IQOA [12]

Le référentiel IQOA comprend une échelle de cotation de l'état apparent sur 5 niveaux. Suivant cette échelle, le coefficient relatif à l'état de conservation de l'ouvrage CIEA est proposé comme suit :

CLASSE IQOA	DÉFINITION	VALEUR C_{IEA}
1	Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art	1,00
2	Ouvrage dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence	0,95
2E	Ouvrage, dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3	0,85
3	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence	0,70
3U	Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance	0,50

➤ *Tableau 3 : Grille de coefficients d'état apparent selon le référentiel de cotation IQOA*

Cas particuliers :

- **Cotation 3U :** Il doit être rappelé que les ouvrages classés 3U (et parfois les ouvrages classés 3) sont à risque « élevé avéré » et nécessitent, a minima, un approfondissement de la connaissance de leur état au moyen d'un diagnostic adapté et, parfois, des mesures d'urgence. A court terme, l'opportunité de traitement de ces ouvrages ne relève pas d'une étude de risque mais d'un diagnostic. **Le coefficient CIEA attribué ne représente donc pas la cotation du risque « à ne pas traiter ».** Pour autant, dans la mesure où le classement 3U (après confirmation) met en évidence une dégradation spécifique, il peut être utile, dans le cadre d'études d'un bilan patrimonial global, d'intégrer ces ouvrages dans l'analyse avec le coefficient CIEA proposé. En outre, le plus souvent, la note 3U persiste au-delà des mesures de gestion prises et jusqu'à la réalisation des travaux.
- **Mention S :** la mention S caractérise également un risque avéré mais doit impérativement être traitée, même de manière provisoire. La mention S n'est pas reprise dans la cotation de CIEA.

Selon le référentiel VSC [17]

L'indice d'état IE de la méthode VSC est basé sur les indices d'état mécanique (IEm) et indices d'état d'usage (IEu). La cotation de la gravité des indices est inverse de celle d'IQOA (indice 1 le plus grave, 4 le moins grave).

Il est à noter que, pour VSC, un indice d'état IE = 1 (IEm=1 ou IEu= 1) est considéré comme une alerte pour la mise en œuvre d'actions immédiates (et non applicable à une programmation) à l'instar de la mention S du référentiel IQOA. Il est donc plus contraignant que la mentions 3U de IQOA qui peut persister une fois des mesures de gestion mises en œuvre. En principe, selon VSC, aucun ouvrage « en service » ne peut être affecté, durablement, d'un indice 1. Dès que des actions immédiates sont prises (y compris des mesures de sauvegarde), l'indice peut remonter à 2. Aussi, il convient de veiller à ce que la note effective ne cache pas un état vrai moins favorable.

Les remarques portées sur la signification du coefficient C_{IEA} pour les ouvrages classés en 3U s'appliquent également aux ouvrages classés IEM=2 mais l'état d'usage n'est pas repris dans l'estimation du coefficient C_{IEA},

En considérant uniquement l'indice IEm, le coefficient C_{IEA} peut être déterminé de la façon suivante :

CLASSEMENT VSC	DÉFINITION	VALEUR C_{IEA}
IEm= 4	Bon état (entretien courant)	1,0
IEm= 3	Entretien préventif (structure)	0,75-0,85
IEm= 2	Traitement curatif	0,50-0,75
IEm = 1	Traitement urgent en vue d'un reclassement vers un indice supérieur	Sans objet suivant cette méthode

➤ *Tableau 4 : Grille de coefficients d'état apparent selon le référentiel de cotation VSC*

Selon d'autres référentiels

Le plus souvent, les référentiels s'appuient sur une échelle à quatre niveaux telle que celle proposée par l'IDRRIM dans le cadre de l'ONR [27]. Dans ce cas, le coefficient C_{IEA} proposé pourra être fixé comme suit :

COTATION	DÉFINITION	VALEUR C_{IEA}
1	Ouvrage en bon état structurel	1,00
2	Ouvrage dont la structure présente des défauts nécessitant des travaux d'entretien spécialisé	0,85
3	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation	0,70
4	Ouvrage dont l'altération de la structure peut conduire à une réduction de la capacité portante à court terme	0,50

➤ *Tableau 5 : Grille de coefficients d'état apparent selon le référentiel de cotation ONR*

Remarque : ouvrages sans cotation

Dans le cas d'un ouvrage non évalué, qui ne dispose pas d'une note d'état, ou dont l'évaluation est trop ancienne, il convient d'attribuer à C_{IEA} une valeur de 0,50 dans l'objectif de faire ressortir l'ouvrage afin de déclencher une action de surveillance.

3.3.3 Prise en compte de l'incertitude liée à la problématique des parties d'ouvrages non inspectées

Un parc d'ouvrages comporte toujours des ouvrages non visités en tout ou partie (mais visitables) et des parties d'ouvrages non visitables (ou difficilement visitables). En termes d'estimation des risques, dans le cadre de cette méthode d'analyse patrimoniale, ces deux notions ne sont pas équivalentes.

Ouvrages ou parties d'ouvrages non visités (mais visitables)

En général, les ouvrages classés « non visités en tout ou partie » le sont pour des raisons opérationnelles :

inadéquation des moyens d'accès (sans utilisation de nacelle élévatrice, ou de passerelle négative) ;

parties difficilement accessibles (comme l'intérieur d'un caisson de faible hauteur, ou d'une culée creuse) ;

parties masquées par de la végétation qui auraient nécessité des travaux de nettoyage préalables ;

conditions hydrauliques inappropriées ;

parties seulement visitables avec des aides « optiques » (caméra déportée, drone, endoscope…) qui relèvent encore du cadre d'une inspection détaillée périodique.

Dans le cas où l'ouvrage n'aurait pas été inspecté en intégralité, il y a lieu de moduler le coefficient d'état apparent C_{IEA} suivant le niveau de connaissance de l'état de l'ouvrage que l'on peut avoir. Pour intégrer cette notion, il est proposé de multiplier C_{IEA} par un coefficient d'incertitude C_{INC} qui peut prendre les valeurs suivantes :

CLASSE IQOA	DÉFINITION	VALEUR C_{INC}
N1	L'ouvrage a été visité en intégralité, avec des moyens d'accès adaptés	1,00
N2	Une ou plusieurs parties structurelles n'ont pas été visitées	0,80

➤ *Tableau 6 : Grille de coefficients d'incertitude associés à C_{IEA}*





Vues générales d'inspections en cours sur des ouvrages

Ouvrages comportant des parties qui ne peuvent pas être évaluées

Certains ouvrages d'art peuvent comporter un certain nombre de parties qui ne peuvent pas être évaluées, ou très difficilement. Dans le cadre de la surveillance, l'état défectueux des parties non visitables et la présence de « défauts cachés » peut se traduire par des conséquences visibles directement ou indirectement (fissures, flèches, écoulements…) et alors la note d'état IEA en tient compte.

En raison de certaines dispositions constructives, des défauts peuvent rester cachés jusqu'à ce qu'ils se manifestent de façon plus ou moins apparente (et parfois brutale), ce qui est malheureusement une limite de la surveillance courante. Ce sujet concerne, par exemple :

l'intérieur de petits caissons fermés (ou non fermés mais inaccessibles),

l'intérieur de piles ou de culées creuses (non munies de dispositif d'accès),

l'intérieur de voûtes d'élégissement obturées,

certains types de liaisons ou de zones d'appui, comme par exemple les appuis cantilever (cf. Encadré 1).

Dans le cadre de ce livret il n'est pas possible de définir des pondérations a priori pour couvrir les risques liés aux parties non visitables, en l'absence de manifestation détectable. Le gestionnaire peut cependant choisir de tenir compte de ces situations au cas par cas, en modulant le coefficient CINC en conséquence.

Afin de limiter les risques liés aux parties non visitables, il faut rester attentif et, le cas échéant, déclencher des investigations qui s'intègrent alors dans le cadre d'un programme de diagnostic [08] [18]. Ces investigations mobilisent des compétences et des matériels spécifiques et peuvent en outre nécessiter des travaux ou des démolitions partielles. Elles sortent du cadre du régime de la surveillance périodique classique (il ne s'agit plus de déterminer un état « apparent » mais un état « vrai »). Les conditions de déclenchement de telles actions peuvent être :

- la décision de documenter l'état de l'ouvrage en vue de mener une analyse de risques détaillée,
- la communication d'une information sur un risque particulier,
- un souhait d'aménagement, de réhabilitation,
- un état dégradé qui nécessite des travaux de réparation structuraux (note IQOA 3 ou 3U),
- un évènement spécifique (accident, climat…).



➤ *Encadré 1 : Exemple de partie d'ouvrage souvent non visitable : les appuis d'un cantilever*

Cette disposition cantilever (ou porte-à-faux) a été longtemps utilisée, car elle permettait de simplifier la conception en scindant un ouvrage en une succession de structures isostatiques. Si elle n'est plus utilisée depuis de nombreuses années pour des questions de durabilité, elle l'est encore parfois dans des cas très particuliers.

Dans tous les cas, des désordres difficiles à détecter sont à craindre. Les eaux de ruissellement peuvent en effet assez facilement s'infiltrer à travers le joint de chaussée et entraîner la corrosion des armatures du cantilever. Une rupture brutale est alors possible, avec peu de signes avant-coureurs facilement visibles. De plus, ces cantilevers ont fait l'objet d'évolutions en matière de justifications réglementaires et de dispositions constructives, avec des conséquences plus ou moins favorables sur leur comportement au fil des évolutions.

3.3.4 Coefficient d'état de conservation CETA

Le coefficient d'état de conservation CETA est composé à partir de ces deux derniers coefficients et vaut :

$$C_{ETA} = \max (C_{IEA} \times C_{INC} ; 0,5)$$

Remarque : un minimum de 0,5 est proposé car il n'y a pas lieu de considérer une classe plus à risque que celle nécessitant un traitement curatif urgent.

3.4 Contexte environnant (ENV)

3.4.1 Généralités

Les ouvrages se dégradent du fait de leur environnement et des actions qu'ils subissent. Certaines de ces actions sont prévisibles mais d'autres ne le sont pas et sont considérées comme des aléas au sens de ce livret.

Les phénomènes environnementaux pouvant initier des désordres sont nombreux, on peut citer :

- les phénomènes externes d'origine naturelle : tremblements de terre, avalanches, chutes de blocs, foudroiement, phénomènes climatiques extrêmes, inondations, glissements de terrain, chaleur intense, cyclones, etc ;
- les phénomènes externes d'origine humaine : incendie, explosion d'origine industrielle, choc de véhicule (routier, naval, ferroviaire ou aérien), mise en vibration excessive due aux effets dynamiques du chargement, surcharge excessive, travaux à proximité, vandalisme, etc.



Choc sur pile aux conséquences « catastrophiques »

3.4.2 Effets du changement climatique

A ce stade, les impacts du changement climatique ne sont pas considérés. Une réflexion pourra néanmoins s'engager sur le sujet compte tenu des effets potentiels de certains aléas : augmentation du niveau des crues, baisse des niveaux à l'étiage découvrant des fondations en bois, augmentation des amplitudes de gradients et de dilatations thermiques…

On pourra à ce sujet se reporter à la note d'information n°5 du Cerema [14] « Impact du changement climatique sur les ouvrages d'art en France : conseils aux gestionnaires et concepteurs ».

3.4.3 Choix des facteurs influençant le contexte environnant

Pour cette analyse de risques patrimoniale, on retiendra quatre principaux facteurs d'importance susceptibles d'affecter le contexte environnant :

1. les effets hydrauliques susceptibles de provoquer l'affouillement des fondations ;
2. les actions chimiques (salage, proximité de la mer) ;
3. les mouvements de sols ;
4. les effets de l'exploitation et les actions accidentelles.

A chacun de ces facteurs est associé un coefficient de contexte Cn qui caractérise la criticité de l'ouvrage vis-à-vis du facteur considéré. Ce coefficient est apprécié de manière qualitative sur une échelle de 3 niveaux : faible, modéré et fort.

Le tableau ci-dessous fournit les valeurs à retenir dans le cadre de la méthode :

	FACTEURS D'IMPORTANCE		
Aleas	Fort	Modéré	Faible
1. Affouillement des fondations	0,50	0,85	1,00
2. Actions chimiques	0,70	0,85	1,00
3. Mouvements du sol	0,50	0,70	1,00
4. Actions d'exploitation et accidentelles	0,50	0,70	1,00

➤ *Tableau 7 : Grille des coefficients de contexte environnant. Liste des aléas, de leurs facteurs d'importance et des coefficients Cn associés*

Une analyse de risques spécifique ou un diagnostic peut permettre d'affiner ces facteurs. Les propositions ci-après permettent de les approcher à partir de cas types.

Affouillement des fondations

La criticité résulte de la probabilité d'un affouillement croisée avec la vulnérabilité des appuis de l'ouvrage en rivière.

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION
Fort	• Appuis immergés fondés superficiellement • Appuis immergés en maçonnerie comportant des fondations en bois • Tous appuis intermédiaires immergés non protégés et estimés affouillables (notamment en zone torrentielle)
Modéré	• Cas général des appuis immergés (culées ou piles)
Faible	• Absence d'appui immergés

➤ *Tableau 8 : Grille d'évaluation du facteur « Affouillement des fondations »*

Actions chimiques

Les actions chimiques peuvent générer des agressions diverses mais on retiendra principalement les effets du sel sur la corrosion des structures en béton ou métalliques. Dans le cas général, il ne parait pas utile de distinguer la vulnérabilité des ouvrages en béton de celle des ouvrages métalliques (le cas échéant, cela apparaîtra au titre de l'état apparent).

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION
Fort	• Salage fréquent (zones IVH3 à IVH5 par exemple [16]) ou exposition aux embruns maritimes (moins de 5 km des côtes) ou en contact avec l'eau de mer (zones de marnage et de projections) • Ouvrage à dalle orthotrope ou dalle Robinson avec salage (toutes zones)
Modéré	• Salage peu fréquent (IVH1 et IVH2 par exemple [16])
Faible	• Pas de salage et pas d'embruns

➤ *Tableau 9 : Grille d'évaluation du facteur « Actions chimiques »*

Les limites entre les critères sont à moduler suivant l'exposition réelle et les constats sur le terrain. Dans le cas de proximité avec des zones de pollution (hydraulique ou aérienne), le critère sera à adapter.

Mouvements de sols

Il est difficile de définir ce facteur a priori étant donné que les ouvrages sont (normalement) calculés et conçus pour ne pas être impactés par des mouvements de sols. La pratique démontre cependant que certains ouvrages sont, au fil du temps (à l'échelle de dizaines d'années), soumis à des mouvements de sols qui résultent de la conjonction d'un contexte géotechnique défavorable et d'une mauvaise conception ou de sollicitations diverses (interventions postérieures à la construction ou modifications environnementales).

Comme il ne s'agit pas d'interférer avec la note d'état – qui peut tenir compte d'un constat de mouvement de sol intempestif – on s'en tiendra aux facteurs de vulnérabilité de l'ouvrage vis-à-vis des mouvements de sols qui impactent les appuis de l'ouvrage y compris les soutènements attenants.

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION
Fort	• Caractéristiques géotechniques très défavorables (zones de glissement à proximité, zones Karstiques, etc…)
Modéré	• Contexte géotechnique défavorable (tassements, fluages de sols potentiels, etc…)
Faible	• Autres cas de figure

➤ *Tableau 10 : Grille d'évaluation du facteur « Mouvements de sol »*

Exploitation et actions accidentelles

Les actions défavorables sur un ouvrage sont principalement le fait d'un usage inadapté, de chocs accidentels (sur les appuis ou le tablier) et de la survenance d'un incendie (sur ou sous ouvrage). Ce facteur ne tient pas compte des conséquences au-delà de l'ouvrage de ces actions défavorables (cet aspect étant pris en compte par l'indice socio-économique ISE, entrant en jeu dans l'évaluation de la gravité des conséquences).

La notion « d'inadéquation de l'usage de l'ouvrage » est évaluée en considération de ses caractéristiques fonctionnelles et de l'usage réel tel qu'il est constaté in-situ.

La détermination du facteur lié aux chocs peut être affinée par une étude de risques spécifique telle que celles préconisées par l'EC1 ou bien par une justification structurale conforme aux Eurocodes.

Pour ce qui concerne les incendies, une justification structurale peut être prise en compte [11] pour la détermination du critère. Cependant, elle ne couvre généralement pas la totalité des dommages à l'ouvrage proprement dits (au-delà de la tenue au feu pendant le temps d'exposition réglementaire). Cette justification est toutefois recommandée vis-à-vis des dommages socio-économiques (cf. Indicateur socio-économique ISE).

Le facteur le plus fort est à retenir parmi toutes les situations suivantes que l'on considère tour à tour :

A) Inadéquation de l'usage de l'ouvrage

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION VIS-À-VIS DE L'INADÉQUATION DE L'USAGE DE L'OUVRAGE
Fort	• Limitation de tonnage sans dispositif physique pour empêcher le passage de véhicules hors tonnage • Circulation déportée près des rives du tablier ou des parapets (disparition des trottoirs, chaussée très étroite) ou plus généralement circulation procwhe des rives fragilisant l'ouvrage • Passage constaté de convois exceptionnels non autorisés
Modéré	• Inéquation entre le profil en travers réel et le profil en travers d'origine (élargissement « intempestif » des voies sans changement du nombre de voies) • Passage fréquent de convois exceptionnels autorisés
Faible	• Situation sans particularité

➤ *Tableau 11 : Grille d'évaluation du facteur « Exploitation et actions accidentelles » - Inadéquation de l'usage de l'ouvrage*

B) Chocs accidentels

a. Ouvrages au-dessus de voies routières

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION VIS-À-VIS DU RISQUE DE CHOC ROUTIER
Fort	• Tabliers avec gabarit limité ou gabarit < 5,0 m non protégé par des ouvrages contigus • Possibilité de choc sur des appuis non protégés (*) • Passerelle piétons avec probabilité de chocs sur tablier (gabarit < 6,0 m)
Modéré	• Possibilité physique de choc sur les appuis même s'ils sont protégés (*) • Tabliers de gabarit compris entre 5,0 m et 6,0 m non protégés par des ouvrages contigus • Passerelles piétons de gabarit compris entre 6,0 m et 7,0 m • Pont à poutres au-dessus de la chaussée avec possibilité de choc sur la structure porteuse
Faible	• Pas de circulation routière sous l'ouvrage, appuis déportés hors des zones circulées • Ouvrages routiers de gabarit > 6,0 m ou passerelles de gabarit > 7,0 m

➤ *Tableau 12 : Grille d'évaluation du facteur « Exploitation et actions accidentelles » - Choc routier*

(*) par « protection » on entend une justification conforme aux prescriptions de l'EC1-1-7 et à l'annexe nationale ou, le cas échéant, une protection physique suffisante vis-à-vis de ces prescriptions

b. Ouvrages au-dessus de voies navigables

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION VIS-À VIS DU RISQUE DE CHOC LIÉ À LA NAVIGATION
Fort	• Appuis et tablier non justifiés (ou absence de justification) suivant règles l'EC1-1-7 et à l'annexe nationale sur les chocs de bateaux
Modéré	• Appuis justifiés mais tablier non justifié (ou absence de justification) suivant règles l'EC1-1-7 et à l'annexe nationale sur les chocs de bateaux
Faible	• Appuis et tabliers justifiés suivant règles l'EC1-1-7 et à l'annexe nationale sur les chocs de bateaux • Ouvrage non concerné

➤ *Tableau 13 : Grille d'évaluation du facteur« Exploitation et actions accidentelles » - Choc lié à la navigation*

C) Risque incendie

a. Ouvrages au-dessus de voies routières

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION VIS-À VIS DU RISQUE D'INCENDIE AU-DESSUS DE VOIES ROUTIÈRES
Fort	• Zone de parking ou de stockage sous ouvrage avec probabilité d'incendie
Modéré	• Probabilité d'incendie sous ouvrage de tous types • Ouvrage en zone urbaine de plus de 100m de longueur avec probabilité d'incendie sur ouvrage
Faible	• Probabilité incendie faible

➤ *Tableau 14 : Grille d'évaluation du facteur « Exploitation et actions accidentelles » - Incendie routier*

b. Ouvrages au-dessus de voies navigables

NIVEAU	CRITÈRES D'ÉVALUATION VIS-À VIS DU RISQUE D'INCENDIE AU-DESSUS DE VOIES NAVIGABLES
Fort	• Au-dessus de zone de stationnement de bateaux de transports ou de containers
Modéré	• Au-dessus d'écluses ou de zones de plaisance
Faible	• Autres situations

➤ *Tableau 15 : Grille d'évaluation du facteur « Exploitation et actions accidentelles » - Incendie lié à la navigation*

D) Ouvrages au-dessus de lignes ferroviaires

La criticité de chocs ferroviaires ou d'incendies ferroviaires est considérée comme faible, dans le cas général, compte tenu de la faible probabilité d'occurrence de ces évènements.

3.4.4 Coefficient de contexte environnant C_{ENV}

Le coefficient de contexte environnant C_{ENV} est fonction du nombre n de facteurs considérés dans l'analyse ; il vaut :

$$C_{ENV} = \frac{1}{n} \; x \sum_{1}^{n} Cn$$

Le maître d'ouvrage peut choisir de considérer des facteurs complémentaires s'il le souhaite, Toutefois, si c'est le cas, ils doivent être renseignés pour tous les ouvrages du parc afin de conserver l'homogénéité de l'analyse sur l'ensemble du parc.

3.5 Calcul de l'indicateur de criticité (ICR)

L'indicateur de criticité ICR est formé des trois termes suivants :

ICR = [(P1 x C_{ROB}) + (P2 x C_{ETA}) + (P3 x C_{ENV})] / (P1+P2+P3)

Les pondérations P1 à P3 peuvent être prises égales (toutes à 1,0) ou modulées en fonction de l'importance que le gestionnaire souhaite donner aux différents paramètres.

	COEFFICIENTS DE PONDÉRATION		
Scenario d'analyse	P1 (C_{ROB})	P2 (C_{ETA})	P3 (C_{ENV})
Equilibré	1	1	1
Majoration sur l'état de conservation	1	2	1
Majoration sur le contexte environnant	1	1	2
Majoration sur l'état et le contexte	1	3	2

➤ *Tableau 16 : Exemples de pondérations pour différents scenarios d'analyse*

Remarque : les valeurs minimale et maximale des trois coefficients sont toutes, respectivement, 0,5 et 1. Après pondération, l'indice de criticité est compris entre 0,5 et 1.

3.6 Registre des ouvrages par classes de criticité

L'attribution d'un indicateur de criticité pour chaque ouvrage du parc permet d'obtenir une liste ordonnée des ouvrages par ordre croissant d'indicateur ICR (exemple Figure 6).

Afin de faciliter la visibilité sur la connaissance du parc, il est souhaitable de définir des classes de criticité. Pour présenter la suite de la démarche d'analyse, quatre classes de criticité ont été retenues :

Classes	Valeur de l'indice de criticité ICR
C4 Très critique	0,5 – 0,625
C3 Critique	0,625 – 0,75
C2 Peu critique	0,75 – 0,875
C1 Non critique	0,875 – 1

➤ *Tableau 17 : Définition des bornes des classes de criticité selon la valeur de ICR*

Ouvrage	Année constr.	Note IQOA	Robustesse (ROB)				Etat de conservation (ETA)			Contexte environnant (ENV)					Indice de criticité par scénario				Classe de criticité par scénario			
			Type d'ouvrage	Tablier	Appuis	Coeff.	Indice état (IEA)	Incert. sur l'état	Coeff.	Affouill. Fond.	Mouv. sol	Actions Chim.	Exploit. et Acc.	Coeff.	Équilibré	Maj. ETA	Maj. ENV	Maj. ETAT & ENV	Équili-bré	Maj. ETA	Maj. ENV	Maj. ETAT & ENV
				ROBT	ROBA	C_{ROB}	C_{IEA}	C_{INC}	C_{ETA}	C1	C2	C3	C4	C_{ENV}	ICR	ICR	ICR	ICR	Classe	Classe	Classe	Classe
OA 1	1890	2	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,95	1,00	0,95	0,50	0,70	1,00	0,70	0,73	0,73	0,78	0,73	0,80	C3	C2	C3	C2
OA 2	1868	3U	Voute de maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,50	1,00	0,50	0,50	0,70	1,00	0,70	0,73	0,68	0,63	0,69	0,63	C3	C3	C3	C4
OA 3	1948	2U	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,85	1,00	0,85	0,85	0,70	1,00	1,00	0,89	0,75	0,77	0,78	0,80	C3	C2	C2	C2
OA 4	1868	2E	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,85	1,00	0,85	0,85	0,70	1,00	0,70	0,81	0,72	0,75	0,74	0,78	C3	C2	C3	C2
OA 5	1956	2E	Poutre latérales treillis	0,50	0,70	0,50	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,78	0,80	0,84	0,84	C2	C2	C2	C2
OA 6	1935	3U	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,85	1,00	0,85	0,70	0,85	0,62	0,59	0 68	0,62	C4	C4	C3	C4
OA 7	1936	3	Pont à poutre BA	0,60	0,85	0,60	0,70	1,00	0,70	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,75	0,74	0,81	0,77	C2	C3	C2	C2
OA 8	2018	1	Pont à poutre BA	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,95	0,95	0,97	C1	C1	C1	C1
OA 9	1900	2	Voute en maçonnerie	0,90	1,00	0,90	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,96	0,96	C1	C1	C1	C1
OA 10	1973	2	Poutrelles enrobées	0,80	0,70	0,70	0,95	1,00	0,95	0,50	1,00	1,00	1,00	0,88	0,84	0,87	0,85	0,88	C2	C2	C2	C1
OA 11	1965	2E	Bi poutre mixte	0,70	0,70	0,70	0,85	1,00	0,85	0,85	1,00	0,85	1,00	0,93	0,83	0,83	0,85	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 12	1900	2E	Voute en maçonnerie	0,90	1,00	0,90	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,96	0,96	C1	C1	C1	C1
OA 13	1935	2E	Poutrelles enrobées	0,60	0,70	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,83	0,86	0,86	C2	C2	C2	C2
OA 14	1970	2E	Pont à poutre BA	0,70	1,00	0,70	0,85	1,00	0,85	0,50	1,00	1,00	1,00	0,88	0,81	0,82	0,83	0,83	C2	C2	C2	C2
OA 15	1935	2E	Pont à poutre BA	0,60	0,85	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,80	0,82	0,84	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 16	1937	2E	Pont à poutre BA	0,60	1,00	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,80	0,82	0,84	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 17	1934	2E	Poutrelles enrobées	0,60	0,70	0,60	0,85	1,00	0,70	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,80	0,82	0,84	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 18	1912	2E	Pont à poutre BA	0,60	0,50	0,50	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,77	0,79	0,82	0,83	C2	C2	C2	C2
OA 19	1933	3	Pont à poutre BA	0,60	1,00	0,60	0,70	1,00	0,70	0,85	0,50	0,50	0,50	0,59	0,63	0,65	0,62	0,65	C3	C3	C4	C3
OA 20	1936	3U	Poutre latérales treillis	0,60	0,70	0,60	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,65	0,78	0,68	C3	C3	C2	C3
OA 21	1990	2	Poutrelles enrobées	1,00	0,70	0,70	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,90	0,91	0,93	C1	C1	C1	C1
OA 22	1900	2E	Voute en maçonnerie	0,90	1,00	0,90	0,85	1,00	0,85	0,50	0,70	1,00	1,00	0,80	0,85	0,85	0,84	0,84	C2	C2	C2	C2
OA 23	1990	2E	Poutrelles enrobées	1,00	0,70	0,70	0,85	1,00	0,85	1,00	0,70	0,85	1,00	0,89	0,81	0,82	0,83	0,84	C2	C2	C2	C2
OA 24	2004	1	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	0,93	0,98	0,98	0,96	0,98	C1	C1	C1	C1
OA 25	1937	2E	Poutre latérales treillis	0,60	0,70	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	0,70	1,00	1,00	0,93	0,79	0,81	0,83	0,83	C2	C2	C2	C2
OA 26	1883	2E	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,88	0,91	0,89	C1	C2	C1	C1
OA 27	1883	3	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,70	1,00	0,70	1,00	0,50	0,50	0,50	0,63	0,61	0,63	0,61	0,64	C4	C3	C4	C3
OA 28	1914	2E	Poutrelles enrobées	0,60	0,70	0,60	0,85	1,00	0,85	0,50	1,00	1,00	1,00	0,88	0,78	0,79	0,80	0,82	C2	C2	C2	C2
OA 29	2018	2	Poutre latérales treillis	0,80	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	0,50	1,00	1,00	0,70	0,80	0,85	0,88	0,84	0,88	C2	C2	C2	C2
OA 30	1925	2E	Poutrelles enrobées	0,60	0,70	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	0,70	0,93	0,79	0,81	0,83	0,83	C2	C2	C2	C2
OA 31	1925	3	Poutre latérales treillis	0,60	0,50	0,50	0,70	1,00	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,73	0,73	0,80	0,77	C3	C3	C2	C2
OA 32	1933	1	Pont à poutre BA	0,60	0,85	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,85	0,89	0,88	0,92	C2	C1	C1	C1
OA 33	1989	2	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,90	0,92	0,92	0,93	C1	C1	C1	C1
OA 34	1989	2	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	0,85	1,00	0,85	1,00	0,93	0,89	0,91	0,90	0,92	C1	C1	C1	C1
OA 35	1979	2	Poutrelles enrobées	0,80	0,70	0,70	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,90	0,91	0,93	C1	C1	C1	C1
OA 36	1889	2	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,93	0,94	0,94	C1	C1	C1	C1
OA 37	1933	3	Pont à poutre BA	0,60	0,85	0,60	0,70	1,00	0,70	1,00	0,50	0,50	0,50	0,63	0,64	0,66	0,64	0,66	C3	C3	C3	C3
OA 38	1986	2	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,99	0,98	C1	C1	C1	C1
OA 39	1986	2	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,99	0,98	C1	C1	C1	C1
OA 40	1989	2	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,99	0,98	C1	C1	C1	C1
OA 41	1889	2E	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,87	0,87	0,89	0,88	C2	C2	C1	C1
OA 42	1976	2E	Pont à poutre BA	0,70	0,75	0,70	0,85	1,00	0,85	0,85	1,00	0,85	1,00	0,93	0,83	0,83	0,85	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 43	1938	2E	Pont à poutre BA	0,60	1,00	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,83	0,86	0,86	C2	C2	C2	C2
OA 44	1999	1	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	0,96	0,99	0,99	0,99	0,99	C1	C1	C1	C1
OA 45	1867	3	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,70	1,00	0,70	1,00	1,00	1,00	0,70	0,93	0,81	0,78	0,84	0,79	C2	C2	C2	C2
OA 46	1867	2	Voute en maçonnerie	0,80	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,93	0,94	0,94	C1	C1	C1	C1
OA 47	1982	2E	Cadre PICF	0,80	1,00	0,80	0,85	1,00	0,85	0,50	1,00	1,00	0,70	0,80	0,82	0,83	0,81	0,83	C2	C2	C2	C2
OA 48	1883	2	Poutres sous chaussées métal avec voutain	0,50	0,50	0,50	0,95	1,00	0,95	0,50	1,00	0,85	1,00	0,84	76	0,81	0,78	0,84	C2	C2	C2	C2
OA 49	1960	2E	Pont à poutre BA	0,60	1,00	0,60	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	0,85	1,00	0,96	0,80	0,82	0,84	0,85	C2	C2	C2	C2
OA 50	1994	1	Cadre PICF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	C1	C1	C1	C1

➤ *Figure 6 : Exemple de registre des ouvrages par indicateur et classe de criticité*

Chapitre 4.

ÉTAPE 2 : CATÉGORISATION DES OUVRAGES PAR CLASSES DE RISQUES

4.1 Principe

4.1.1 Introduction

L'effondrement dramatique du pont Morandi à Gênes, en 2018, montre l'ampleur des conséquences d'une défaillance, impactant le champ politique local, voire national, la société concessionnaire, le trafic régional mais aussi national et international, la desserte d'un port maritime (…) bien au-delà du seul coût financier de reconstruction de l'ouvrage. Cet exemple est une conséquence extrême sur un ouvrage emblématique.

En dehors de cette situation exceptionnelle, au-delà des opérations urgentes ou systématiques de surveillance et d'entretien courant, il est intéressant de distinguer, au sein d'un patrimoine en gestion, les ouvrages qui nécessitent le plus d'attention suivant leur usage ou les conséquences de leur défaillance sur leur environnement proche ou lointain.

4.1.2 L'indice socio-économique (ISE)

Pour mémoire, selon le chapitre § 3 de ce livret, l'indice de criticité ICR est établi à partir des données techniques disponibles. Cet indice détermine quatre classes de criticité (de non critique à très critique).

A ce stade, le maître d'ouvrage peut considérer que tous les ouvrages ont la même importance stratégique. Auquel cas, la programmation des interventions conditionnelles (réparations, entretien spécialisé…) peut s'opérer à partir de critères techniques relatifs à l'état du parc, en s'appuyant sur l'ICR et en tenant compte, au « fil de l'eau », du budget ou des priorités du gestionnaire (ce qui constitue une analyse de risques implicite…). Cela peut être le cas pour des patrimoines relativement homogènes (tant en ce qui concerne les usages et les zones d'influence des ouvrages) et comprenant relativement peu d'ouvrages (par exemple, moins d'une cinquantaine).

Mais dans le cas général, le maître d'ouvrage souhaite différencier les modalités ou les temporalités d'intervention plus lourdes (réparations, entretien spécialisé, diagnostics). Une programmation fine lui permet d'optimiser ses budgets tout en anticipant les difficultés à venir. L'établissement d'une politique de gestion passe alors par la connaissance de la « gravité des conséquences » associée à chaque défaillance d'un ouvrage lui permettant ainsi de prioriser les interventions en question : l'indice Socio-Economique (ISE) traduit l'importance stratégique relative entre les différents ouvrages du parc suivant les conséquences d'une défaillance. L'indice ISE associe à une vision purement technique, une vision stratégique, voire financière ou politique.

4.2 Constitution de l'indice ISE

4.2.1 Enjeux à considérer

De nombreux enjeux peuvent être envisagés selon l'importance du patrimoine, ses fonctions, son environnement, le réseau de transport dont il fait partie, etc.

La liste ci-dessous identifie différents critères susceptibles d'être pris en compte pour bâtir l'indice socio-économique d'un pont, en considérant les conséquences en cas de défaillance. Bien que non exhaustive, cette liste illustre la complexité à laquelle cette réflexion peut mener :

- Perte d'exploitation sur ou sous l'ouvrage :
  - Coupure ou réduction du trafic (routier, autoroutier, fluvial, ferroviaire, …),
  - Itinéraire dédié aux secours, convois exceptionnels, transports en commun, …
  - Population desservie, installation particulière, …
  - Réseaux supportés d'énergie, eau, télécom, chauffage, …
- Impact sociétal en cas de fermeture de l'ouvrage :
  - Réseaux voisins saturés par report de trafic, déviations,
  - Augmentation des temps et coûts de transport,
  - Mise en difficulté d'entreprises voisines,
  - Perte d'attractivité touristique,
- Coût de la reconstruction, coût d'un ouvrage provisoire, surcoût d'une maintenance différée, …
- Perte de valeur patrimoniale ou culturelle ;
- Impact médiatique, image de marque d'une entreprise ou d'une collectivité ;
- Impact environnemental (direct ou indirect,
- Responsabilités juridiques, etc

Le choix de la méthode de construction de l'indice ISE est une prise de décision stratégique initiale qui orientera le résultat de l'analyse de risques patrimoniale. Le gestionnaire et l'exploitant doivent donc être fortement impliqué.

4.2.2 Quelques méthodes existantes pour déterminer l'indice socio-économique ISE

En premier lieu, pour des patrimoines très modestes, le gestionnaire peut classer lui-même les ouvrages suivant un indice ISE croissant suivant une échelle des enjeux à déterminer et simplifiée. Par exemple :

- Ouvrage à enjeux normaux (conséquences normales)
  ISE = 1
- Ouvrage à enjeux élevés (conséquences élevées) ISE = 2
- Ouvrages à enjeux très élevés (conséquences très élevées) ISE = 3

Cette façon de procéder trouve ses limites pour des patrimoines « moyens » où il devient fastidieux et imprécis d'attribuer des indices « à la volée » à chaque ouvrage pris individuellement.

Différentes propositions ont été avancées dans la littérature afin d'objectiver la démarche. Elles sont plus ou moins dépendantes de la décomposition du patrimoine adoptée pour la surveillance. Il faut effectivement signaler que la décomposition du patrimoine n'est pas tout à fait neutre vis-à-vis de l'analyse stratégique.

Par exemple, la méthode VSC (Visites Simplifiées Comparées) [17] qui se distingue par une décomposition du patrimoine en groupes et familles, propose de s'appuyer sur cette décomposition pour conduire l'analyse stratégique. Le principe consiste à déterminer, dans l'ordre :

A) Un classement stratégique « inter-groupe » qui priorise des groupes suivant le type d'ouvrage : groupe des ponts, des passerelles, etc…

B) Un classement stratégique « inter-famille » ou « intra-groupe » : à l'intérieur de chaque groupe, les ouvrages sont priorisés suivant leur environnement : ouvrages hydrauliques, ouvrages strictement routiers, etc…

C) En dernier lieu : à l'intérieur de chaque famille un classement spécifique déterminé au cas par cas.

Pour aller plus loin, plusieurs guides traitent de ce sujet. Ils visent un parc d'ouvrages intégrés au réseau de transport routier national ou régional. Par exemple, les guides du Cerema présentant une application de la maîtrise des risques à différentes familles d'ouvrages d'art [02] décrivent le principe d'un indice socio-économique (ISE) qui agglomère une valeur stratégique de l'itinéraire, un niveau de trafic, une valeur patrimoniale et un niveau de service (incluant la notion de redondance). D'autres documents proposent des méthodologies pratiques pour construire cet indicateur [06] [07].

4.2.3 Proposition du livret pour la formation de l'indice ISE

A défaut de l'application d'une méthode existante reconnue, attachée ou non à une méthode de surveillance, une table d'indices ISE partiels (ISEn) est proposée ici à titre d'illustration. Elle est cependant parfaitement applicable, en l'état, à un patrimoine moyen voire important et est proche, dans l'esprit, des propositions des guides Cerema.

Cette table peut être complétée ou corrigée suivant les besoins et la stratégie propre du gestionnaire en veillant à une indépendance stricte entre l'indice de criticité **ICR** et l'indice **ISE**.

Ici, sept catégories sont proposées dont les indices sont ISEn évoluent de 0 à 3. Au total l'indice **ISE** (somme des indices ISEn) d'un ouvrage peut donc varier de 0 (plancher strictement théorique) à 21.

ISEN	PARAMETRES	VALEUR
ISE1	IMPORTANCE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE	
	Transit et convois exceptionnels	3
	Trafic urbain ou local	2
	Trafic inter-communal	1
	Délaissé	0
ISE2	EXPLOITATION EN CAS DE COUPURE DE LA VOIE	
	Déviation impossible ou déviation sur itinéraire de transports scolaires	3
	Déviation plus de 10km	2
	Moins de 10km (> 1km)	1
	Moins de 1km	0
ISE3	TRAVAUX SOUS CIRCULATION OU ACCES	
	Difficiles	3
	Réalisables avec contraintes	2
	Relativement faciles	1
	Sans objet	0
ISE4	RUPTURE DE SERVICES CONCESSIONNAIRES	
	Réseaux eau potable	3
	Réseaux ENEDIS, GAZ	2
	Réseaux de télécommunication	1
	Sans objet	0
ISE5	SENSIBILITE DU MILIEU TRAVERSE	
	Sensibilité très forte	3
	Sensibilité forte	2
	Sensibilité moyenne	1
	Sans faible	0
ISE6	IMPACTS SUR D'AUTRES GESTIONNAIRES D'INFRASTRUCTURES	
	Vis-à-vis de voies ferrées ou navigables, autoroutes	3
	Route principale (RN)	2
	Route secondaire	1
	Sans objet	0
ISE7	IMPORTANCE PHYSIQUE DE L'OUVRAGE	
	Ouvrage emblématique	3
	Elevée (fractile < 20%)	2
	Dans la moyenne des surfaces +/-30%	1
	Faible (fractile < 20%)	0

➤ *Tableau 18 : Grille de sous-critères pour la construction d'un ISE*

ISE1 : importance fonctionnelle de l'ouvrage

Les classes proposées sont à moduler suivant la catégorisation des itinéraires de voirie adoptée par le maître d'ouvrage (selon la structuration du réseau géré). Une métropole n'aura pas les mêmes classes qu'une commune rurale. L'environnement proche de l'ouvrage peut également avoir une incidence sur le niveau de conséquences. C'est par exemple le cas pour un ouvrage facilitant la desserte d'une zone d'activités, de loisirs ou touristique : son importance stratégique est alors associée à un niveau local, et non à celui de l'itinéraire.

ISE2 : exploitation en cas de coupure de la voie

Ce critère permet de considérer l'existence d'un itinéraire de déviation ou la possibilité de mettre en place un ouvrage provisoire, avec son niveau d'adaptation au trafic permettant de réduire les conséquences.

ISE3 : travaux sous circulation ou accès

Il s'agit ici de considérer les difficultés de réalisation des travaux proprement dits avec impact, notamment, sur leur durée ou sur les solutions techniques à envisager : travaux sous circulation (basculement de circulation d'un sens sur l'autre avec alternat, ralentissements, restrictions de largeur utile, déviations…), difficultés d'accès à l'ouvrage pour la réalisation des travaux (site de haute montagne par exemple ou espace urbain exigu ou contraint…), piles de grande hauteur, etc…

ISE4 : rupture de services concessionnaires

Même si les concessionnaires ont la charge du rétablissement de leurs réseaux, la coupure de réseaux d'eau potable et de lignes THT voir HT, peut entraîner des conséquences majeures pour les populations impactées. Les conséquences sur les réseaux télécommunication ou électriques peuvent ne pas exister : la présence de ces réseaux n'a pas de conséquence forte en cas de maillage ou si on peut les dévier facilement.

ISE5 : sensibilité du milieu traversé

Il s'agit de prendre en compte la présence de contraintes environnementales particulières (prévisibles) pour la réalisation de travaux sur l'ouvrage en fonction de sa situation : site inscrit ou classé, zone humide, espace naturel réglementé, etc. Pour les ouvrages de franchissement de cours d'eau, un effondrement partiel ou total peut rompre la continuité écologique du milieu, modifier temporairement le profil en travers du cours d'eau (diminution de la largeur de la section, modification niveau d'eau en amont et en aval de l'ouvrage), voire conduire à un débordement de rivière et à une gestion difficile du cours d'eau.

ISE6 : impacts sur d'autres gestionnaires d'infrastructures

Conséquences à évaluer suivant l'existence de réseaux de transports tiers.

ISE7 : importance physique de l'ouvrage

Il s'agit d'inclure, implicitement, des éléments financiers relatifs à la valeur de l'ouvrage en se référant aux surfaces totales de tablier. Il a été préféré ici un classement relatif par « groupes » ajustés en proportion du nombre d'ouvrages (suivant leurs surfaces), adaptés au patrimoine concerné et non un classement absolu, les typologies des parcs de ponts étant très hétérogènes entre eux.

Il convient de déterminer les deux frontières entre les trois classes (ISE7=0, ISE7=1 et ISE7=2) en déterminant la surface (S0/1) la plus grande des 20% d'ouvrages les plus petits et la surface (S1/2) la plus petite des 20% d'ouvrages les plus grands. Pour un ouvrage donné de surface S :

- Si S est inférieure à S0/1 alors ISE7=0
- Si S est supérieure à S1/2 alors ISE7=2
- Sinon ISE7=1

Les ouvrages non courants ou exceptionnels (pour le patrimoine concerné) sont traités par un indice spécifique IS7=3.

4.2.4 A propos des dommages humains (corporels)

Le cas de dommage « humain » (corporel) n'est pas retenu dans le cadre de l'analyse de risques patrimoniale proposée par ce livret. En effet, en ce domaine, l'ITSEOA préconise un niveau de gestion unique pour les ouvrages d'art routiers qui considère les conséquences humaines au même niveau pour l'ensemble des ouvrages. Il en résulte que, pour l'ensemble des méthodes d'évaluation appliquées, en cas de défaillance potentielle avec risque de dommage humain, la note d'état reflète, a minima une incertitude sur l'état structurel (notes 3U ou mention S pour IQOA, note 1 pour VSC…) et, potentiellement, un niveau de criticité élevé avec des conséquences humaines potentielles de la défaillance. La note 3U IQOA (ou équivalente) caractérise donc, a minima, un « risque » qui doit être levé en priorité : une action spécifique dans les meilleurs délais doit être entreprise pour mieux estimer, traiter ou diminuer le risque. Il peut s'agir d'inspections puis d'études de diagnostic, de mesures de sauvegarde, de travaux ou d'une autre action de gestion (voir ci-après).

Au titre de ce livret, il est donc assumé que ce risque est traité indépendamment au travers du coefficient d'état apparent (§ 3.3) ; par ailleurs, le coefficient CIEA ne peut pas intégrer le risque « à ne pas traiter ».

4.3 Établissement de la cartographie des risques

Une fois que l'indicateur de criticité et l'indice socio-économiques ont été établis pour chacun des ouvrages du parc, le gestionnaire peut effectuer un croisement entre ces deux indices (ICR x ISE) pour établir des classes de risques.

Une première approche consiste à répartir les indices ISE selon différents « niveaux d'enjeux » (suivant la gravité des conséquences) et à déterminer pour chaque ouvrage une « classe de risque » en croisant ISE et ICR sur une matrice de risques telle que celle présentée sur la Figure 7. Cette méthode est proposée dans les guides Cerema pour des applications à des familles d'ouvrages [02].

Sur cet exemple, l'indice ISE est utilisé pour former 3 niveaux d'enjeux : normaux, élevés et très élevés (le découpage de l'échelle de l'indice ISE, qui fixe les frontières entre niveaux d'enjeux, relève de l'appréciation des conséquences par le gestionnaire).

Classe de risques	Classe de criticité			
Niveaux d'enjeux	C1 OA non critique	C1 OA peu critique	C3 OA critique	C4 OA très critique
1-normaux	R1	R1	R2	R3
2-élevés	R1	R1	R2	R3
3-très élevés	R1	R2	R3	R3

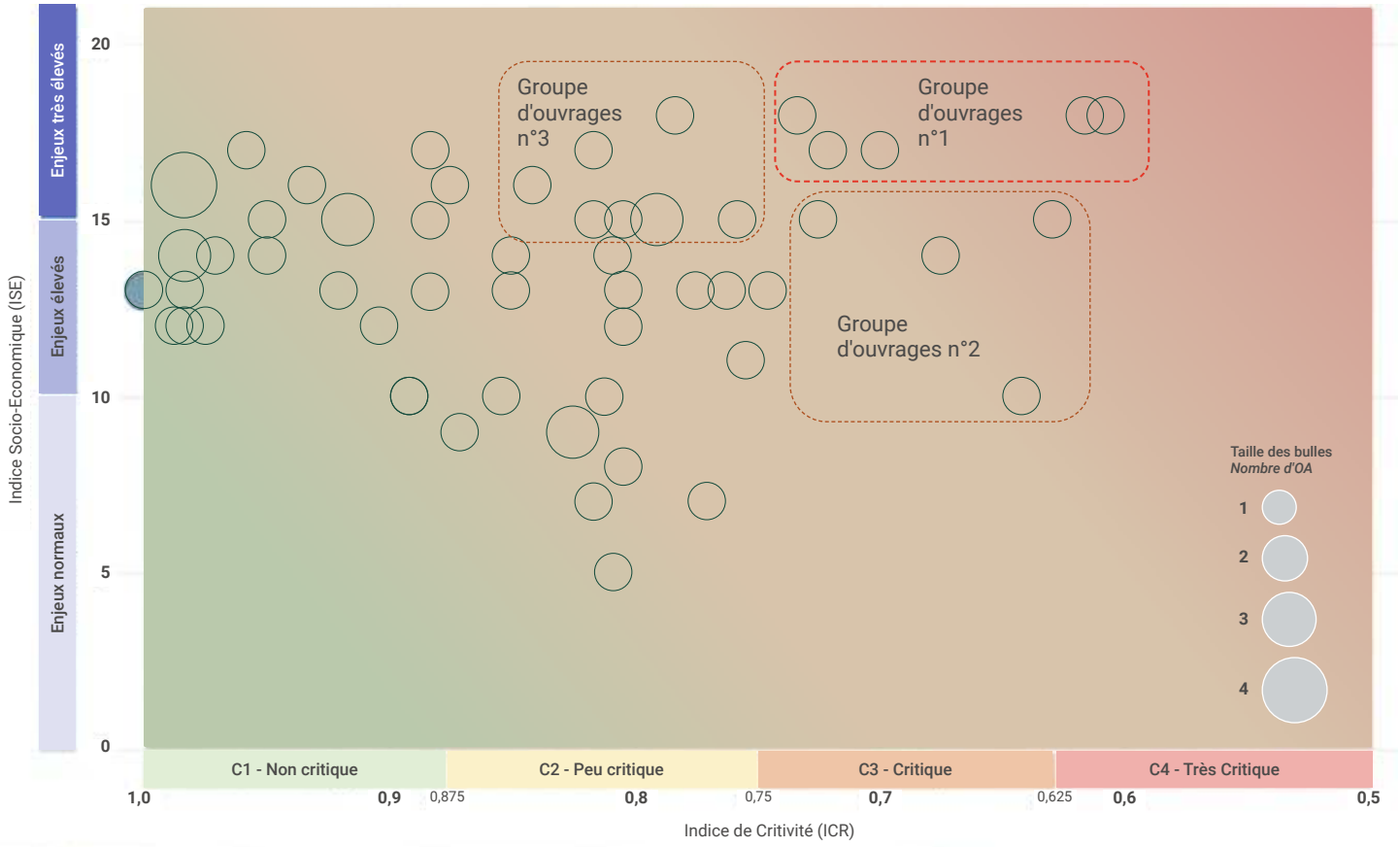
➤ *Figure 7 : Répartition de ISE selon 3 niveaux d'enjeux et croisement avec l'indice de criticité sur 4 classes (C1 à C4). Détermination de trois classes de risques R1 (normaux), R2 (forts) et R3 (très forts) - Extrait guides Cerema, Analyse des risques appliquée à des familles d'ouvrages.*

Cependant, à l'échelle d'un patrimoine global forcément diversifié, l'inconvénient de cette approche par « niveaux d'enjeux » est la perte d'information et de précision. En effet, les ouvrages peuvent souvent se trouver regroupés dans quelques cases de la matrice et il devient alors difficile de tirer des informations utiles pour une gestion globale.

S'il est possible d'augmenter le nombre de niveaux d'enjeux, en découpant plus finement l'échelle de l'ISE, une seconde approche par méthode graphique permet de contourner le problème et s'adapte mieux à la démarche d'analyse patrimoniale proposée dans ce livret.

Les classes de risques sont identifiées de manière « graphique », en croisant les indices de criticité ICR en ordonnée avec les indices socio-économiques ISE en abscisse. Ainsi, à l'issue de l'analyse, le gestionnaire garde la possibilité d'interpréter les résultats et de déterminer des « classes de risques » suivant des « frontières » qu'il pourra lui-même délimiter.

Dans l'illustration ci-dessous, qui s'appuie sur le registre des ouvrages classés par indice de criticité en Figure 6, la distribution des ouvrages permet d'identifier deux groupes d'ouvrages qui pourraient être associés à des classes de risques différentes. Pour faire le parallèle avec la classification proposée par la matrice plus haut : le groupe n°1 correspondrait à une classe de risques R3 (la plus élevée) et les groupe n°2 et 3 correspondraient à une classe de risques R2.



➤ *Figure 8 : Cartographie du patrimoine permettant de regrouper les ouvrages par classes de risques*

Chapitre 5.

GÉRER DES PONTS EN UTILISANT L'ANALYSE DE RISQUES

5.1 Options de gestion des risques

Il s'agit de la dernière étape de l'analyse de risques : au-delà des actions systématiques d'entretien, de surveillance et de traitement des urgences, une analyse de risques ouvre la voie à une programmation des actions, assumée au niveau décisionnel de la maîtrise d'ouvrage.

Toutefois, l'analyse de risques en tant que « photographie des risques » à l'instant t, n'est techniquement pas suffisante : des étapes intermédiaires de diagnostic et de simulation de situations sont souvent nécessaires. L'analyse de risques initiale permet d'ailleurs de hiérarchiser ces actions de diagnostic, afin, dans certains cas, de mieux appréhender le niveau de risques, voire de le requalifier.

Pour aboutir à une programmation optimale, différentes options de traitement doivent être étudiées et présentées au niveau décisionnel, suivant leurs conséquences stratégiques (notamment en termes de risques et de coûts).

Par exemple, le non-traitement (suivant l'indice de criticité) peut avoir pour effet d'augmenter ultérieurement le niveau de risques ; un traitement partiel peut avoir pour effet de réduire les risques à un niveau acceptable en attendant une action plus globale, etc. A contrario, le choix délibéré de modifier la fonction d'usage de l'ouvrage, pour reporter des investissements financiers conséquents, par exemple, constitue un acte volontaire du maître d'ouvrage qui doit être assumé en termes d'exploitation.

Il faut d'ailleurs noter que le volume ou le coût des actions à entreprendre n'est pas, de facto, proportionnel au niveau des risques : tel ancien ouvrage, de grandes dimensions sur un site stratégique mais dans un état satisfaisant pourrait se trouvera à un niveau de risques élevé ; il s'agira alors de renforcer sa surveillance ou son entretien. A contrario, un ouvrage à niveau de risques moyen mais en mauvais état pourra nécessiter un volume important de travaux pour sa préservation.

L'analyse de risques est un révélateur mais les actions à engager doivent être prises, et validées, en connaissance de cause, par le maître d'ouvrage ou son gestionnaire à partir de diagnostics et d'études de scénarios (cf. ITSEOA Fascicule 5 [08]).

Toutefois, au moins deux cas de figure vont se présenter :

A) Cas où une intervention en urgence est requise : ouvrage pour lequel un risque avéré avec des dommages humains possibles est mis en évidence

Il s'agit alors de réduire le risque à un niveau acceptable en supprimant son origine ou d'identifier plus précisément le niveau de risque (ces deux actions pouvant être entreprises simultanément).

Remarque : en principe, on ne découvre pas un problème de sécurité nécessitant des mesures de sécurité immédiates à l'issue d'une analyse (simplifiée) de risques, mais plutôt lors de la surveillance, ou à l'issue d'un diagnostic découlant d'une analyse de risques.

Par action en urgence, on entend la mise en œuvre de mesures de sécurité immédiate : fermeture de l'ouvrage ou, le cas échéant, après étude, des dispositions relativement « simples mais radicales », comme des restrictions de circulation pour certains véhicules – transports exceptionnels, matières dangereuses –, des dispositifs d'alerte pour les véhicules hors gabarit, etc. Dans tous les cas, cela suppose un respect par les usagers des dispositions adoptées. Le risque peut donc ne pas être totalement éliminé.

Par la suite (ou dans le même temps), des mesures de sauvegarde peuvent être prises sous la forme de confortements provisoires pour éviter une possible ruine.

En tout état de cause, le déclenchement d'actions en urgence doit se faire de manière réfléchie et concertée, une fois l'incertitude levée (ou le niveau de risque confirmé) en préservant l'ouvrage et en assurant une compatibilité avec un programme de travaux définitifs.

Il est à noter que, dans ce cas, la surveillance organisée courante n'est pas suffisante. A minima, une inspection détaillée ou spécifique peut être préconisée pour approfondir les connaissances sur l'état de l'ouvrage. Au-delà, des dispositions de surveillance renforcée ou de haute surveillance peuvent être prises sous le contrôle d'un groupe d'experts (cf. [01] ITSEOA Fascicule 3).

Si cela s'avère possible (et selon les conclusions du diagnostic qui doit être conduit), l'ouvrage peut faire l'objet de renforcements définitifs destinés à réduire sa vulnérabilité ou bien de mesures de surveillance classiques ; on revient alors au cas général (cas B ci-après).

B) Cas général : autres ouvrages dont les risques sont mis en évidence à partir de la surveillance et de l'analyse patrimoniale

Les mesures envisageables pour diminuer les risques sur un ouvrage sont en général multiples. Si toutes ne permettent pas de traiter la totalité des aléas, certaines mesures peuvent apporter des améliorations à plusieurs aléas. Il convient par conséquent de retenir celles offrant le meilleur compromis pour l'ouvrage.

Une option possible est d'affiner l'analyse à l'aide d'une analyse de risques détaillée conduite à partir de données complémentaires pertinentes (cf. § 5.2).

Par la suite, des études seront entreprises : diagnostics puis scénarios de traitement [26] pour permettre au maître d'ouvrage de choisir entre différentes options possibles (uniquement réduction du risque, traitement complet de l'ouvrage…).

In fine, les mesures à adopter pourraient inclure des renforcements ou des réparations plus ou moins lourdes, Afin de réduire les coûts, des mesures plus limitées sont envisageables sous réserve de se satisfaire d'un niveau de risques moyen et de mettre en place un suivi particulier pour maîtriser le risque en le gardant sous contrôle. Une telle décision appartient bien évidemment au maître d'ouvrage.

5.2 Poursuite et approfondissement de l'analyse de risques

À l'issue de l'analyse patrimoniale, la cartographie des risques permet, avec les réserves indiquées précédemment, de définir pour chaque ouvrage un niveau de risque et une attitude à adopter suivant la classification retenue et les « frontières » fixées par le maître d'ouvrage sur la cartographie des risques.

Une première attitude à avoir est d'affiner l'analyse par des actions simples : vérifier la pertinence de l'analyse en confirmant les données d'entrée pour les ouvrages identifiés comme étant les plus critiques, affiner les critères, examiner les documents d'archives, interviewer les acteurs, réaliser une visite sur site par un inspecteur OA…

Par ailleurs, on pourra prioriser et optimiser les opérations d'entretien courant et la surveillance avant tout autre décision.

En supposant une classification en risque « normaux », « élevés » ou « très élevés », et si ce niveau des risques est confirmé, il est possible d'envisager les attitudes suivantes :

Risques normaux

L'analyse peut s'arrêter. L'ouvrage relève de la gestion courante en matière de suivi et d'inspection. Il est aussi envisageable, en raffinant la classification obtenue à l'issue de l'analyse patrimoniale, de préciser le niveau de gestion en fonction des principaux risques, par exemple en prévoyant des inspections spécifiques à une plus grande fréquence.

Risques élevés

Dans ce cas, deux options sont possibles : arrêter l'analyse ou engager une analyse de risques détaillée.

S'il est décidé d'arrêter l'analyse, l'ouvrage ne doit pas pour autant rentrer dans le processus de gestion courante, mais doit faire l'objet d'une gestion particulière, éventuellement commune à un groupe d'ouvrages, par exemple avec une plus grande fréquence d'inspection.
Cependant il conviendra de s'assurer de la pertinence des hypothèses considérées (en contrôlant sur site ou à partir du dossier d'ouvrage) pour chacun des critères de criticité, avant d'augmenter la fréquence d'inspection, ou de placer un ouvrage sous un régime particulier d'inspection.
La décision d'approfondir l'analyse doit avoir pour objectif de préciser le niveau de risques. Cela peut en effet s'avérer utile lorsque, dans l'analyse patrimoniale, certains paramètres ont été difficiles à évaluer. L'analyse simplifiée ou détaillée devra permettre de les clarifier, voire de les quantifier, ou au moins de les affiner. Une nouvelle évaluation du niveau de risques sera obtenue sur des données plus fiables, conduisant à un éventuel reclassement de l'ouvrage.

Risques très élevés

Une analyse de risques détaillée est nécessaire. Elle permettra de mieux quantifier le risque et éventuellement de le requalifier. L'analyse détaillée comportera également une recherche d'options permettant un traitement du risque. En intégrant les effets de ces options dans des analyses de risques il est possible de les comparer et d'orienter ainsi les choix d'intervention. Naturellement, leurs aspects financiers doivent également intervenir dans le choix de la solution optimale.

Pour un ouvrage donné présentant des risques élevés et très élevés, les suites réservées en termes d'analyse de risques, doivent résulter d'une analyse globale comparative des options envisageables permettant de s'orienter vers le meilleur compromis technico-financier.

Dans tous les cas, d'autres actions de gestion pourront être entreprises en parallèle de cet approfondissement (voir ci-après) et pourront le cas échéant, alimenter l'analyse détaillée.

5.3 Solutions possibles en matière de gestion

5.3.1 Conduire un diagnostic et des études de scénarios

Une fois les risques bien identifiés, un diagnostic est requis. Pour les ouvrages en béton, on pourra se reporter au Livret 3 de cette « Notice d'aide à la décision » pour mieux appréhender le pronostic de durée de vie (durabilité des matériaux et/ou évaluation structurale) et le cas échéant mettre à jour le niveau de risque.

Une fois le diagnostic établi, une étude de scénarios avec analyse multicritères « coûts-bénéfices » est bien adaptée pour étudier les différentes options possibles. Il s'agit d'évaluer chacune des mesures envisagées afin d'estimer son coût d'une part et son gain sur le niveau de risques d'autre part. Les mesures les plus intéressantes sont naturellement celles maximisant le ratio gain/risque, dès lors qu'il est significatif, et minimisant leur coût. Une fois les meilleures options sélectionnées, l'optimisation peut se poursuivre en associant entre elles plusieurs mesures dans des scénarios et en en évaluant les bénéfices.

Une telle approche est aussi utilisable pour rechercher les options permettant d'atteindre un niveau de risques prédéfini, le coût intervenant dans ce cas en facteur secondaire dans le classement.

L'impact des contraintes environnementales et règlementaires prévisibles est à prendre en compte dès cette phase de diagnostic dans la comparaison des différentes options étudiées.

Références :
- [08] ITSEOA – Fascicule n°5. Conduite d'une intervention sur un ouvrage d'art existant
- [18] UGE/Cerema – Auscultation des ouvrages d'art, cahier interactif
- [26] IMGC – Référentiel de l'Ingénierie de la maintenance
- [29] Ministère de la transition écologique et solidaire – Guide d'aide à la définition des mesures ERC

5.3.2 Adapter les conditions d'exploitation

L'adaptation des conditions d'exploitation est une mesure de sécurité possible sur un ouvrage dont le fonctionnement est suspect ou altéré.

La restriction du nombre de voies circulées est généralement une mesure plus efficace qu'une limitation de tonnage ou de la vitesse qui peuvent ne pas être respectées par les usagers. Une analyse doit être menée au cas par cas pour définir les dispositions à retenir en matière de modification des conditions d'exploitation en s'appuyant sur une étude structurale.

Les adaptations retenues peuvent être temporaires en attendant la réparation ou le renforcement de l'ouvrage.

Références :
- [01] ITSEOA – Fascicule n°3. Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde
- [09] Cerema – Surveillance et entretien des ouvrages d'art routiers. Guide technique à l'usage des communes

5.3.3 Adapter l'entretien

L'entretien courant ne doit pas être conditionné par une analyse de risques.

En revanche la programmation de l'entretien spécialisé (ou les travaux de réparation) est liée aux résultats de l'analyse de risques et contribue à leur maîtrise à long terme. Surtout, l'optimisation de l'entretien spécialisé sur un groupe d'ouvrages identiques ou qui présentent des pathologies comparables est facilitée par l'analyse de risques.

Cela étant, la définition d'un entretien spécialisé pertinent passe généralement par un diagnostic et l'entretien spécialisé ne se distingue pas, en cela, de la programmation de travaux de réparation.

Références :
- [08] ITSEOA – Fascicule n°5. Conduite d'une intervention sur un ouvrage d'art existant
- [09] Cerema – Surveillance et entretien des ouvrages d'art routiers. Guide technique à l'usage des communes
- [15] Cerema – Note d'information n°6, Politique de gestion des ouvrages d'art, Apports récents sur les volets techniques et financiers

5.3.4 Mettre en place un régime de surveillance renforcée

La surveillance renforcée peut recouvrir un grand nombre d'actions de surveillance allant de l'accroissement du nombre de visites ou d'inspections, en augmentant leur fréquence, à l'instrumentation de certains paramètres de fonctionnement de l'ouvrage (par exemple, les indicateurs de santé structurelle). La surveillance renforcée peut être associée à des restrictions d'exploitation.

La surveillance renforcée s'applique à des ouvrages « douteux » ou présentant un risque rapide d'évolution défavorable de leur état. Cette surveillance ne débouche pas nécessairement sur des travaux : si à l'issue d'une période suffisante, il est estimé que l'ouvrage présente un fonctionnement normal, la surveillance renforcée peut être arrêtée. A contrario, une instrumentation peut être laissée en permanence sur l'ouvrage. Cette instrumentation doit alors prendre place dans une organisation plus générale traitant du suivi de l'ouvrage.

Références :
- [01] ITSEOA – Fascicule n°3. Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde
- [25] IMGC – Maîtrise des risques par l'instrumentation

5.3.5 Mettre en place un régime de haute surveillance

La haute surveillance est une mesure exceptionnelle. Elle s'applique à des ouvrages qui doivent rester en exploitation et pour lesquels il est toléré un fonctionnement en mode « dégradé ». Elle n'a pas vocation à perdurer et elle est souvent utilisée pour maintenir un ouvrage en exploitation, le temps de concevoir et exécuter un projet de réparation.

La haute surveillance comprend nécessairement une instrumentation permettant de vérifier, en temps réel (ou quasi-réel), l'absence de dérive de cet état. Le programme d'instrumentation et de suivi prévoit des seuils d'alerte et d'alarme sur l'état de fonctionnement à partir desquels des actions immédiates sur l'exploitation doivent être prises. À défaut, le risque pourrait ne pas être sous contrôle si une situation critique devait être traitée dans l'urgence.

La haute surveillance suppose :
- une analyse structurale experte du fonctionnement de l'ouvrage ;
- l'absence de risque de rupture fragile de l'ouvrage ;
- un suivi technique par un groupe d'experts (instrumentation, matériaux, analyse structurale…) fédéré en commission par le maître d'ouvrage ;
- une stratégie d'analyse des résultats de l'instrumentation et de définition des seuils ;

- un plan d'exploitation de l'ouvrage clair en cas de dérive ou de dépassement de certains seuils (ce plan devant être préalablement approuvé par les autorités compétentes et maîtrisé par l'exploitant) ;
- la capacité de mettre en œuvre ce plan sans délai, ce qui exige une forte réactivité de l'ensemble des acteurs, en particulier l'exploitant.

La haute surveillance débouche en général sur un programme de travaux et peut se poursuivre pendant ces travaux.

Références :
- [01] ITSEOA – Fascicule n°3. Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde
- [25] IMGC – Maîtrise des risques par l'instrumentation
- [28] SETRA – La télésurveillance des ouvrages d'art sous haute surveillance

5.4 Reconduction de l'analyse de risques

L'analyse de risques est un processus dynamique, qui doit être renouvelé dans le temps, notamment à l'occasion des évènements suivants :
- Intégration de nouveaux ouvrages dans le parc, ou plus généralement en cas d'évolution des connaissances sur la typologie du parc ;
- Prise en compte des résultats de la surveillance organisée et de la mise à jour périodique des notes d'état, selon l'évolution des pathologies des ouvrages ;
- Prise en compte des résultats d'une analyse de risques menée spécifiquement sur des familles d'ouvrages ;
- Evènement exceptionnel affectant une partie du parc ;
- Evolution des critères socio-économiques impactant l'indice ISE.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[01] SETRA, Cerema (2010) – ITSEOA Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art – Corps de l'instruction (Fascicules 0 à 3)

[02] Cerema – Guides d'analyses de risques appliquées à différentes familles d'ouvrages d'art :

- Viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes VIPP (2010)
- Ouvrages en remblais renforcés relevant de la technologie « Terre Armée » (2014)
- Buses métalliques (2015)
- Tranchées couvertes et tunnels creusés avec parements rapportés (2016)
- Murs en béton armé sur semelles (2018),
- Ponts en site affouillable (2019)
- Murs en maçonnerie (2020)
- Ponts en maçonnerie (2021)
- Ponts en situation de crue (2023)

[03] ISO 13824:2020 Bases du calcul des constructions – Principes généraux sur l'évaluation du risque pour les systèmes comprenant des structures

[04] ISO 31000: 2018 – Management du risque – Lignes directrices

[05] NF EN 1991-1-7 Eurocode 1 : Actions sur les structures, Partie 1-7 : Actions générales — Actions accidentelles, Annexe B : Informations sur l'évaluation des risques

[06] SETRA (2013) – Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art

[07] SETRA (2011) – Stratégie de maintenance des ouvrages d'art par valorisation d'un patrimoine (version provisoire)

[08] Cerema (2023) – ITSEOA, Fascicule n°5. Conduite d'une intervention sur un ouvrage d'art existant

[09] Cerema (2018) – Surveillance et entretien des ouvrages d'art routiers, Guide technique à l'usage des communes

[10] Cerema (2010) – SISMOA, Évaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages d'art existants

[11] Cerema (2018) – Résistance à l'incendie des ponts routiers

[12] Cerema (1996) – IQOA, Classification des ouvrages

[13] Cerema (2018) – Note d'information n°3. Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure

[14] Cerema (2021) – Note d'information n°5. Impact du changement climatique sur les ouvrages d'art en France : conseils aux gestionnaires et concepteurs

[15] Cerema (2021) – Note d'information n°6. Politique de gestion des ouvrages d'art - Apports récents sur les volets techniques et financiers

[16] Cerema (1994) – Guide pratique d'élaboration du dossier d'Organisation de la viabilité hivernale (DOVH)

[17] LCPC (2006) – VSC. Méthode d'aide à la gestion de patrimoines

[18] UGE/Cerema – Auscultation des ouvrages d'art, cahier interactif https://cahier-interactif-auscultation-ouvrages-art.univ-gustave-eiffel.fr/

[19] AIPCR (2016) – Analyse et gestion des risques appliquée aux ponts

[20] AIPCR (2018) – Les défaillances imprévisibles d'infrastructures

[21] AIPCR (2018) – Inspection and damage assessment technique – Case studies

[22] AIPCR (2023) – Forensic Engineering for Structural Failures - Technical Report

[23] CIRIA (2017) – Hidden defects in bridges – Guidance for detection and management

[24] IABSE – Case studies reports CS1 à CS4 (https://iabse.org/Case-Studies-ePDF)

[25] IMGC (2022) – Maîtrise des risques par l'instrumentation

[26] IMGC (2023) – Référentiel de l'Ingénierie de la Maintenance

[27] Rapport ONR 2023 (Observatoire National de la Route)

[28] SETRA (2005) – La télésurveillance des ouvrages d'art sous haute surveillance

[29] Ministère de la transition écologique et solidaire (2018) – Guide d'aide à la définition des mesures ERC

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

http://www.imgc.fr/