

Analyse de risques appliquée aux tranchées couvertes et aux tunnels creusés avec parements rapportés



Guide méthodologique

Analyse de risques appliquée aux tranchées couvertes et aux tunnels creusés avec parements rapportés



Ce guide a été élaboré par un groupe de travail composé de :

- Anil ABDOULHOUSSEN (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Cécile BOULOGNE (CETU)
- Sylvain DULOUNG (CETU)
- Samuel HEUMEZ (Cerema - Ile-de-France)
- Victor MARTINET (Cerema - Ile-de-France)
- Michaël NAUDAN (DRIEA IF - DIRIF)
- Jean-Marc TARRIEU (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)

Le groupe de travail tient à remercier le groupe de relecture composé de :

- Michel DEFFAYET (CETU)
- Didier GAURENNE (DIRMED)
- Catherine LARIVE (CETU)
- Laurent LLOP (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Franco PEROUMAL (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Pierre PEYRAC (DRIEA IF - DIRIF)
- Jean RENAULT (Cerema - Ile-de-France)
- Jérôme SALIBA (Cerema - Méditerranée)



Avant-propos

Certains ouvrages d'art en service présentent des risques particuliers qui ne peuvent pas être déterminés par les actions habituelles de surveillance et dont la connaissance est pourtant essentielle au gestionnaire puisqu'elle s'envisage en termes de solidité de l'ouvrage et de sécurité des usagers et des tiers. C'est le cas des tranchées et couvertures et tunnels creusés dont les revêtements sont recouverts d'éléments qui masquent partiellement ou complètement leur structure.

La gestion de ces ouvrages nécessite une surveillance spécifique pour déceler d'éventuelles déficiences actuelles et des déficiences futures ainsi que pour la planification de travaux d'entretien préventif adaptés pour éviter leurs effets. Cette démarche est à mener sans préjudice des dispositions courantes de surveillance et d'entretien qui, en tout état de cause, s'appliquent intégralement.

L'analyse de risques appliquée à un ouvrage participe à sa gestion : elle permet d'évaluer les composantes du risque (aléas, vulnérabilités de la structure, conséquences d'une défaillance de l'ouvrage) et, finalement, son niveau de risque face à une défaillance envisageable. La démarche d'analyse de risques peut également être effectuée sur un parc d'ouvrages. Dans ce cas, le gestionnaire dispose de la connaissance de la problématique de risques propre à chacun des ouvrages et également d'une répartition des ouvrages en fonction de leurs niveaux de risques. Ces résultats contribuent à la mise au point d'une stratégie de surveillance et à la hiérarchisation des opérations d'entretien, de réparation ou de renforcement.

Cette méthodologie est appliquée depuis peu sur des familles d'ouvrages dites sensibles (VIPP, murs de soutènement en Terre Armée®, buses métalliques, etc.) et permet de donner de nouveaux critères pour une gestion optimale du patrimoine.

Les familles d'ouvrages sont étudiées en utilisant une méthode d'analyse dite « simplifiée » qui fournit dans un premier temps, avec une fiabilité suffisante, le niveau de risques maximal de chacun des ouvrages. Ce type de méthode se veut d'une mise en œuvre relativement aisée et financièrement supportable. Pour certains ouvrages, des analyses plus poussées ou « détaillées » peuvent être menées dans un deuxième temps, en fonction de leurs risques – et de leurs états.

Ce guide concerne les ouvrages de type tunnels et tranchées et couvertures qui sont des ouvrages particulièrement sensibles aussi bien techniquement (de par leur longueur, par leurs modes de construction et par leur fonctionnement qui est à la croisée des domaines de la géotechnique et du génie civil) qu'économiquement (de par leur positionnement sur le réseau et des conséquences d'une défaillance sur la sécurité des usagers et sur l'économie locale).

La méthodologie proposée est une suite logique après les mises à jour des guides de gestion et d'inspection du patrimoine des tunnels creusés, tranchées et couvertures. Elle concerne en particulier les ouvrages situés sur le réseau routier national non concédé de l'État, mais elle est applicable (avec ou sans modifications) par d'autres gestionnaires tels que des collectivités ou des gestionnaires d'ouvrages non routiers. Cependant, elle s'appuie tout de même sur les méthodologies et instructions en vigueur pour les ouvrages de l'État (notamment sur l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art et sa méthodologie IQOA associée).

Le présent guide propose une méthodologie d'analyse simplifiée des risques des tunnels et des tranchées et couvertures qui comportent des parements, conformément au guide du Sétra « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art ». Il est décomposé en trois parties. La première traite de l'analyse simplifiée elle-même, la suivante aborde la problématique de la gestion du risque en proposant quelques indications pour interpréter les résultats de l'analyse. La dernière partie, proposée en annexe, donne des recommandations quant à l'inspection des ouvrages recouverts de parements et pour l'établissement de projets de pose de parements.

Il est par ailleurs précisé que ce guide ne constitue en aucun cas un guide d'inspection ou d'évaluation de l'état des ouvrages. Cette méthodologie ne doit donc pas se substituer aux inspections et aux méthodes de gestion réglementaires.



Sommaire

Avant-propos	3
1 - Introduction	7
1.1 - Champ d'application	7
1.2 - Besoin pour les ouvrages concernés	7
1.3 - Principes de l'analyse de risques	7
2 - Définition des objectifs et définition du système d'étude	10
2.1 - Définition des objectifs	10
2.2 - Définition du système d'étude	10
3 - Analyse de risques simplifiée	11
3.1 - Identification et évaluation des aléas	11
3.1.1 - Aléas retenus	11
3.1.2 - Aléas non retenus pour l'analyse simplifiée	17
3.1.3 - Calcul du niveau d'aléa global	18
3.2 - Évaluation de la vulnérabilité	19
3.2.1 - VI : Vulnérabilité initiale	19
3.2.2 - VA : Vulnérabilité actuelle	20
3.2.3 - Calcul du niveau de vulnérabilité	22
3.3 - Évaluation de la criticité	23
3.4 - Évaluation de l'importance des conséquences	24
3.4.1 - Valeur patrimoniale de l'ouvrage	24
3.4.2 - Conséquences sur le niveau de service	24
3.4.3 - Trafic	25
3.4.4 - Importance de l'itinéraire	25
3.4.5 - Évaluation du niveau de conséquence	26
3.5 - Évaluation du risque	26
4 - Traitement du risque	27
4.1 - Étapes	27
4.1.1 - Analyse simplifiée sur le tube	27
4.1.2 - Analyse simplifiée sur le zonage	28
4.1.3 - Analyse de risques détaillée	28
4.2 - Actions	30
4.2.1 - Risque Faible	30
4.2.2 - Risque Moyen	30
4.2.3 - Risque Élevé	30
4.3 - Diagnostic	31
4.4 - Réparation, renforcement et re-calcul	31



Annexe - Recommandations pour les projets de pose de parements rapportés et pour l'inspection des ouvrages déjà recouverts	32
1 - Projets de pose de parements rapportés	32
2 - Surveillance des ouvrages recouverts d'un parement	32
2.1 - Inspection détaillée périodique	33
2.2 - Visite d'évaluation et contrôle annuel	33
3 - Construction d'ouvrages neufs	34
3.1 - Les structures sans parements rapportés	34
3.2 - Les structures avec parements rapportés	34
Bibliographie	35
Glossaire	36



1 Introduction

1.1 - Champ d'application

La méthodologie présentée dans le document s'applique aux tunnels creusés et aux tranchées couvertes revêtus de parements rapportés. Elle concerne les ouvrages dont le périmètre est défini dans le fascicule 40 [3] de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art et dans la méthodologie IQOA Tranchées et couvertures [5].

1.2 - Besoin pour les ouvrages concernés

Le réseau routier national non concédé de l'Etat comporte environ 93 km de linéaire cumulé d'ouvrages de types tranchées, couvertures et tunnels creusés (composé notamment de 53 km de tranchées couvertes et de 34 km de tunnels creusés).

La gestion de ces ouvrages entre dans le cadre défini par l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art de 2010 [2]. Ils doivent notamment faire l'objet d'actions de surveillance et d'évaluation de leur état. Ils sont soumis à la méthodologie IQOA (Image Qualité Ouvrage d'Art) définie par le ministère qui repose essentiellement sur des examens visuels de la structure.

Cependant, de plus en plus d'ouvrages présentent aujourd'hui un parement rapporté masquant partiellement ou totalement leur structure. Ces parements peuvent être de plusieurs natures : plaques passives de protection contre l'incendie (notamment pour les ouvrages soumis à la circulaire n° 2000-63 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national) éléments acoustiques, parements esthétiques, étanchéité, etc. Aussi, la réalisation d'inspections détaillées pour le suivi de l'ouvrage et l'évaluation de son état tels que préconisés dans l'ITSEOA n'est alors plus possible en l'état, la structure devenant « invisible ».

Autrement dit, ces différents parements rendent donc la structure non accessible directement et, le seul moyen d'y accéder serait la dépose puis la repose de ces derniers. Cette solution, coûteuse et présentant un impact fort sur le trafic, reste opérationnellement difficile à systématiser.

Par ailleurs, ces ouvrages sont en général situés sur des itinéraires dont l'intérêt stratégique est important. En site de montagne comme en milieu urbain, le gestionnaire et l'exploitant évitent de mobiliser des itinéraires alternatifs, pour dévier de forts trafics. Les actions de surveillance et d'entretien sont ainsi fortement contraintes et doivent être programmées de manière à limiter le plus possible les impacts sur le trafic.

Le présent guide propose donc une méthodologie d'analyse de risques qui fournit au gestionnaire des éléments d'aide à la décision pour la gestion du patrimoine d'ouvrages souterrains comportant des parements.

L'analyse contribue à la définition d'un processus global de maîtrise des risques qui associe également les résultats des différentes actions de surveillance. En intégrant ce processus, la gestion optimise globalement les moyens qui lui sont consacrés, dans un objectif de sécurité des usagers, de pérennité des ouvrages et de moindre gêne sur leur exploitation.

1.3 - Principes de l'analyse de risques

Le guide présente une méthodologie d'analyse de risques dite « simplifiée », basée sur le guide du Sétra « *Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art* » de 2013. [1]. Elle est un outil pour une gestion de la famille des ouvrages souterrains comportant des parements conforme aux dispositions de l'ITSEOA.

L'analyse de risques « simplifiée » aboutit rapidement et économiquement à la répartition recherchée des ouvrages du patrimoine étudié en trois classes : niveau de risque élevé, moyen et faible. Le gestionnaire utilise ce classement pour structurer la gestion de ce parc, en établissant les plans de surveillance et d'entretien ainsi qu'une hiérarchisation des opérations correspondantes. Celles-ci peuvent alors comporter des analyses plus « détaillées » dont l'opportunité sera déterminée lors de l'exploitation des résultats.



La présente analyse simplifiée n'étudie pas de manière exhaustive et approfondie l'ensemble des composantes du risque. Ainsi, il est laissé au gestionnaire la liberté de mener une analyse détaillée si nécessaire, au cas par cas, en se basant sur le guide Maîtrise des risques [1].

Par contre, l'analyse développée dans ce guide utilise l'ensemble des éléments qui caractérisent l'état et l'évolution de l'ouvrage et qui sont susceptibles d'impacter de manière significative la détermination du niveau de risque, ceci de sorte qu'il soit établi avec une fiabilité convenable. Ces éléments concernent les aléas comme la vulnérabilité de l'ouvrage.

L'analyse menée dans ce document est scindée en deux phases : une phase d'analyse de risques proprement dite et une phase de sélection, gestion et maîtrise des risques.

La première phase est basée sur la combinaison de trois facteurs de risques que sont l'aléa, la vulnérabilité et la conséquence⁽¹⁾ [1].

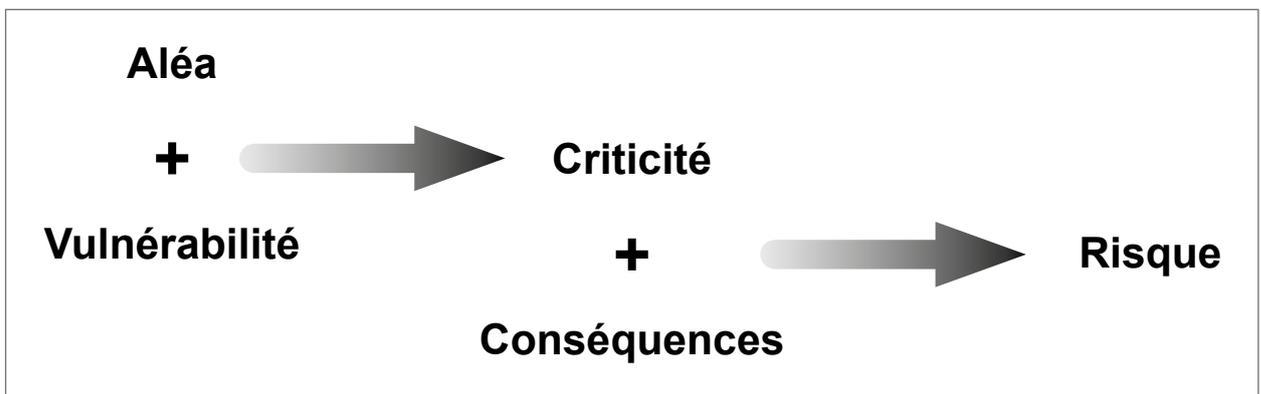


Figure 1 : Principe général de l'analyse de risques

La seconde phase, en fonction des niveaux de risques obtenus pour les ouvrages, devra interpréter le résultat obtenu et sera décisionnelle. Elle permettra la prise de mesures visant à traiter le risque.

L'analyse de risques se divise donc selon les étapes suivantes :

- Étape 1 : Définition des objectifs
- Étape 2 : Définition du système d'étude
- Étape 3 : Analyse de risques simplifiée
 - Étape 3.1 : Identification et évaluation des aléas
 - Étape 3.2 : Évaluation de la vulnérabilité
 - Étape 3.3 : Évaluation des conséquences
- Étape 3.4 : Évaluation du risque
- Étape 4 : Sélection des risques
- Étape 5 : Analyse détaillée des risques
- Étape 6 : Traitement du risque

Dans le cadre de ce guide, l'étape 5 n'est qu'abordée succinctement. Le gestionnaire peut se reporter au guide « Maîtrise des risques » [1] pour d'autres développements.

L'attention des maîtres d'ouvrages gestionnaires est par ailleurs attirée sur la nécessité d'actualiser régulièrement l'analyse de risques de leur patrimoine. En effet, l'évolution d'éléments tels que l'âge des ouvrages ou les cotations IQOA peuvent modifier les résultats et nécessiter de mettre à jour en conséquence les plans de surveillance et d'entretien, la hiérarchisation des ouvrages, etc.

(1) L'aléa est le phénomène à l'origine du risque. Il est en général quantifié par des niveaux d'intensité et peut être d'origine interne ou externe à l'ouvrage. La vulnérabilité est la sensibilité d'un ouvrage à l'aléa étudié. Elle dépend non seulement de l'aléa lui-même, mais aussi de l'ouvrage (type de conception par exemple).

L'enjeu est synonyme de conséquences qui peuvent être humaines ou économiques.

La combinaison de ces trois facteurs, selon un scénario prédéfini, donne alors un niveau de risque qui sera classé sur trois niveaux : faible, moyen et élevé.



La figure 1 résume la méthodologie générale d'analyse de risques appliquée aux ouvrages d'art. Les parties du guide sont connectées à cet organigramme général.

Il est enfin précisé que la démarche proposée ici est différente de celle proposée dans la recommandation de l'AFTES n° GT32.R2F1 [10] qui porte sur la caractérisation des incertitudes et des risques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, pour les projets d'ouvrages souterrains. L'objectif de cette recommandation est d'inciter l'ensemble des acteurs d'un projet d'ouvrage souterrain à prévoir à l'avance les moyens nécessaires pour faire face aux événements géotechniques incertains afin que leur survenance impacte le moins possible le coût et le délai de réalisation de l'ouvrage.

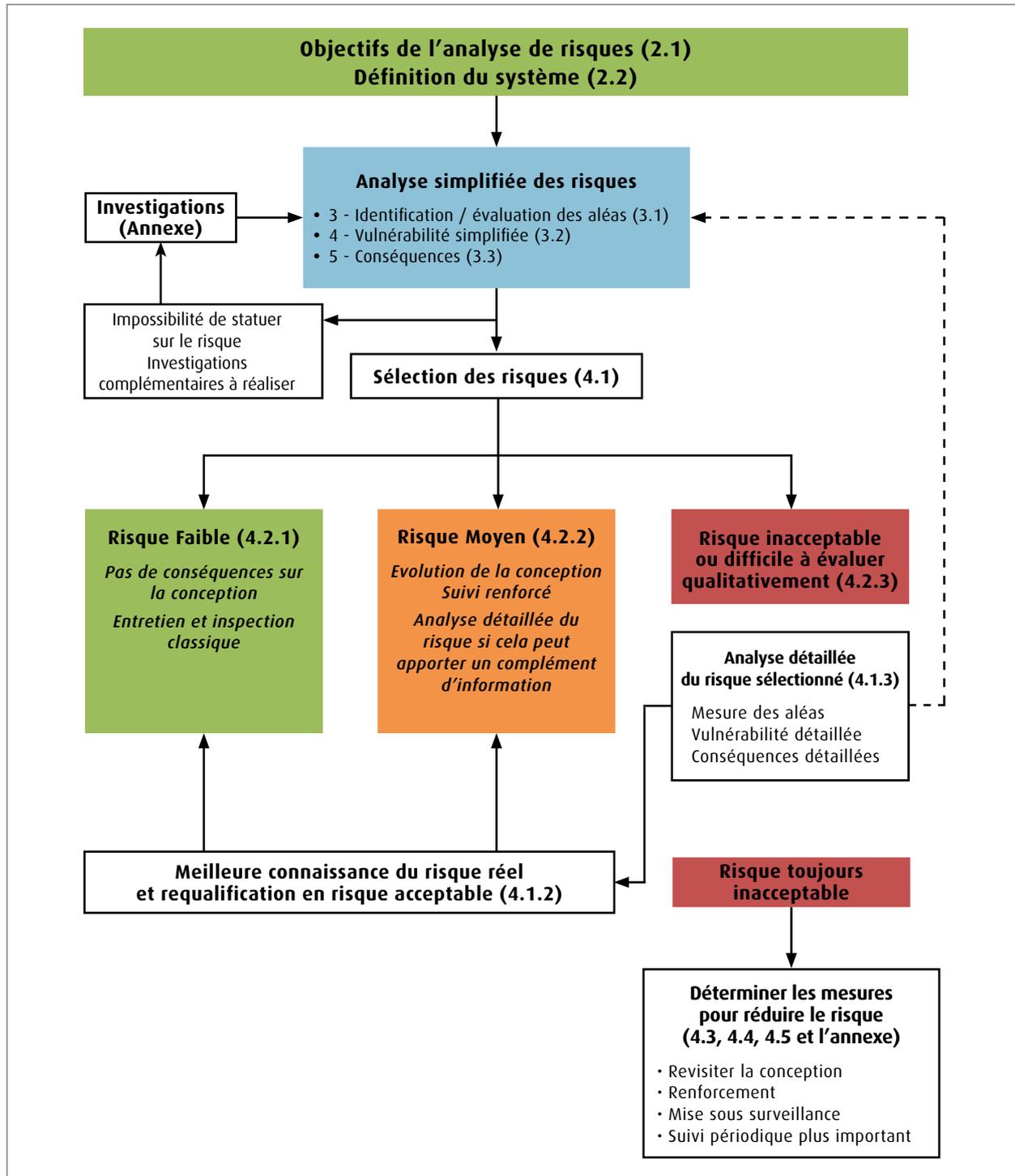


Figure 2 : Organigramme général de la méthodologie (d'après [1])





2

Définition des objectifs et définition du système d'étude

2.1 - Définition des objectifs

La présence de parements ne permet pas une application optimale des préconisations de l'ITSEOA. La méthodologie proposée a alors retenu trois risques pour le patrimoine étudié :

- le risque de mise en danger de l'usager ; la présence de parements peut perturber la surveillance, ne permettant pas le constat de certains défauts et donc leur traitement, avec pour conséquences possibles, des situations dangereuses pour les usagers. Il est toutefois précisé que l'analyse ne concerne pas les situations où la sécurité dans le volume circulé est le fait de causes directes et visibles, gérées par les procédures habituelles qui s'appliquent à l'ouvrage pour la surveillance, l'entretien et l'exploitation. Par exemple, pour la chute d'un parement, si la corrosion des attaches ou une dégradation progressive du scellement en est à l'origine, celle-ci est bien traitée à travers la présente analyse. En revanche, si l'origine de la chute est consécutive à la dégradation des plaques suite à un choc de véhicule, la présente analyse de risque n'apporte pas d'éléments d'appréciation supplémentaires ;
- le risque financier ; en effet, un défaut non traité à temps parce que non identifié du fait des parements peut évoluer vers une situation nécessitant un entretien beaucoup plus important, y compris financièrement ;
- le risque de ruine de l'ouvrage.

Ainsi les aléas, vulnérabilités et conséquences pris en compte dans l'analyse ont été choisis pour traiter ces risques.

2.2 - Définition du système d'étude

La méthodologie IQOA permet d'apprécier l'état des ouvrages non recouverts par des parements. La démarche d'analyse de risques proposée ici porte donc sur les ouvrages qui ont des parties recouvertes et ce, quel que soit le type de parement (protection au feu, protection phonique, parement architectural, etc.).

Outre les tunnels creusés, ce guide s'appliquera en l'état uniquement aux ouvrages de la famille IQOA F1 (soit les ouvrages de type tranchées couvertes) de la méthodologie IQOA Tranchées et Couvertures [5]. Ce choix se justifie puisque les autres familles n'ont pas ou très peu de parements rapportés.

En conséquence, le présent document concerne donc les tunnels creusés et les tranchées couvertes ayant des parements rapportés.

Pour les ouvrages des autres familles, le gestionnaire pourra s'inspirer de la méthodologie proposée s'il souhaite mener une analyse de risques sur cette partie du patrimoine.

Par ailleurs, cette méthodologie s'applique sur un tube (entité définie dans le guide du recensement et le fascicule 40 [3] [5]) dans un premier temps et, si nécessaire, à un tronçon voire une zone de désordre (voir chapitre maîtrise du risque).

Ainsi, il conviendra de prendre la donnée la plus défavorable sur le tube pour évaluer chacun des paramètres proposés et donc le niveau de risque dans un premier temps.





3 Analyse de risques simplifiée

3.1 - Identification et évaluation des aléas

Comme il est indiqué précédemment, l'aléa est par définition le phénomène à l'origine du risque. Quantifié par des niveaux d'intensité, il est évalué selon différents facteurs qui sont détaillés au paragraphe 3.1.1 et notés aXX.

Les aléas pris en compte permettent de réaliser une analyse de risques simplifiée. Certains aléas considérés trop complexes ou difficilement appréciables, ou non accessibles de façon simple à ce stade de l'analyse, n'ont pas été retenus quand ils n'ont pas un impact décisif sur la détermination fiable d'un niveau de risque. Il en est de même pour certains facteurs d'aléa.

Ces aléas ou facteurs d'aléa non retenus mais essentiels pour la conduite éventuelle d'une analyse de risques détaillée sont mentionnés au paragraphe 3.1.2, de façon non exhaustive.

Les aléas retenus ont été identifiés pour analyser les risques mentionnés ci-dessus. Ils sont cohérents avec, à la fois, la méthodologie générale de maîtrise des risques appliquée aux ouvrages d'art, les guides d'inspection et de gestion et les catalogues de désordres relatifs aux tunnels creusés et tranchées et couvertures (Fascicule 40 de l'ISTEOA, Guide d'inspection du génie civil des tunnels creusés, méthodologie IQOA Tranchées et couvertures [3] [4] [6]) et des situations rencontrées.

Le niveau d'aléa est obtenu en sommant toutes les valeurs des aléas retenus dans l'analyse (voir 3.1.3).

3.1.1 - Aléas retenus

3.1.1.1 - A1 : Corrosion

Deux aspects du phénomène de corrosion sont traités dans cet aléa :

- **La corrosion des armatures passives**

La majorité des ouvrages concernés sont des structures en béton armé même si certaines peuvent être occasionnellement, voire ponctuellement, précontraintes. La corrosion est un aléa qui semble ne concerner que les ouvrages de type tranchées couvertes étant donné que les tunnels sont principalement constitués de béton non armé (béton coffré non armé, etc.). Néanmoins, les ouvrages de tête des tunnels, ainsi que certains anneaux soumis à de fortes charges (par exemple ceux supportant des accélérateurs) ou encore certains tronçons, constitués de béton armé, devront bien être pris en compte.

- **La corrosion de certains systèmes d'attache des parements (notamment protection au feu)**

Si les conditions sont réunies pour que le phénomène de corrosion se fasse au niveau des armatures, les conditions sont aussi réunies pour que la corrosion se fasse au niveau des fixations des équipements et notamment des parements. Cela peut donc entraîner la chute sur la chaussée des objets fixés.

Ces deux sous-aléas sont réunis, car les facteurs associés leur sont identiques.

Ainsi, pour apprécier cet aléa, les facteurs suivants ont été étudiés :

- arrivée/présence/circulation d'eau : ce facteur semble essentiel pour que l'aléa se manifeste. Pour une appréciation simple, il a été retenu que le paramètre soit évalué à partir de la note IQOA EAU courante de l'ouvrage ;
- salage : le salage favorise la corrosion. Il faut préciser que dans le cas des tranchées couvertes ou des tunnels, le salage ne se fait pas directement au niveau de l'ouvrage. Cependant, le salage des réseaux routiers peut entraîner des désordres sur lesdits ouvrages (ruissellement, projections par les véhicules, etc.) du fait d'un vieillissement de l'étanchéité par exemple.

La carbonatation est un facteur de développement de la corrosion des armatures. Cependant, ce phénomène est difficilement appréciable directement et donc n'a pas été retenu au stade de l'analyse simplifiée.



Finalement, l'aléa **Corrosion** peut être caractérisé de la façon suivante :

Corrosion	Note IQOA Eau courante			
	1	2	3	
a11	0	1	2	
	Salage			
	Voie portée		Voie couverte	
	Non	Oui	Non	Oui
a12	0	1	0	1

Tableau 1 : Aléa corrosion

3.1.1.2 - A2 : Réactions de gonflement interne du béton

Cet aléa prend en compte les réactions alcali-granulats (RAG) et les réactions sulfatiques internes (RSI).

Pour apprécier cet aléa, les facteurs suivants ont été étudiés :

- composition du béton : l'information est difficile à obtenir donc non retenue au stade de l'analyse de risque simplifiée. En effet, les documents relatifs à la formulation des bétons des ouvrages anciens ne sont que très rarement conservés. Par conséquent, des prélèvements et des analyses minéralogiques seraient nécessaires mais sont bien trop coûteux à ce stade de l'analyse de risques ;
- conditions climatiques : il est fortement recommandé d'éviter le coulage de pièces massives pendant les périodes de fortes chaleurs de manière à éviter un échauffement excessif du béton. Devant la difficulté à obtenir ces informations, ce facteur n'est également pas retenu ;
- fissures en maillage : la présence de fissures **en maillage régulier** de 10 à 30 cm présentant des résurgences traduit généralement un phénomène de RGI (réaction de gonflement interne). L'inspection à nu des structures (avant pose des parements) permet de prendre en compte assez facilement ce facteur ;
- présence d'eau : la présence d'eau, en tant que réactif, est un facteur aggravant pour toutes les réactions du béton.
- présence de pièces massives : les effets de la chaleur d'hydratation dans les pièces massives en béton peuvent, lorsque toutes les conditions sont réunies, entraîner l'apparition de Réactions Sulfatiques Internes (RSI). Le paramètre permettant d'approcher au mieux ce facteur – et facile à obtenir – est la présence de pièces massives c'est à dire dans le cas de cette analyse de risques, de pièces dont la plus petite des dimensions est supérieure à 60 cm d'épaisseur [8] ;
- date de construction : la date de construction permet de prendre en compte la qualité des matériaux et le respect des recommandations concernant cet aléa. Il est par ailleurs considéré que les ouvrages construits après 1993 (date de publication du guide de recommandations LCPC pour la RAG [9]) et après 2007 (date de publication du guide de recommandations LCPC pour la RSI [8]) ne devraient plus être concernés par ces phénomènes, sous réserve du respect des règles de l'art.

Finalement l'aléa Réactions de gonflement interne du béton peut être caractérisé de la façon suivante :

Réactions du béton	Fissures en maillage			
	Non	Oui	Avec présence de pièces massives	Avec présence d'eau
a21	0	1	+1	+1
	Date de construction			
	Avant 1993	1993-2007		Après 2007
a22	2	1		0

Tableau 2 : Aléa Réaction du béton

Nota : La présence de pièces massives et la présence d'eau doivent être considérées seulement dans le cas où la présence de fissures en maillage a été constatée lors de la dernière visite à nu. Le parti pris est de ne pas sanctionner les ouvrages ayant des pièces massives et une circulation d'eau sans la présence de fissures en maillage.



3.1.1.3 - A3 : Gel/Dégel

Le gel peut avoir une influence néfaste sur les structures et sur les constituants des matériaux poreux (moellons, mortiers, bétons). La fréquence des alternances gel/dégel est la principale origine des dommages engendrés.

Les effets du gel peuvent s'exprimer sous différentes formes :

- formation de stalactites, d'amas ou de plaques de glace ;
- effritement superficiel des matériaux, voir formation de cavités (béton) ;
- désordres sur les équipements de génie civil (drains, joints) ;
- soulèvement de plate-forme.

Les manifestations de cet aléa peuvent remettre en cause la sécurité des usagers, et, par leur évolution, engendrer l'affaiblissement des structures.

Afin d'évaluer au mieux cet aléa dans le cadre d'une analyse de risques simplifiée, il a été choisi de s'intéresser aux facteurs suivants :

- zone de gel : selon la zone géographique dans laquelle se situe l'ouvrage, celui-ci va être plus ou moins sujet à l'aléa « gel ». Aussi, il est proposé de s'appuyer sur la carte des zones de gel définie par la norme sur les bétons NF EN 206/CN pour caractériser ce premier facteur ;

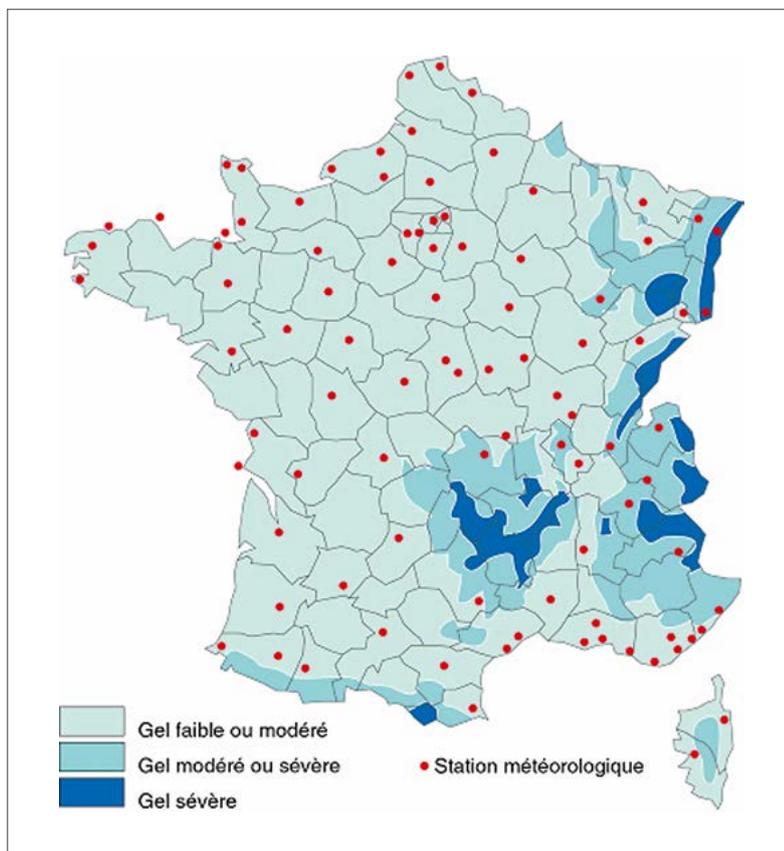


Figure 3 : Carte des zones de gel (d'après EN 206/CN)

- arrivée/présence/circulation d'eau : la présence d'eau est un facteur prépondérant pour l'aléa « gel ». Il est proposé de s'appuyer sur la note IQOA EAU courante de l'ouvrage pour apprécier ce facteur ; la pondération est ainsi effectuée en fonction de la quantité d'eau observée lors de l'attribution de la note IQOA EAU.



Finalement l'aléa Gel/Dégel peut être caractérisé de la façon suivante :

Gel/Dégel	Zone de gel (EN 206/CN)		
	Zone 1 (Gel faible ou modéré)	Zone 2 (Gel modéré ou sévère)	Zone 3 (Gel sévère)
a31	0	1	2
	Note IQOA EAU courante		
	1	2	3
a32	0	1	2

Tableau 3 : Aléa Gel/Dégel

3.1.1.4 - A4 : Défaut de résistance structurelle

Cet aléa prend en compte globalement tous les phénomènes pouvant entraîner à court, moyen ou long terme des défauts purement mécaniques.

Il est évalué au moyen de deux sous-aléas, chacun divisé en 3 facteurs :

- sous-aléa interne endogène :

ce sous-aléa recouvre toutes les erreurs qui ont pu se produire pendant la phase de conception ou de réalisation, et qui pénalisent la durée de vie de l'ouvrage ;

- défaut de conception : ce critère prend en compte d'éventuels défauts de conception comme une mauvaise adaptation de l'ouvrage à son environnement ou un mauvais dimensionnement ou un défaut des dispositions constructives (étanchéité, équipement, etc.) ;
- défaut de réalisation / de mise en œuvre : ce critère prend en compte les erreurs de réalisation et la qualité de la mise en œuvre des différents matériaux ou techniques constructives (on peut citer pour exemple : la qualité des contrôles, le savoir-faire des entreprises et des intervenants, la qualité d'exécution des assemblages, de mise en œuvre des aciers, etc.) ;
- défaut de qualité des matériaux : ce critère regroupe tous les défauts relatifs au matériau, comme une mauvaise qualité de granulats, l'utilisation d'une centrale non certifiée NF BPE, etc. ;

- sous-aléa externe d'origine humaine :

- changement d'usage de l'ouvrage : si l'ouvrage dimensionné pour un usage donné est utilisé à d'autres fins (élargissement, augmentation du trafic, etc.), ce fonctionnement peut entraîner des désordres mécaniques pouvant être graves et évolutifs ;
- exploitation de l'ouvrage : ce critère traite notamment des surcharges imprévues comme des transports exceptionnels mais un rechargement de chaussée ou des réparations peuvent également être pris en compte ;
- actions malveillantes : ce critère couvre notamment toutes les dégradations, vols ou autres atteintes à l'ouvrage ayant un impact sur sa structure porteuse à plus ou moins long terme (on peut citer comme facteurs : la facilité d'accès à des zones jugées sensibles, campements illicites, matériaux de valeur, etc.).

Certains de ces éléments sont difficiles à tracer et à retrouver mais lorsqu'ils existent, ces facteurs peuvent s'avérer fondamentaux dans la détermination du niveau d'aléa et donc du risque global d'un ouvrage. Même si parfois les dossiers d'ouvrage peuvent être incomplets, il est important de vérifier si ces défauts ont été relevés afin de les prendre en compte dans l'analyse de risques.



Finalement l'aléa Défaut de résistance structurelle peut être caractérisé de la façon suivante :

Défaut de résistance structurelle	Sous aléa interne endogène					
	Défaut de conception		Défaut de réalisation / de mise en œuvre		Défaut de qualité des matériaux	
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
a41	0	1	0	1	0	1
	Sous aléa externe d'origine humaine					
	Changement d'usage de l'ouvrage avec surcharge imprévue dans la zone d'influence		Exploitation de l'ouvrage		Actions malveillantes	
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
a42	0	1	0	1	0	1

Tableau 4 : Aléa Défaut de résistance structurelle

3.1.1.5 - A5 : Géotechnique

Cet aléa englobe plusieurs événements pouvant avoir une origine géologique, géotechnique ou hydrogéologique : tassements, affaissements, éboulements, glissements de terrain et augmentation de la poussée latérale des terres. Ces événements peuvent engendrer des désordres sur l'ouvrage de différents types :

- désordres au niveau des têtes, en cas de tassement, de glissement de terrain ou d'éboulement ;
- chute de blocs, pour les ouvrages au rocher, dans le cas d'éboulement ou de glissement ;
- écaillage mécanique, traduisant un excès de compression dans le revêtement, dans le cas de poussée latérale des terres ;
- fissures structurelles, dans le cas de poussée latérale des terres ou de tassements ;
- déformation de l'ouvrage (apparition de ventres, aplatissement, pincement), dans le cas de poussée latérale des terres.

Tous ces événements peuvent être caractérisés par les facteurs suivants :

- niveau de la nappe phréatique : lorsque le niveau réel de la nappe phréatique se situe au-dessus du radier (ou au-dessus de la chaussée en l'absence de radier), cette dernière occasionne des efforts de poussée latérale sur les piédroits. Les niveaux d'eau peuvent être connus à l'aide de piézomètres et sont variables dans le temps. Dans le cadre de cette analyse, il est retenu le niveau « moyen » de la nappe (dépassé 50 % du temps, noté niveau EB dans l'Eurocode 7) ;
- qualité des reconnaissances géotechniques et des études géologiques : ce critère qualitatif permet de juger si tous les risques liés au sol ont bien été identifiés lors de la conception de l'ouvrage. Des sondages inadaptés ou d'un seul type, trop courts ou pas assez nombreux conduisent à une prise de risques plus importante lors du dimensionnement de l'ouvrage. On pourra retenir les ordres de grandeur suivants pour juger de la bonne qualité : maillage des sondages inférieur à 50 m, longueurs des sondages supérieures à la profondeur de l'ouvrage, et sondages de différents types (par exemple, pressiomètres et carottés avec prise d'échantillons) ;
- remaniement des terrains dans la zone d'influence⁽²⁾ de l'ouvrage et postérieur à la construction de l'ouvrage : le remaniement des sols est susceptible de soumettre l'ouvrage à des sollicitations non prévues supérieures aux sollicitations pour lesquelles il a été dimensionné (travaux de terrassement à proximité de l'ouvrage par exemple) ;
- présence de terrains évolutifs : certains sols comme le gypse ou le calcaire peuvent être sujets à des phénomènes de dissolution en cas de circulation d'eau. Il se crée alors des cavités et des karsts qui peuvent conduire à des effondrements (fontis). La présence de cavités déjà reconnues sur le site (vides karstiques ou carrières minières) est un facteur aggravant ;
- présence de pentes naturelles importantes : la poussée latérale s'exerçant sur un piédroit à proximité d'une pente est un paramètre difficile à appréhender lors du dimensionnement des ouvrages. Cette poussée peut également évoluer avec le temps, la connaissance d'antécédents historiques de glissement de terrain à proximité immédiate de l'ouvrage est un facteur aggravant. A titre indicatif, on pourra considérer qu'une pente située dans la zone d'influence de l'ouvrage est importante lorsque sa hauteur est du même ordre de grandeur ou supérieure à la profondeur du niveau de la chaussée par rapport au terrain naturel, et on pourra considérer qu'elle est proche de l'ouvrage si la distance entre le pied de la pente et l'ouvrage est inférieure à la profondeur de la chaussée (cf. figure 4). Pour résumer, on peut estimer qu'une pente située dans la zone d'influence de l'ouvrage est importante quand elle fait environ 30° ou plus. A noter que ce critère concerne surtout les tranchées couvertes, pour les tunnels la notion de « coin de poussée » étant moins bien définie ;

(2) On se reportera utilement au fascicule 20 de l'ITSEOA quant à la définition de la zone d'influence.

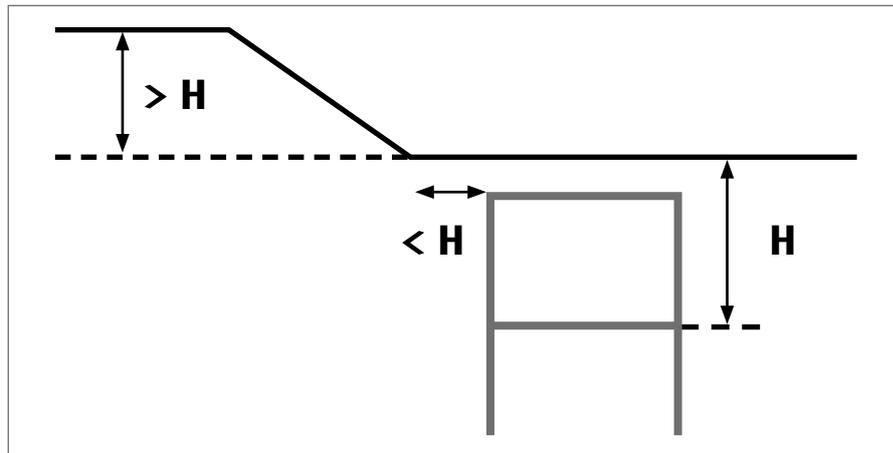


Figure 4 : Schéma pentes naturelles

- la présence (ou non) de sols qualifiés de mous, lâches ou compressibles sur une épaisseur importante : en présence de sols aux caractéristiques mécaniques médiocres, un ouvrage sera plus susceptible de se déformer qu'en présence de sols présentant de bonnes caractéristiques. A titre quantitatif, pourront être qualifiés de mous, lâches ou compressibles sur une épaisseur importante, des sols dont la pression limite nette pl^* est inférieure à 0,7 MPa sur une épaisseur supérieure à $H/2$, avec H la profondeur de la chaussée par rapport au terrain naturel. En l'absence du rapport géotechnique de l'ouvrage, on pourra se reporter aux différentes bases de sondages bibliographiques disponibles (bases de données du Cerema, ou base Infoterre : <http://infoterre.brgm.fr/>).

Finalement, l'aléa géotechnique peut être caractérisé de la façon suivante :

Géotechnique	Niveau de la nappe (niveau EB)		
	Sous le radier	Au-dessus du radier	Inconnu
a51	0	2	2
a52	Qualité des reconnaissances géotechniques (type, densité, profondeur)		
	Adapté	Moyennement adapté	Inadapté
a53	Remaniement des sols à proximité et postérieur à la construction de l'ouvrage		
	Non	Oui	
a54	Présence de terrain évolutif (gypse, calcaire...)		
	Non	Oui	Avec présence de vides (karstiques, mines, etc.)
a55	0	1	+1
a55	Présence de pentes naturelles importantes		
	Non	Oui	Avec antécédents d'existence de glissement
a56	0	1	+1
a56	Présence sur une épaisseur significative de sols qualifiés de mous, compressibles ou lâches		
	Non	Oui	
a56	0	2	

Tableau 5 : Aléa géotechnique

Nota : La présence de vides (respectivement l'existence d'antécédents de glissement) doit être considérée seulement s'il y a une présence de terrain évolutif (respectivement présence de pentes naturelles importantes). En effet, ces deux facteurs sont des facteurs amplifiant l'apparition de l'aléa mais ne peuvent être considérés comme seuls responsables.



3.1.2 - Aléas non retenus pour l'analyse simplifiée

Comme il est indiqué précédemment, la portée de la présente méthodologie est limitée aux aléas listés dans la partie précédente. D'autres aléas, bien que pouvant être présents dans un tunnel, une tranchée ou une couverture, ont donc été écartés, à ce stade d'analyse de risques simplifiée.

Les aléas ci-dessous n'ont ainsi pas été retenus, soit parce qu'ils relèvent d'une autre méthodologie d'analyse de risques, spécifique, qui peut être appliquée indépendamment – le gestionnaire dispose alors de plusieurs outils d'aide à la décision – soit parce que, au stade d'une analyse simplifiée, ils n'ont pas de portée significative ; autrement dit, leur prise en compte ne modifierait pas les conclusions de l'analyse.

Cette partie fournit quelques précisions sur les principaux aléas écartés.

3.1.2.1 - Séisme

Un événement sismique conduit systématiquement le gestionnaire à effectuer divers contrôles pour identifier les dommages qu'il a pu produire sur l'ensemble de l'ouvrage et vérifier que les conditions de sécurité sont satisfaisantes.

En effet, cette démarche est préconisée par l'ITSEOA au titre des « actions liées à des événements imprévus »⁽³⁾.

D'éventuels désordres sur la structure, la chute de matériaux, ou d'autres effets du séisme peuvent être masqués par les parements. Les contrôles permettent alors les vérifications nécessaires. Ils portent également sur l'intégrité de ces parements et de leurs fixations. La dépose partielle ou totale des parements peut être nécessaire.

L'aléa sismique relève par ailleurs d'une analyse spécifique du risque qui lui est associé, et qui n'est pas concurrente ni opposable à la présente⁽⁴⁾.

3.1.2.2 - Perte de précontrainte

Les traverses des tranchées couvertes, leurs ouvrages de tête et ceux des tunnels, sont parfois constitués d'éléments en béton précontraint. Pour ces pièces, l'éventualité d'une diminution des effets attendus de la précontrainte se traduit par une résistance insuffisante, et des désordres visibles.

Cet aléa est très rarement susceptible de se manifester de manière préoccupante sur un ouvrage du patrimoine étudié. Il n'est donc pas pris en compte dans la méthodologie pour ne pas perturber les résultats.

Il est par contre proposé au gestionnaire qui soupçonnerait ou identifierait un tel cas de réaliser une étude spécifique, avec l'aide de spécialistes de ce type de pathologie. Il peut également s'inspirer de la méthodologie d'analyse de risque pour les VIPP [11].

3.1.2.3 - Chute de blocs/rochers

Sur les ouvrages ou parties d'ouvrage non couverts ou faiblement couverts par des sols en place ou des remblais, la chute naturelle de masses rocheuses peut avoir des effets sur la structure. C'est également le cas avec la présence de fronts rocheux, confortés ou non, en tête d'ouvrage.

Il s'agit, comme ces cas d'aléas, d'événements particuliers de la vie de l'ouvrage. De la même manière, ces événements doivent être systématiquement pris en charge, de manière adaptée, pour déceler les désordres qu'ils ont pu provoquer.

Les analyses de risques naturels permettent, par ailleurs, d'évaluer la nécessité de réaliser différents travaux d'aménagements et de renforcement, de mettre en place des parades (écrans de filets, etc.), d'adopter des mesures particulières de surveillance, etc. Une telle démarche est complémentaire de la présente analyse de risques.

(3) Chapitre 2, article 3 / 3.3 du fascicule 0 de l'ITSEOA ainsi que chapitre 3, article 3 du fascicule 2 de l'ITSEOA.

(4) Méthodologie SISMOA.



3.1.2.4 - Incendie

Le traitement du risque incendie fait l'objet d'une réglementation spéciale (Fascicule 02 de l'ITSEOA). La majorité des parements disposés dans les ouvrages sont, justement, des éléments de protection contre les effets de l'incendie qui sont mis en place en application de cette réglementation.

Dans le cas de la manifestation d'un incendie, le gestionnaire procède à la vérification de toute la zone de l'ouvrage qui a été affectée par le feu ou par la chaleur. Il vérifie l'intégrité des panneaux et de leurs fixations, ainsi que celle des équipements et de la structure, en fonction des caractéristiques de l'incendie.

Ce contrôle adapté systématique est, comme dans le cas d'un événement sismique (cf. 3.1.2.2), réalisé en application des préconisations de l'ITSEOA.

3.1.2.5 - Verglas

Le verglas n'est pas pris en compte directement puisque les éléments structuraux des tunnels et tranchées et couvertures masqués par des parements ne sont pas affectés par sa présence.

Les effets de gel / dégel sont, par contre, présents dans ces ouvrages. Ils sont étudiés en A3 ci-dessus. Le salage de la chaussée, consécutif à la présence de verglas, est un facteur associé à l'aléa corrosion.

3.1.2.6 - Chute de parements

L'aléa chute de parements est écarté de l'analyse puisqu'il n'affecte pas l'état de la structure. Il est par contre, à l'origine d'un risque réel pour l'utilisateur mais il n'est pas étudié dans la présente analyse.

Il appartient au gestionnaire, dans le cadre de l'application de l'ITSEOA, de s'assurer du bon état des parements et de leurs fixations. Il peut réaliser pour cela des contrôles directs sur ces éléments. Pour définir la nature et la fréquence des contrôles à effectuer, il peut aussi utiliser, entre autres, les résultats de l'analyse de risques effectuée sur l'ouvrage considéré. Elle est susceptible de contenir des informations utiles.

3.1.3 - Calcul du niveau d'aléa global

Chaque aléa est évalué au moyen des critères présentés ci-dessus en additionnant les « points » donnés pour chacun des critères. Les valeurs minimale et maximale pour chaque aléa sont donc les suivantes :

	Min	Max
Corrosion	0	4
RGI	0	5
Gel/Dégel	0	4
Défaut de résistance structurelle	0	6
Géotechnique	0	12

Tableau 6 : Niveau des aléas

Le niveau d'aléa global est calculé en additionnant les niveaux obtenus pour chacun des aléas. Le niveau global est compris entre 0 et 30 et trois niveaux d'aléas sont alors fixés comme suit :

Niveau d'aléa	Note d'aléa
Faible	0 à 10
Moyen	11 à 21
Élevé	22 à 31

Tableau 7 : Niveau d'aléa



3.2 - Évaluation de la vulnérabilité

Conformément à la méthodologie générale d'analyse de risques sur les ouvrages d'art, deux vulnérabilités ont été considérées : la vulnérabilité initiale (avant pose des parements) et la vulnérabilité actuelle de l'ouvrage.

La vulnérabilité initiale est définie comme caractérisant la robustesse de l'ouvrage avant la mise en place des parements et prend en compte le dernier état connu de l'ouvrage.

La vulnérabilité actuelle est liée, quant à elle, à l'état de l'ouvrage actuel.

3.2.1 - VI : Vulnérabilité initiale

Cette vulnérabilité est décomposée comme la somme de trois vulnérabilités :

- une vulnérabilité liée à l'état de l'ouvrage à nu avant pose des parements ;
- une vulnérabilité liée au règlement de calcul utilisé et à l'âge de l'ouvrage considéré ;
- une vulnérabilité liée aux aspects géotechniques.

3.2.1.1 - Vulnérabilité liée à l'état de l'ouvrage à nu

L'état de l'ouvrage avant pose des parements apporte une information non négligeable et constitue un état de référence.

Par ailleurs, l'hypothèse prise est qu'une inspection détaillée à nu a eu lieu avant la pose de parements.

La vulnérabilité liée à l'état de l'ouvrage est la composition de la note IQOA GC et de la note IQOA Eau évaluées lors de la dernière inspection détaillée à nu :

Vulnérabilité liée à l'état de l'ouvrage à nu			
Note IQOA GC	Note IQOA Eau		
	1	2	3
1	0,5	0,5	1
2	0,5	1	2
2E	2	2,5	3
3	4	4,5	5
3U	5	5,5	6

Tableau 8 : Vulnérabilité liée à l'état de l'ouvrage à nu

Cette dernière est pondérée par un coefficient multiplicatif dépendant de l'ancienneté de la dernière inspection. Cette pondération permet de qualifier l'éventuelle évolution des désordres observés derrière les parements. Elle permet aussi de qualifier l'incertitude sur la pertinence de l'évaluation qui résulte de la pose des parements.

Pondération			
Ancienneté de la dernière IDP à nu			
< 6 ans	7-12 ans	13-17 ans	< 18 ans
1	1,5	1,75	2

Tableau 9 : Tableau de pondération dernière IDP

Exemple :

On suppose que l'ouvrage étudié a été coté 2E pour la cote IQOA Génie civil et 2 pour la cote IQOA Eau lors de la dernière inspection détaillée à nu qui a eu lieu il y a sept ans.

On obtient alors pour la vulnérabilité liée à l'état à nu de l'ouvrage : $2,5 \times 1,5 = 3,75$ points.



3.2.1.2 - Vulnérabilité liée au règlement de calcul utilisé et à l'âge

La vulnérabilité liée à l'ancienneté de l'ouvrage et aux règlements de calcul permet de prendre en compte les différentes techniques de conception qui sont liées au règlement de calcul utilisé. Il peut par ailleurs être considéré qu'un ouvrage ancien sera beaucoup plus sensible aux aléas retenus qu'un ouvrage jeune.

La vulnérabilité liée à l'âge et aux règlements de calcul est qualifiée de la façon suivante :

Vulnérabilité liée au règlement de calcul et à l'âge			
Règlement de calcul			
EC (2011)	BAEL (1983)	Avant	
0	1	2	
Ancienneté de l'ouvrage			
< 15 ans	15 ans à 30 ans	30 ans à 50 ans	> 50 ans
0	1	2	3

Tableau 10 : Vulnérabilité liée au règlement de calcul et à l'âge

Concernant les classes d'âges retenues, il a été considéré que dans le cadre d'ouvrages de type tranchées couvertes et tunnels⁽⁵⁾ :

- sur la période 15-30 ans : nécessité d'un premier entretien spécialisé sur la structure ;
- sur la période 30-50 ans : premières petites réparations ;
- 50 ans : demi-vie.

Ces seuils sont des seuils empiriques. Ils se retrouvent notamment dans divers projets de recherche sur la durabilité des ouvrages d'art (en particulier les projets BRIME et MEDITOSS). Par ailleurs, ces seuils sont aussi observés dans la pratique lors de l'exploitation des données IQOA sur les tunnels, tranchées et couvertures (Dossiers de synthèse annuels IQOA).

3.2.1.3 - Vulnérabilité liée aux aspects géotechniques

La vulnérabilité liée aux aspects géotechniques permet de prendre spécifiquement en compte le comportement de l'ouvrage face à l'aspect géotechnique.

Le critère retenu est le suivant :

- la profondeur de la tranchée : plus une tranchée est profonde plus son exécution est délicate (à cause notamment des problèmes de déviation des outils de forage), et plus les poussées latérales sur les piédroits sont fortes. Pour les tunnels, leur mode de réalisation et leur fonctionnement en compression rendent ce critère non pertinent, une note de 0 leur sera donc en général attribuée.

Géotechnique		
Profondeur de la tranchée		
< 8 m	8-12 m	> 12 m
0	1	2

Tableau 11 : Vulnérabilité géotechnique

3.2.2 - VA : Vulnérabilité actuelle

Cette vulnérabilité est décomposée comme la somme de deux vulnérabilités :

- une vulnérabilité liée à l'état actuel de l'ouvrage grâce aux indices visibles sur les parements ;
- une vulnérabilité liée à la présence de l'eau.

(5) Ces classes d'âge sont données à titre indicatif. Il est précisé que certaines opérations d'entretien spécialisé sont nécessaires dès la mise en service (hydrocurage, etc.).



3.2.2.1 - Vulnérabilité liée à l'état actuel de l'ouvrage

Cette vulnérabilité concerne la prise en compte de l'état actuel de l'ouvrage. Cet état, et donc, *a fortiori*, cette vulnérabilité, sont qualifiés de façon indirecte en fonction de ce qui est visible sur les parements rapportés. Ce résultat doit être déduit normalement après une visite d'évaluation de l'état de l'ouvrage telle qu'elle est définie dans le fascicule 40 de l'ITSEOA [3] et dans les guides méthodologiques IQOA. En effet, le gestionnaire est invité à apprécier l'état de la structure grâce à l'état des parements rapportés.

Ce résultat peut être utilement complété lors des actions de surveillance continue (patrouillage) ou de surveillance périodique (contrôle annuel, visite IQOA, inspection détaillée). En effet, les critères développés par la suite sont des indices essentiels quant à l'appréciation de l'état de l'ouvrage⁽⁶⁾.

La vulnérabilité liée aux indices sur les parements est décomposée de la façon suivante :

- déformation des plaques ;
- corrosion des attaches ;
- humidité sur les plaques ;
- fissuration des plaques ;
- décalage des plaques.

L'attention du gestionnaire est attirée sur le fait de prendre en compte l'état initial des parements rapportés et notamment de porter une attention particulière quant à la qualité des travaux de revêtements.

Désordres visibles sur parement				
Déformation des plaques	Non	Oui	1 ou 2 plaques situées dans une zone d'effort de flexion	Généralisé à un grand nombre de plaques dans une même zone
	0	1	+1	+2
Corrosion des attaches	Sans	Piqûre	Corrosion généralisée	Feuilletage/perte de section
	0	1	2	3
Humidité sur les plaques	Non	Traces sèches	Gouttes à gouttes et/ou plaque imbibée	Couleur eau anormale (rouille, marron, etc.)
	0	1	2	+1
Fissuration des plaques	Non	Oui	1 ou 2 plaques situées dans une zone d'effort de flexion	Généralisé à un grand nombre de plaques dans une même zone
	0	1	+1	+2
Décalage des plaques	Non	Oui	1 ou 2 plaques situées dans une zone d'effort de flexion	Généralisé à un grand nombre de plaques dans une même zone
	0	1	+1	+2

Tableau 12 : Vulnérabilité liée aux indices sur parements

Cette vulnérabilité est par ailleurs pondérée par le type de matériaux. En effet, une évolution rapide d'un désordre dû aux phénomènes considérés dans les aléas pourra être plus grave sur une structure fragile. L'interprétation des indices présents sur les plaques dépend alors du matériau constitutif de l'ouvrage. La pondération proposée est la suivante :

Pondération	
Type de matériaux	
Béton armé	1
Béton non armé	1
Maçonnerie	1
Béton précontraint	1,5

Tableau 13 : Pondération pour la vulnérabilité liée aux indices sur parements

(6) Le gestionnaire pourra notamment s'inspirer du modèle de procès-verbal de visite annuelle proposé dans le Fascicule 40 [3] en annexe 3 et des modèles proposés sur le site Piles de la DTecITM.



Exemple :

On suppose que l'ouvrage étudié est un ouvrage en béton non armé.

L'observation des désordres sur parements est la suivante :

- déformation des plaques : oui sur 1 ou 2 plaques situées dans une zone d'effort de flexion ;
- corrosion des attaches : sans ;
- humidité sur les plaques : traces sèches sans une couleur d'eau anormale ;
- fissuration des plaques : non ;
- décalage des plaques : oui généralisé à un grand nombre de plaques dans une même zone.

On obtient alors pour la vulnérabilité liée à l'état actuel de l'ouvrage :

$$[(1+1) + 0 + 1 + 0 + (1+2)] \times 1 = 6$$

3.2.2.2 - Vulnérabilité liée à la présence de l'eau

L'eau, ou la circulation de l'eau, est le principal facteur de vulnérabilité. Elle peut rendre l'ouvrage plus ou moins sensible aux aléas considérés précédemment.

Cette vulnérabilité est alors évaluée en prenant en compte la note IQOA EAU et la sous-note IQOA Drainage et assainissement courantes des ouvrages.

En effet, l'ouvrage est notamment dimensionné en prenant en considération les éventuelles poussées liées à l'eau. Cependant, une dégradation du système d'assainissement (colmatage des drains par exemple) peut provoquer des sollicitations non prévues liées à l'eau et rendre donc l'ouvrage plus vulnérable.

Il est donc proposé d'évaluer cette vulnérabilité de la façon suivante :

Présence de l'EAU		
Note IQOA EAU courante		
1	2	3
0	1	2
Drainage et Assainissement (Note IQOA courante)		
1	2	2E
0	1	2

Tableau 14 : Vulnérabilité liée à la présence de l'eau

3.2.3 - Calcul du niveau de vulnérabilité

Les vulnérabilités sont donc évaluées au moyen des critères présentés ci-dessus en additionnant les « points » donnés pour chacun des critères. On note alors théoriquement les valeurs minimale et maximale pour chacune des deux vulnérabilités :

	min	max
VA	0	22
VI	0	19

Tableau 15 : Niveau des vulnérabilités



Ensuite, pour chaque vulnérabilité, il est déterminé trois niveaux fixés comme suit :

- vulnérabilité VI :

Niveau VI	Note VI
Faible	0 à 6
Moyen	7 à 14
Élevé	15 à 19

Tableau 16 : Niveau de vulnérabilité initiale

- vulnérabilité VA :

Niveau VA	Note VA
Faible	0 à 7
Moyen	8 à 16
Élevé	17 à 22

Tableau 17 : Niveau de vulnérabilité actuelle

On combine enfin les niveaux de vulnérabilité VI et VA pour obtenir le niveau de vulnérabilité de l'ouvrage au moyen du tableau suivant :

		VA		
		Faible	Moyen	Élevé
VI	Faible	Faible	Faible	Moyen
	Moyen	Faible	Moyen	Élevé
	Élevé	Moyen	Élevé	Élevé

Tableau 18 : Niveau de vulnérabilité

Exemple :

On suppose que l'ouvrage étudié est évalué à 6 points pour VI et 14 points pour VA.

On obtient alors un niveau Faible pour VI et un niveau Moyen pour VL.

La vulnérabilité de l'ouvrage est alors (Faible x Moyen) = Faible.

3.3 - Évaluation de la criticité

A la suite de la détermination des niveaux d'aléa et de vulnérabilité, le niveau de criticité de l'ouvrage est obtenu en croisant les niveaux d'aléas et les niveaux de vulnérabilité. Ainsi, il est proposé de définir le niveau de criticité de l'ouvrage au moyen du tableau suivant :

		Niveau de vulnérabilité		
		Faible	Moyen	Élevé
Niveau d'aléa	Faible	Faible	Faible	Moyen
	Moyen	Faible	Moyen	Élevé
	Élevé	Moyen	Élevé	Élevé

Tableau 19 : Niveau de criticité



3.4 - Évaluation de l'importance des conséquences

Les conséquences sont évaluées, selon la méthodologie simplifiée proposée dans le guide « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art », au moyen d'un indice socio-économique (ISE) dépendant de quatre facteurs :

- la valeur patrimoniale de l'ouvrage ;
- les conséquences sur le niveau de service ;
- le trafic ;
- l'importance de l'itinéraire.

Les paragraphes suivants détaillent les critères retenus pour chacun des quatre facteurs.

3.4.1 - Valeur patrimoniale de l'ouvrage

L'importance d'un ouvrage sera d'autant plus grande qu'il sera long, fréquenté, et proche d'une agglomération. Les tunnels et tranchées couvertes présentent à ce titre une valeur patrimoniale élevée de par leurs dimensions et la technicité d'entretien et de construction qu'ils nécessitent.

La valeur patrimoniale de l'ouvrage est évaluée dans notre cas sur le seul critère de sa longueur. Les données de recensement sur le réseau routier national non concédé ont permis de définir trois classes de longueur sur le patrimoine des tunnels, tranchées et couvertures. Il est donc proposé l'évaluation suivante :

Valeur patrimoniale	Importance de l'ouvrage		
	L < 300 m	300 m < L < 700 m	L > 700 m
	0	1	2

Tableau 20 : Valeur patrimoniale de l'ouvrage

Ce critère est, pour des raisons de simplicité, uniquement dépendant de la longueur des ouvrages. De manière générale, dans le cadre d'un type de réseau (autoroutier, voie ferrée, communal), sauf rares exceptions, la valeur patrimoniale de l'ouvrage est principalement liée à la longueur de ce dernier et n'est impactée par la largeur de l'ouvrage que dans une moindre mesure.

Cependant, la valeur patrimoniale de l'ouvrage peut être augmentée pour tenir compte de l'environnement proche de l'ouvrage et des conséquences de sa ruine. Ce critère peut donc éventuellement être pondéré (coefficient 1,5) notamment en présence d'aménagements (immeubles, bureaux, voies ferrées, axes routiers, réseaux importants d'intérêt national/régional, etc.) au-dessus de la couverture de la structure ou franchissant une voie navigable.

3.4.2 - Conséquences sur le niveau de service

Ce critère caractérise l'impact sur le niveau de service pendant la réalisation de travaux d'entretien spécialisé ou de réparations, de renforcement ou lors du remplacement de l'ouvrage. La prise en compte de ces différents niveaux de travaux traduit la qualité de service que peut assurer le gestionnaire de l'ouvrage.

Compte tenu de la répartition géographique du patrimoine et de la spécificité des ouvrages considérés, il est proposé d'évaluer les conséquences sur le niveau de service de l'ouvrage comme suit :

- les conséquences d'une déviation sur la gêne et les surcoûts imposés (temps de trajets, coûts d'exploitation) ;
- la marge de manœuvre dont dispose le gestionnaire pour effectuer l'entretien de ses ouvrages et ainsi assurer leur pérennité ;
- la fréquentation/saturation de l'axe lors d'un usage courant qui traduit le service apporté en temps normal par l'infrastructure.

Dans le cas d'un axe routier important, il est peu probable que l'itinéraire de déviation n'ait pas de conséquences manifestes sur le trafic (allongement de parcours, gêne à l'utilisateur), sur l'activité économique (commerces, entreprises), sur l'accès aux services publics (services de secours, hôpitaux, écoles).

Le premier point permet d'estimer l'impact induit par une réduction du nombre de voies, ou d'une déviation. On considère indifféremment que tout ou partie du trafic peut être reporté sur un itinéraire de déviation quel que soit le type de voie (unidirectionnelle ou bidirectionnelle). Il revient au gestionnaire d'apprécier les possibilités existantes de déviation et d'évaluer les conséquences directement associées.



Les possibilités de fermeture ont été retenues pour permettre de qualifier la marge de manœuvre dont dispose le gestionnaire pour assurer des mesures préventives ou curatives face aux désordres constatés sur l'ouvrage. En effet, de nombreux gestionnaires n'ont pas forcément la possibilité d'intervenir dans un délai court après la constatation d'un désordre.

Le dernier point permet une qualification supplémentaire de l'usage de l'axe sur une année. Il permet ainsi de distinguer un ouvrage saturé de manière saisonnière (accès en hiver des stations de ski, départ en vacances), des ouvrages saturés quotidiennement (exemple des dessertes inter-urbaines pour des trajets domicile-travail).

Le nombre de voies n'a volontairement pas été cité directement, car il est déjà pris en compte dans le critère possibilité de fermeture et agit dans un sens favorable à la diminution des conséquences (possibilité de conserver un flux minimum et d'intervenir par portion de chaussée).

Conséquences sur le niveau de service	Conséquence d'une déviation			Possibilité de fermeture		
	Modérée	Forte	Très forte	Totale	Partielle	Non
	0	1	2	0	1	2
	Saturation de l'axe en usage courant					
	Aucun	Saisonniers	Quotidienne			
0	1	3				

Tableau 21 : Conséquences sur le niveau de service

3.4.3 - Trafic

Afin de tenir compte de la répartition géographique des ouvrages considérés et notamment de la concentration sur certains axes (A86 par exemple), le gestionnaire est invité à évaluer l'importance du trafic de façon relative entre les ouvrages et la spécificité du trafic circulant sur son réseau. En effet, les différents gestionnaires ont aujourd'hui en gestion un patrimoine d'un niveau de trafic équivalent (exemple de la séparation des différents niveaux de gestion de routes : autoroutier, départemental, communal).

La caractérisation de l'importance du trafic est donc volontairement laissée à l'appréciation du gestionnaire, afin qu'il puisse évaluer ce critère d'une manière discriminante, si cela était nécessaire. En effet, il peut être observé qu'un manque de nuance sur ce critère peut se traduire sur les résultats de l'analyse, c'est-à-dire sur le classement des ouvrages.

Dans le cas d'un patrimoine très diversifié, les trois catégories proposées peuvent être mises en relation avec les niveaux de trafic habituels (TMJA) suivants [1] :

- TMJA < 15k (Faible) ;
- 15k < TMJA < 80k (Moyen) ;
- 80k < TMJA (Fort).

Trafic	Importance de trafic		
	Faible	Moyen	Fort
	0	1	2

Tableau 22 : Importance de trafic

3.4.4 - Importance de l'itinéraire

Le gestionnaire est invité à définir, en fonction d'une analyse multicritères par exemple, l'importance de l'itinéraire sur lequel se situe l'ouvrage, selon ses enjeux locaux tels que :

- échanges économiques avec le trafic poids lourds ;
- zone d'itinéraire stratégique (pompiers, secours, hôpitaux, délégations étrangères, desserte d'aéroport international, etc.) ;
- itinéraire de convois exceptionnels très fréquents ou d'importance stratégique (ressources énergétiques, défense, etc.) ;
- fort trafic interurbain.



Ce critère représente la valeur stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage. Il relève de la hiérarchisation du réseau routier et distingue 3 niveaux :

- itinéraire très stratégique ;
- itinéraire stratégique ;
- autre itinéraire.

Cependant, cette importance stratégique peut aussi être déduite des types de voies de façon automatique (desserte nationale, régionale, locale). Le gestionnaire peut ensuite modifier lui-même certaines valeurs afin de tenir compte des particularités locales ou de l'importance stratégique d'un tronçon particulier.

Importance de l'itinéraire	Importance de l'itinéraire		
	Autre	Stratégique	Très stratégique
	0	1	2

Tableau 23 : Importance de l'itinéraire

3.4.5 - Évaluation du niveau de conséquence

Le niveau de conséquence est la somme des niveaux des quatre facteurs. Il est donc proposé de retenir les niveaux de conséquence suivants :

Niveau de conséquence	Note
Faible	0 à 5
Moyen	6 à 10
Élevé	11 à 14

Tableau 24 : Niveau de conséquence

3.5 - Évaluation du risque

Le risque est évalué en croisant les niveaux de conséquence et de criticité comme suit :

		Niveau de conséquence		
		Faible	Moyen	Élevé
Niveau de criticité	Risque Faible	Faible	Faible	Moyen
	Risque Moyen	Faible	Moyen	Élevé
	Risque Elevé	Moyen	Élevé	Élevé

Tableau 25 : Niveau de risque





4 Traitement du risque

Cette partie a pour objectif de proposer au gestionnaire une démarche et des orientations afin d'interpréter et traiter au mieux les résultats de l'analyse de risques simplifiée. Cette méthode ne se veut ni exhaustive ni systématique et le gestionnaire est invité à l'adapter et s'en inspirer pour prendre en compte les spécificités particulières de son patrimoine.

Par ailleurs, il est supposé dans cette partie que les paramètres de l'analyse de risques simplifiée sont à jour et ne comportent pas d'incertitudes ou d'inconnues.

4.1 - Étapes

Suite à l'analyse simplifiée, les ouvrages d'un parc d'ouvrages sont répartis en trois classes de niveaux de risque, en fonction du risque estimé pour chacun d'eux. Ce classement constitue la base d'une organisation de l'exploitation de l'analyse et des actions adaptées qui en résulteront, en particulier en termes de surveillance et d'entretien, mais aussi en matière d'exploitation des ouvrages et du réseau.

L'analyse de risques est un outil d'aide à la décision et ne doit en aucun cas être utilisée seule pour les décisions de gestion des ouvrages. Elle complète l'information du gestionnaire et l'appréciation de la situation de ses ouvrages qui résultent des autres démarches prévues par l'ITSEOA en les organisant dans une problématique de risques.

La méthodologie de maîtrise et de gestion du risque proposée s'appuie sur un principe d'enchaînement d'étapes :

- analyse simplifiée basée sur l'ensemble du tube ;
- analyse simplifiée basée sur le zonage du tube ;
- proposition d'actions à mettre en œuvre.

Dans tous les cas, le gestionnaire doit juger l'acceptabilité du risque en fonction des particularités de ses ouvrages.

Les orientations et la méthodologie proposées sont résumées dans la figure 5.

4.1.1 - Analyse simplifiée sur le tube

Cette première étape consiste à appliquer la méthodologie sur le tube, de façon « macroscopique ». L'idée est de prendre les niveaux de criticité et de conséquence les plus défavorables pour définir le niveau de risque de l'ensemble du tube, même si seule une petite partie de l'ouvrage (et non son linéaire dans sa totalité) est concernée.

Cette première analyse permet de définir trois niveaux de risques : faible, moyen, élevé. Par cette analyse menée de façon « macroscopique », un tri rapide est obtenu par niveau de risque sur le patrimoine.

Cette analyse qui conduit à la répartition des ouvrages du patrimoine dans les trois classes de niveaux de risque (faible, moyen, élevé) est exploitée, dans un premier temps, comme suit :

- les ouvrages de la classe de niveau de risque faible ne font pas l'objet de mesures particulières de surveillance et d'entretien supplémentaire à celles qu'impose leur état constaté (IQOA, IDP, etc.), sous réserve toutefois que la présence de parements soit prise en compte pour la gêne qu'ils apportent d'une manière adaptée ;
- pour les ouvrages classés en risque moyen ou fort : dans la mesure où l'analyse simplifiée sur le tube amène à une surévaluation du niveau de risque, il est proposé au gestionnaire d'appliquer l'analyse de risques simplifiée de façon « plus fine », en prenant en considération les zones de cotation IQOA (et le tronçonnage de l'ouvrage pour les critères liés à la structure).



4.1.2 - Analyse simplifiée sur le zonage

L'analyse simplifiée est ici appliquée sur le zonage et le tronçonnage (entités définies dans le fascicule 40 et les méthodologies IQOA associées [3] [4] [5]) du tube afin de confirmer le niveau de risque et/ou d'affiner le calcul.

Cette réévaluation permet, entre autre, d'exploiter au mieux les résultats de la méthodologie IQOA relative aux tunnels creusés et tranchées couvertes. Elle permet par ailleurs, notamment pour les ouvrages importants, de différencier utilement les mesures de surveillance et d'entretien le long de l'ouvrage.

Il sera alors obtenu une évaluation du risque qui permettra au gestionnaire d'identifier de façon précise ses zones à risques.

Cette deuxième étape permet de définir dans chaque zone le niveau de risques : faible, moyen ou élevé.

Les ouvrages pour lesquels toutes les zones apparaissent en risque faible sont considérés comme relevant des démarches habituelles préconisées par l'ITSEOA.

Quant aux ouvrages pour lesquels certaines zones apparaissent en risque moyen ou fort, il est proposé au gestionnaire de mettre en œuvre des actions supplémentaires présentées en 4.2. Au préalable une analyse de risques détaillée peut être conduite.

4.1.3 - Analyse de risques détaillée

Avant toute action, une analyse de risques détaillée peut être menée afin de déterminer précisément quels phénomènes conduisent à ce niveau de risque et si certains phénomènes ou paramètres écartés au stade de l'analyse simplifiée ne viennent pas potentiellement aggraver le niveau de risque. Les aléas non retenus peuvent notamment être ajoutés pour cette analyse.

Conformément au guide général sur la maîtrise des risques [1], cette analyse détaillée doit permettre de préciser et de mieux quantifier les différents aléas, vulnérabilités et conséquences. Cette méthode consolide l'analyse simplifiée et permet éventuellement de requalifier le niveau de risque.

Il est précisé que l'analyse détaillée des risques n'a pas vocation à être systématisée et doit être menée si le gestionnaire estime qu'elle apportera des informations supplémentaires quant à la gestion de son patrimoine.

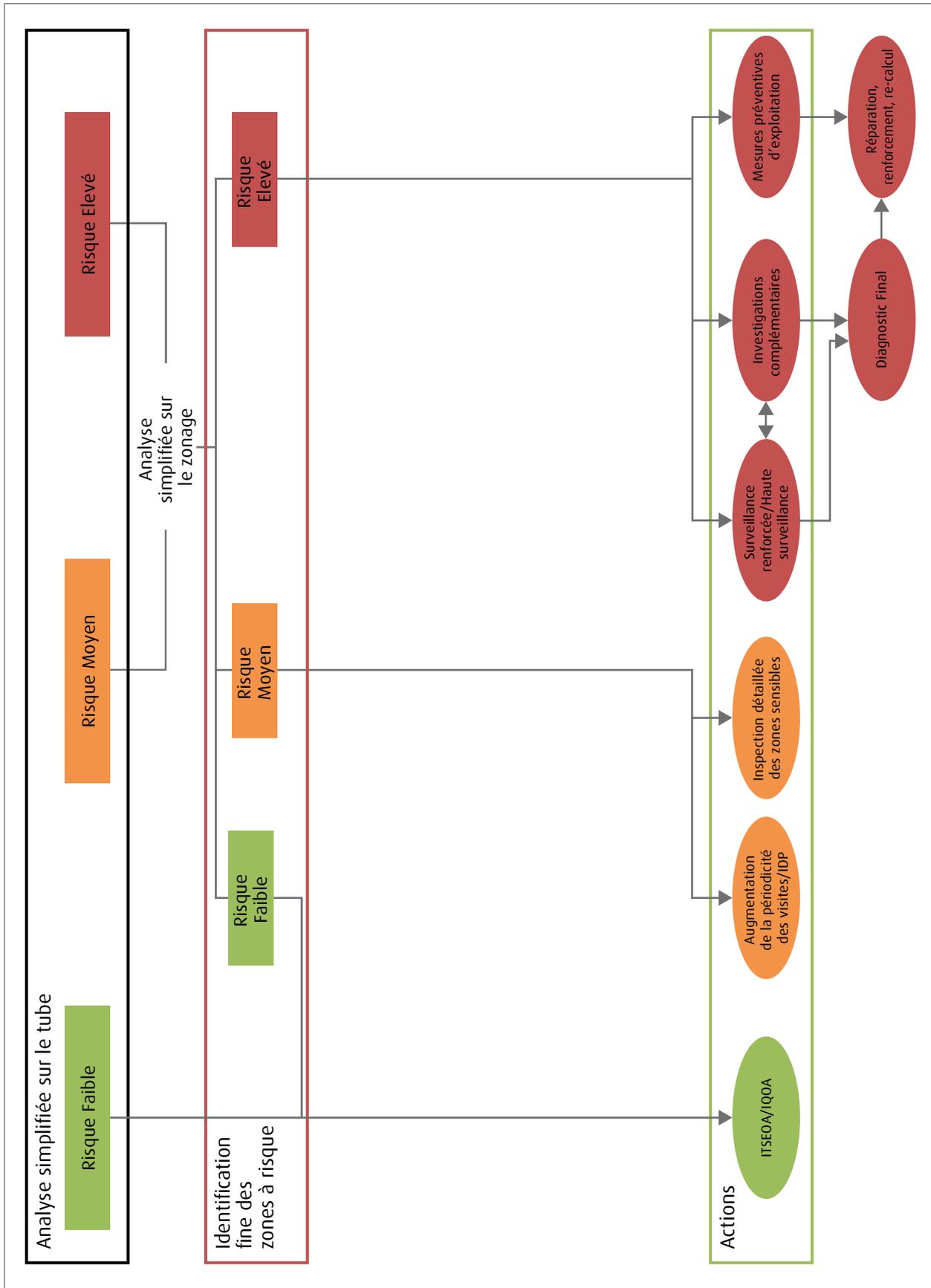


Figure 5 : Organigramme de traitement du risque



4.2 - Actions

Pour chacun des niveaux de risque, les actions proposées pour les niveaux inférieurs sont applicables.

4.2.1 - Risque Faible

Dans le cas où l'ouvrage (ou toutes ses zones) présente un risque faible suite à l'analyse simplifiée des risques, la gestion de l'ouvrage suit les préconisations, pratiques et recommandations de l'ITSEOA et de la méthodologie IQOA associée. Il n'y a pas de modification des périodicités de visite.

4.2.2 - Risque Moyen

Dans le cas où certaines zones présentent un risque moyen, le gestionnaire peut selon l'acceptabilité du niveau de risque (liste non exhaustive) :

- décider d'une adaptation (dans le sens d'un renforcement) de la périodicité « classique » proposée de l'ITSEOA en termes de surveillance et ainsi augmenter la fréquence des inspections détaillées sur l'ensemble de son ouvrage ;
- décider d'une inspection détaillée ou de visites IQOA « renforcées » de la zone concernée afin de surveiller l'évolutivité des phénomènes considérés dans l'analyse de risque. Il peut par exemple préconiser une visite trimestrielle sur un an ou deux ;
- réaliser une analyse du dossier d'exécution et notamment des justifications géotechniques.

4.2.3 - Risque Élevé

En plus des recommandations proposées pour le risque moyen, le gestionnaire peut s'inspirer des recommandations suivantes pour traiter le niveau de risque élevé :

4.2.3.1 - Surveillance renforcée et haute surveillance

Le gestionnaire peut prendre des mesures de surveillance renforcée de la zone identifiée à risque fort selon les dispositions prévues dans le Fascicule 03 de l'ITSEOA [12].

Si l'état défectueux est avéré, le gestionnaire pourra mettre en œuvre des mesures de haute surveillance selon les dispositions du même Fascicule 03 de l'ITSEOA [12].

4.2.3.2 - Investigations complémentaires

L'analyse de risques simplifiée menée sur le linéaire permet une identification précise de la zone à risque. Selon l'étendue de la zone, il peut être pertinent de vérifier l'état de l'ouvrage et le contexte géotechnique.

Des investigations complémentaires peuvent alors être menées, selon l'origine et la typologie causant le niveau de risque élevé. Les actions suivantes peuvent notamment être citées (liste non exhaustive) :

- auscultation : sondages (carottés, destructifs, etc.), passage d'endoscope (pour les parements décalés), radar, etc. ;
- instrumentation : mesures de convergences, pose de fissuromètres, pose d'inclinomètres scellés en forage, etc. ;
- vérification de l'état des équipements non génie civil : une vérification de l'état des équipements annexes peut donner de nombreux indices quant à l'état de la structure ;
- dépose des parements : dans le cas où la zone est peu étendue, la dépose d'une ou deux plaques peut permettre de lever l'incertitude sur la présence ou non d'un désordre et, ce à moindre coût. Si la dépose n'est pas possible pour diverses raisons, des trous dans le parement peuvent être réalisés afin de pouvoir accéder à la structure. Il conviendra de vérifier cependant auprès des services compétents, l'impact technique ou juridique du fait que le parement est altéré volontairement.

On pourra utilement se reporter au paragraphe 2 de l'annexe pour plus de détails.



4.2.3.3 - Mesures préventives d'exploitation

Des mesures préventives d'exploitation peuvent être prises (à titre provisoire ou définitif) afin de réduire le niveau de risque. Il peut notamment être cité de façon non exhaustive :

- fermeture d'une ou plusieurs voies de circulation ;
- restriction de circulation (par exemple, interdiction de convois exceptionnels, réduction de gabarit, etc.) ;
- réduction de la vitesse.

4.3 - Diagnostic

Le diagnostic a pour objectif d'évaluer l'état de l'ouvrage et de définir les causes à l'origine des désordres observés.

Le gestionnaire peut effectuer un diagnostic de son ouvrage en se concentrant sur la zone identifiée comme étant à l'origine du niveau de risque. Il peut orienter son inspection détaillée et ses investigations complémentaires selon les pistes que lui donne l'analyse de risques simplifiée voire détaillée et ainsi obtenir le diagnostic final de son ouvrage.

Ce diagnostic devra être mené par un chargé d'études, ou une équipe, qualifié en géotechnique et en ouvrages d'art.

4.4 - Réparation, renforcement et re-calcul

Le diagnostic conduit préalablement permet de définir les interventions à réaliser pour consolider l'ouvrage. Que ce soit pour réaliser un renforcement ou une plus grosse réparation, ce type d'intervention doit faire l'objet d'un véritable projet de réparation de l'ouvrage, s'appuyant éventuellement sur un re-calcul de la structure. Pour ce faire, le gestionnaire devra se rapprocher des spécialistes de conception et de réparation des ouvrages de type tunnels creusés et tranchées couvertes.

Par ailleurs, il est rappelé que de « petites réparations » (comme par exemple une réfection de l'étanchéité de la traverse dans le cas d'une tranchée couverte) peuvent parfois réduire le niveau de risque.



Annexe

Recommandations pour les projets de pose de parements rapportés et pour l'inspection des ouvrages déjà recouverts

Des recommandations sont proposées dans cette annexe de manière à guider le gestionnaire avant, pendant et après la pose de parements. Ces conseils interviennent en complément de l'analyse de risques et des précédents guides relatifs à la surveillance des tunnels, tranchées et couvertures.

1 - Projets de pose de parements rapportés

Cette partie a pour but d'aider le gestionnaire d'ouvrages lorsque celui-ci décide de recouvrir une surface importante d'une structure par des parements rendant ainsi la surveillance globale de l'ouvrage difficile.

Préalablement, il est nécessaire de faire réaliser une inspection détaillée exceptionnelle de l'ouvrage par des inspecteurs qualifiés conformément à l'ITSEOA. Cette visite permettra d'établir une cartographie des différents désordres avant le recouvrement de la structure. Chaque désordre devra être précisément repéré sur des planches techniques afin de s'assurer de pouvoir, par la suite, identifier les parements masquant ceux-ci.

A la suite de cette inspection détaillée, il appartient au maître d'ouvrage gestionnaire d'effectuer une analyse globale des désordres en tenant compte des recommandations faites par les inspecteurs dans le but de :

- prévoir d'effectuer, avant le recouvrement de la structure, les actions d'entretien et de réparation éventuelles ;
- définir des zones dites sensibles qui devront faire l'objet d'une vigilance particulière lors des futures visites, qu'elles soient actuellement en bon état ou non mais particulièrement susceptibles d'évoluer ;
- étudier la possibilité de mettre en place des panneaux amovibles au niveau de ces zones particulières afin de faciliter les actions de surveillance ultérieures.

Il est conseillé au maître d'ouvrage d'associer les personnes qu'il charge de l'inspection détaillée de la structure lors de ces étapes de réflexion. Il est également possible d'en faire la demande explicite pour que cette réflexion soit menée au cours de l'inspection et que les propositions soient incluses au rapport d'inspection.

En phase travaux, le maître d'ouvrage doit rester vigilant afin que ses recommandations soient bien prises en compte par l'entreprise effectuant la pose des parements. Il convient également qu'il acquiert toutes informations potentiellement utiles pour la gestion ultérieure, portant par exemple sur l'identification et les caractéristiques des parements, les dispositifs et modes de fixations, etc. Pour ce faire, une concertation avec le maître d'œuvre ou l'appui d'une AMO permet de définir les modalités de contrôle d'une exécution conforme à ses attentes. A cette occasion, il est vivement conseillé de repérer et de marquer de manière indélébile les parements recouvrant les zones dites sensibles pour faciliter les actions de surveillance ultérieures.

Une autre possibilité pourrait consister à prévoir des accès spécifiques permettant d'effectuer les visites. Par exemple, un décalage suffisant des parements avec la structure peut permettre l'emploi satisfaisant de moyens fiables de contrôles non destructifs (caméras, endoscopes, etc.) – voire d'accéder directement à certaines parties de la structure.

2 - Surveillance des ouvrages recouverts d'un parement

D'une manière générale, il convient de se référer à l'ITSEOA et ses méthodologies IQOA associées quant à la manière d'effectuer la surveillance des ouvrages d'art.

Par ailleurs, ce paragraphe ne détaille pas des mesures telles que la surveillance renforcée ou la haute-surveillance qui peuvent être prises dans certains cas. Il convient de se reporter à l'ITSEOA et notamment son fascicule 03 [12].

2.1 - Inspection détaillée périodique

Dans le cas des inspections détaillées il convient de se reporter aux guides de l'inspecteur IQOA – tranchées et couvertures [6] et au guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers [4].

Pour rappel, dans le cas de zones recouvertes par un parement, l'inspection de la structure repose sur l'évaluation de ce parement. L'observation des défauts et désordres apparents qu'il présente éventuellement permet à l'inspecteur, dans une certaine mesure, de supposer la présence de désordres de la structure derrière ce parement. Ainsi il est rappelé que, par convention, la cotation IQOA de la structure est égale :

- à celle du parement, si celui-ci présente des désordres ;
- à la note IQOA de l'ouvrage avant pose des parements, si ces derniers ne présentent pas de désordres.

Afin d'orienter la réflexion de l'inspecteur, il est impératif de se référer à la dernière IDP à nu de la structure. Les zones repérées et dites sensibles devront faire l'objet d'une vigilance accrue lors de l'inspection détaillée. De plus, il appartient au maître d'ouvrage de fournir à l'équipe d'inspection les procès-verbaux des dernières visites IQOA et des contrôles annuels. Ces documents devront être analysés préalablement à l'inspection détaillée par l'équipe d'inspection (inspecteur et chargé d'études ouvrages d'art) pour que celle-ci soit la plus efficace possible.

En cas de doute sur l'état de la structure derrière le parement, le chargé d'études pourra proposer des investigations complémentaires à mener pour lever les incertitudes. Pour ce faire, le gestionnaire pourra se référer au 4.2.3 du présent document, les actions suivantes pouvant être menées prioritairement :

- dépose des parements – Il s'agit de la solution la plus évidente mais elle peut être difficilement compatible avec les contraintes d'exploitation ;
- utilisation d'un endoscope :
 - dans le cas de parements décalés, il est parfois possible de faire passer la tête d'un endoscope à l'arrière des parements afin de vérifier l'état de la structure,
 - le cas échéant, il peut être possible de percer un trou de faible diamètre pour pouvoir effectuer le contrôle souhaité. Dans le cas d'éléments de protection contre le feu, si l'endommagement reste localisé, la protection (et donc la tenue au feu de la structure dans son ensemble) n'est techniquement pas remise en cause.

Par ailleurs, un suivi régulier de l'état du parement pourra être effectué ; des visites périodiques afin de vérifier l'évolution ou non des désordres sur le parement défectueux peuvent renseigner le maître d'ouvrage sur le degré d'urgence à intervenir.

Remarque : de manière générale, il existe diverses méthodes non destructives permettant l'observation de désordres sur les parties non visibles d'une structure. Dans le cas de parements rapportés, il conviendra d'estimer le coût des méthodes proposées au regard de la dépose de ce parement – méthode restant la plus fiable pour lever toute incertitude.

Le gestionnaire pourra se référer aux travaux du GT14 de l'AFTES sur les méthodes d'auscultation des ouvrages souterrains.

2.2 - Visite d'évaluation et contrôle annuel

Il est écrit dans le fascicule 0 de l'ITSEOA : « Dans le cas des tunnels et des tranchées, pour lesquels le contrôle annuel est spécifique et très détaillé, et pour lesquels une inspection détaillée est réalisée tous les six ans, la pertinence d'une visite d'évaluation intermédiaire peut être réexaminée. La cotation triennale se fera alors sur la base de la dernière inspection détaillée et des résultats des contrôles annuels effectués depuis lors. »

Ainsi, dans le cas des ouvrages recouverts d'un parement masquant pratiquement en totalité la structure, il apparaît plus judicieux d'effectuer des contrôles plus réguliers des parements afin de se prémunir contre toute évolution rapide de désordres non visibles dans leur phase initiale. Le contrôle annuel renforcé s'impose donc comme une solution plus sécuritaire pour le maître d'ouvrage gestionnaire.

Dans le but de faciliter ce contrôle annuel, un cadre de procès-verbal pour les tranchées couvertes est proposé sur le site Piles du Cerema. Il reprend les éléments que l'on retrouve habituellement, tout en apportant des précisions sur la localisation des désordres rencontrés. Pour les tunnels, il est proposé dans le guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers [4] et sur le site du CETU, un cadre de compte-rendu de contrôle annuel. L'agent effectuant la visite est amené à noter les PM de début et de fin des désordres. Pour mener à bien cette visite, il est fortement conseillé de récupérer au préalable les conclusions des derniers contrôles annuels et de la dernière inspection détaillée. De plus, la dernière cotation de l'ouvrage par zones ainsi que le relevé des désordres avant pose des parements est essentiel pour cibler les zones nécessitant une vigilance accrue.

3 - Construction d'ouvrages neufs

Dans le cas de la construction d'ouvrages neufs, deux cas sont identifiés dans ce document.

3.1 - Les structures sans parements rapportés

D'une manière générale, il est conseillé au maître d'ouvrage constructeur de privilégier des conceptions d'ouvrages qui respectent les règlements et normes en vigueur qui évitent le recours à la mise en place de parements masquant la structure porteuse.

Des évolutions technologiques récentes facilitent l'accès à de telles conceptions. Ainsi, l'emploi de bétons de structure présentant une bonne résistance au feu peut être envisagé depuis les années 2010, évitant ainsi l'emploi de parements de protection de la structure dans les ouvrages qui doivent être protégés contre l'incendie⁽⁷⁾.

Il en va de même pour tout autre type de parement rapporté. Par exemple, une conception adaptée du projet d'ensemble sera à privilégier pour éviter l'ajout sur le revêtement d'éléments visant à réduire les nuisances sonores.

3.2 - Les structures avec parements rapportés

Si, pour quelque raison que ce soit, il n'est pas possible d'éviter la pose de parements rapportés, il convient alors d'adopter les recommandations décrites dans la partie 1 de l'annexe. Le maître d'ouvrage devra, par exemple, fixer un point d'arrêt avant la pose des parements pour qu'une inspection détaillée de la structure à nu soit effectuée.

(7) Par exemple, la tranchée couverte de la RN19 - Contournement de Boissy-St-Léger (Dpt 94) a été construite selon cette approche.

Bibliographie

- [1] Maîtrise des risques - Application aux ouvrages d'art. Sétra, 2013.
- [2] ITSEOA, Fascicule 0 - Dispositions générales applicables à tous les ouvrages. Sétra, 2010.
- [3] Fascicule 40 - Tunnels et tranchées couvertes - Génie civil et équipements. Deuxième partie de l'ITSEOA. Sétra/CETU, 2011.
- [4] Guide de l'inspection du génie civil des tunnels - Du désordre vers le diagnostic. Cetu, 2014.
- [4 Bis] Guide de l'inspection du génie civil des tunnels - Catalogue des désordres. Cetu, 2014.
- [5] IQOA Tranchées et couvertures - Recensement des ouvrages. Cerema, 2014.
- [6] IQOA Tranchées et couvertures - Guide de l'inspecteur. Cerema, 2014.
- [7] Guide pour la conception générale du génie civil des tranchées couvertes. Sétra, 2002.
- [8] Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne. LCPC, 2007.
- [9] Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction. LCPC, 1993.
- [10] AFTES GT32. Tunnels et Espace Souterrain n° 232, juillet-août 2012.
- [11] Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes (VIPP). Sétra, 2010.
- [12] ITSEOA, Fascicule 3 - Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde. Sétra, 2010.





Glossaire

Aléa : l'aléa est le phénomène à l'origine du risque, qui peut se produire ou non au cours de la vie de l'ouvrage. Il est important de noter que l'aléa est « incertain ».

Conséquences : les conséquences comptabilisent les dommages directs à la fin de l'événement exceptionnel sur les ouvrages (et les coûts de réparation associés) et les vies humaines.

Criticité : la criticité est le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité.

Haute surveillance : mesure d'exception qui consiste à guetter l'apparition d'un signe faisant craindre la possibilité de défaillance à très court terme.

IQOA : Image Qualité Ouvrage d'Art. C'est la méthodologie d'évaluation de l'état des ouvrages d'art du réseau routier national préconisée par l'ITSEOA.

Parement ou Parement rapporté : tout type de matériaux mis en place à l'intrados de l'ouvrage ou sur ses piédroits dans le but d'en améliorer l'aspect et les propriétés de surface (résistances mécaniques, résistance à l'environnement, etc.). On distingue les parements décalés, plaqués ou adhérents par leur mode de fixation à la structure de l'ouvrage.

Parements adhérents : parements constitués d'éléments préfabriqués collés en plein (carrelage, peinture, enduit d'imperméabilisation, produits de protection, etc.).

Parements décalés : parements constitués d'éléments préfabriqués et positionnés bord à bord au moyen d'une structure porteuse, solidaire ou indépendante de l'ouvrage lui-même.

Parements plaqués : parements constitués d'un ensemble d'éléments préfabriqués positionnés bord à bord et fixés ponctuellement, sans l'intermédiaire d'une structure porteuse.

Risque : le risque est le danger éventuel, plus ou moins prévisible, qui peut affecter un projet.

Revêtement : structure résistante placée le plus à l'intrados du tunnel qui peut avoir une fonction mécanique, d'étanchéité ou liée à l'exploitation.

Surveillance renforcée : mesure de surveillance mise en œuvre lorsque l'état d'un ouvrage le justifie, ou en cas d'incertitude sur l'origine, la nature et la cause de désordres ou lorsque l'ouvrage a un caractère innovant ou exceptionnel.

Vulnérabilité : la vulnérabilité est la sensibilité d'un ouvrage vis-à-vis de l'aléa. Cette vulnérabilité dépend de l'aléa proprement dit, mais aussi de l'ouvrage, car les ouvrages sont plus ou moins sensibles aux différents aléas.



© 2016 - Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, créé au 1^{er} janvier 2014 par la fusion des 8 CETE, du Certu, du Cetmef et du Sétra.

Le Cerema est un établissement public à caractère administratif (EPA), sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère du Logement et de l'Habitat durable. Il a pour mission d'apporter un appui scientifique et technique renforcé, pour élaborer, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques de l'aménagement et du développement durables, auprès de tous les acteurs impliqués (État, collectivités territoriales, acteurs économiques ou associatifs, partenaires scientifiques).

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition › Cerema, Direction technique infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia : **Pascale Varache**

Mise en page › **Pascale Varache - Cerema**

Illustration couverture › © **CETU**

Illustrations et dessins intérieurs › © **CETU - © Cerema**

Impression › **Graph Imprim - France Repro - 9-11, rue Sinclair - 94000 Créteil - Tél : 01 48 93 85 85**

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Graph Imprim est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Achévé d'imprimer : **mars 2016**

Dépôt légal : **mars 2016**

ISBN : **978-2-37180-121-9**

ISSN : **2276-0164**

Pour toute correspondance › **Cerema - DTecITM - Bureau de vente - BP 214 - 77487 Provins Cedex**
ou par mail › **bventes.DTecITM@cerema.fr**

www.cerema.fr › Rubrique « Nos éditions »

La collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoirs-faire...), dans une version stabilisée et validée.

Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Analyse de risques appliquée aux tranchées couvertes et aux tunnels creusés avec parements rapportés

La majorité des ouvrages de type tunnels creusés et tranchées couvertes comportent aujourd'hui des parements qui masquent la structure. L'application des méthodes d'inspection classiques n'est donc plus optimale.

À la demande la DGITM/DIT (Direction Générale des Infrastructures du Transport et de la Mer/Direction des Infrastructures de Transport), le réseau scientifique et technique du ministère a mis au point une méthodologie d'analyse des risques spécialement adaptée à ce type d'ouvrage. Cette méthode permet à un maître d'ouvrage d'analyser et de classer l'ensemble de ses tunnels creusés et tranchées couvertes en fonction des aléas auxquels ils sont soumis, de leur vulnérabilité et des conséquences de leur défaillance potentielle.

L'objectif est aussi d'aboutir aux meilleurs arbitrages techniques et financiers compte tenu des enjeux socio-économiques et humains.

Sur le même thème

- Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes (VIPPP) - Sétra, 2010
- Analyse des risques des ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie « Terre Armée® » - Cerema, 2014
- Analyse des risques appliquée aux buses métalliques - Cerema, 2015
- Maîtrise des risques - Application aux ouvrages d'art - Sétra, 2013

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment

ISSN : 2276-0164

ISBN : 978-2-37180-121-9

