

Analyse des risques appliquée aux buses métalliques



Guide méthodologique
**Analyse des risques
appliquée aux buses métalliques**



Ont participé à la réalisation de ce guide :

Groupe de rédaction :

- Jacques BILLON (Cerema - Ouest)
- Davy PRYBYLA (Cerema - Est)
- Laurent RIOU (Cerema - Ouest)
- Jean-Marc TARRIEU (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Aurore BRACH (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Brice MACOUIN (DIR Ouest)
- Laurène FAURIA (DIR Centre-Est)

Groupe de relecture :

- Véronique BICILLI (DIR Massif Central)
- Pascal DUCHATEAU (DIR Atlantique)
- Eric DELAHAYE (Cerema - Nord-Picardie)
- Laurent LLOP (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Frédéric MARTY (DIR Méditerranée)

Développement de la méthodologie et déploiement de l'étude :

- Jacques BILLON (Cerema - Ouest)
- Vincent FARDEAU (DIR Ile-de-France - ex-Sétra)
- Gilbert HAÏUN (ex-Sétra)
- Jean-Claude HIPPOLYTE (ex-Sétra)
- Davy PRYBYLA (Cerema - Est)
- Laurent RIOU (Cerema - Ouest)
- Benoît THAUVIN (Cerema - Ouest)
- Jean-Marc TARRIEU (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Gilles LACOSTE (ex-Sétra)

Coordination :

- Aurore BRACH (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)





Sommaire

Avant-propos	5
Chapitre 1 - Introduction à l'analyse de risques	7
1.1 - Présentation	7
1.2 - Définition	7
1.3 - Principe d'une analyse des risques	8
Chapitre 2 - Étape 1 : Objectifs de l'Analyse de Risques	10
Chapitre 3 - Étape 2 : Système de l'Analyse de Risques	11
Chapitre 4 - Étape 3 : Identification des aléas	13
4.1 - Présentation des aléas	13
4.2 - Aléa corrosion	14
4.3 - Aléa affouillement	15
4.4 - Aléa stabilité du remblai	16
4.5 - Aléa charges d'exploitation	19
Chapitre 5 - Étape 4 : Vulnérabilité aux aléas	20
5.1 - Principe de prise en compte de la vulnérabilité de l'ouvrage	20
5.2 - Vulnérabilité à la corrosion	20
5.3 - Vulnérabilité à l'aléa affouillement	22
5.4 - Vulnérabilité stabilité du remblai	23
5.5 - Vulnérabilité charges d'exploitation	23
Chapitre 6 - Étape 5 : Gravité des conséquences	25
6.1 - Principe de prise en compte de la gravité des conséquences	25
6.2 - Importance de l'itinéraire de la voie portée	25
6.3 - Difficultés déviation	25
6.4 - Impact sur la voie franchie	26
6.5 - Croisement des critères	26
Chapitre 7 - Étape 6 : Évaluation du niveau de risque	27
7.1 - Évaluation de la criticité	27
7.2 - Évaluation du niveau de risque	27
7.3 - Évaluation du niveau de risque global	27
Chapitre 8 - Éléments de traitement des risques	29
8.1 - Sélection des risques	29
8.2 - Analyse et études complémentaires	31
8.3 - Traitement du risque	32
Notations et symboles utilisés	33
Bibliographie	34



Avant-propos

L'analyse de risques appliquée aux ouvrages d'art est un outil qui permet des arbitrages techniques afin d'assurer la sécurité des usagers (ainsi que les agents chargés de l'entretien) et la pérennité des ouvrages. Elle est bien adaptée à la gestion de patrimoine composé d'ouvrages sensibles et présentant des enjeux socio-économiques ou de sécurité importants vis-à-vis des usagers de la route. Cette démarche est donc prioritairement mise en œuvre pour des familles d'ouvrages dont les connaissances actuelles de leur état ne suffisent pas à écarter certains dysfonctionnements bien identifiés, qui ont déjà pu conduire à de graves conséquences.

C'est notamment le cas des buses métalliques, dont plusieurs ruptures causées par des phénomènes de corrosion ou d'affouillements ont pu être observées. De plus, ce sont des ouvrages dont la durée de vie réelle est réduite par rapport à la durée de service de 70 ans initialement prévue. Enfin, la famille des buses métalliques s'avère coûteuse en matière de réparations (souvent délicates à réaliser avec notamment les contraintes liées à la loi sur l'eau) ou de remplacements. C'est pourquoi une analyse de l'ensemble des buses métalliques a été décidée par la DGITM/DIT (Direction Générale des Infrastructures du Transport et de la Mer / Direction des Infrastructures de Transport).

Cette méthodologie d'analyse des risques vient compléter le groupe de celles déjà publiées : pont de type VIPP (novembre 2010)⁽¹⁾, ouvrages en terre armée (décembre 2014)⁽²⁾, tranchées et couvertures⁽³⁾ (à paraître)...

La méthodologie décrite dans ce guide a été appliquée aux buses métalliques du patrimoine de l'État, mais ses principes pourront être repris par d'autres maîtres d'ouvrage : collectivités territoriales, exploitants autoroutiers... des adaptations des critères ou des seuils seront parfois nécessaires afin de correspondre au patrimoine concerné.

L'analyse de risques vient s'adjoindre à d'autres outils, méthodes et règles de gestion des ouvrages (ITSEOA⁽⁴⁾, IQOA⁽⁵⁾, méthode départementale, ...) qui sont basées principalement sur une analyse visuelle de l'état des ouvrages et sur les phénomènes déjà subis. L'analyse de risques apporte, en complément, une ouverture sur les événements à venir.

En tout état de cause, afin de conserver un résultat fiable et exploitable, l'analyse de risques doit être régulièrement mise à jour pour tenir compte de l'évolution des indicateurs. Enfin sa fiabilité est liée à la qualité des données entrantes.

L'analyse de risques aide donc à la gestion globale d'un patrimoine d'ouvrages concernés. Elle n'a pas vocation à donner des informations quant à l'état des ouvrages. Il est ainsi possible qu'un ouvrage subissant des désordres importants ne soit pas systématiquement classé en risque fort et réciproquement, qu'un ouvrage classé en risque fort soit en bon état apparent (notamment suivant la méthodologie IQOA).

(1) *Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes (VIPP)*. Sétra, Novembre 2010, 42 p.

(2) *Analyse des risques des ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie « Terre Armée »*. Cerema, Septembre 2014, 34 p.

(3) *Analyse des risques des tranchées et couvertures*. Cerema, à paraître.

(4) *ITSEOA : Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art*.

(5) *IQOA : Image Qualité des Ouvrages d'Art*.



Introduction à l'analyse de risques

1.1 - Présentation

L'analyse de risques est un outil d'aide à la gestion d'un patrimoine d'ouvrages d'art. Elle vise à identifier ceux sur lesquels le gestionnaire doit porter prioritairement son attention. Cela consiste à préciser le risque par des investigations, des expertises et à traiter les risques avérés par la réparation ou le remplacement de l'ouvrage. Il convient de remarquer que l'évaluation des risques n'est pas destinée à donner une information sur l'état réel des ouvrages, mais indique un niveau de risques qui peut orienter les arbitrages techniques ou financiers.

On identifie les risques suivants :

- risque d'effondrement de tout ou une partie de la structure : c'est le risque le plus important et le plus grave qui peut entraîner des conséquences humaines, financières, écologiques,...
- risque de perte d'aptitude au service de l'infrastructure : l'ouvrage ne s'effondre pas mais le niveau de service est réduit (limitation en tonnage, restriction de circulation...), ce qui entraîne des conséquences importantes sur l'activité socio-économique d'une région, et des conséquences financières pour le gestionnaire.

1.2 - Définition

Le **risque** est la combinaison de la probabilité d'occurrence et de l'intensité d'un aléa, de la vulnérabilité de l'ouvrage vis-à-vis de cet aléa et de la gravité des conséquences de la défaillance de l'ouvrage.

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 peut être :

- interne de causes exogènes (corrosion, charges de fatigue, ...);
- interne de causes endogènes lié à des défauts internes initiaux (défauts de conception, matériaux défectueux...);
- externe d'origine naturelle (glissement de terrain, crues...);
- externe d'origine humaine (incendie, choc de véhicules, surcharges exceptionnelles...).

Un **aléa** est caractérisé par sa probabilité d'occurrence et son intensité.

La **vulnérabilité** d'un ouvrage traduit sa sensibilité vis-à-vis d'un aléa 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 généralement en fonction des bilans humain, socio-économique et/ou environnemental qui résulteraient de la défaillance de l'ouvrage.

En croisant la criticité d'un ouvrage avec la gravité des conséquences (enjeu), on définit trois niveaux de risques qui doivent permettre au gestionnaire d'établir une stratégie de surveillance et de réparation :

- risque faible ;
- risque modéré ;
- risque élevé.



1.3 - Principe d'une analyse des risques

L'analyse de risques, présentée dans le guide technique « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art » [3], publié par le Sétra, et utilisée dans le cadre de cette méthodologie, peut comporter deux phases successives :

- **une analyse simplifiée de risques** : elle est établie à partir du recensement des ouvrages et de certaines données normalement disponibles relatives aux aléas et aux ouvrages eux-mêmes. L'analyse fournit un classement des ouvrages selon les trois niveaux évoqués ci-avant ;
- **une analyse détaillée de risques pour les ouvrages présentant des niveaux de risques les plus importants** : elle nécessite le recueil d'informations plus quantitatives, le plus souvent en procédant à des prélèvements, des sondages ou des essais et en effectuant une visite d'inspection par du personnel qualifié. Elle est complétée le cas échéant par des études détaillées.

Une fois l'analyse de risques réalisée, le gestionnaire dispose principalement de deux leviers pour gérer le risque :

- réduire les aléas, par exemple en intervenant de manière adaptée sur l'environnement (en réduisant les charges routières autorisées à circuler, en aménageant les berges d'un cours d'eau...) ;
- diminuer la vulnérabilité du patrimoine par des aménagements des ouvrages, des réparations ou des renforcements (réduction du gabarit des véhicules en circulation, mise en œuvre de parafeuilles...).

En pratique, l'analyse de risques appliquée aux ouvrages d'art de manière générale se décompose en neuf étapes dont la Figure 1 présente l'organisation.

- Étape 1 : Objectifs de l'étude
- Étape 2 : Définition du système et des principales hypothèses
- Étape 3 : Identification et évaluation des aléas
- Étape 4 : Analyse de la vulnérabilité aux aléas
- Étape 5 : Évaluation de la gravité des conséquences
- Étape 6 : Évaluation du risque
- Étape 7 : Sélection des risques
- Étape 8 : Analyse détaillée pour les ouvrages à risque élevé
- Étape 9 : Traitement du risque par le gestionnaire.

Dans ce guide, seules les étapes 1 à 7 pour les buses métalliques sont détaillées. Des pistes pour l'étape 9 sont proposées au chapitre 8.

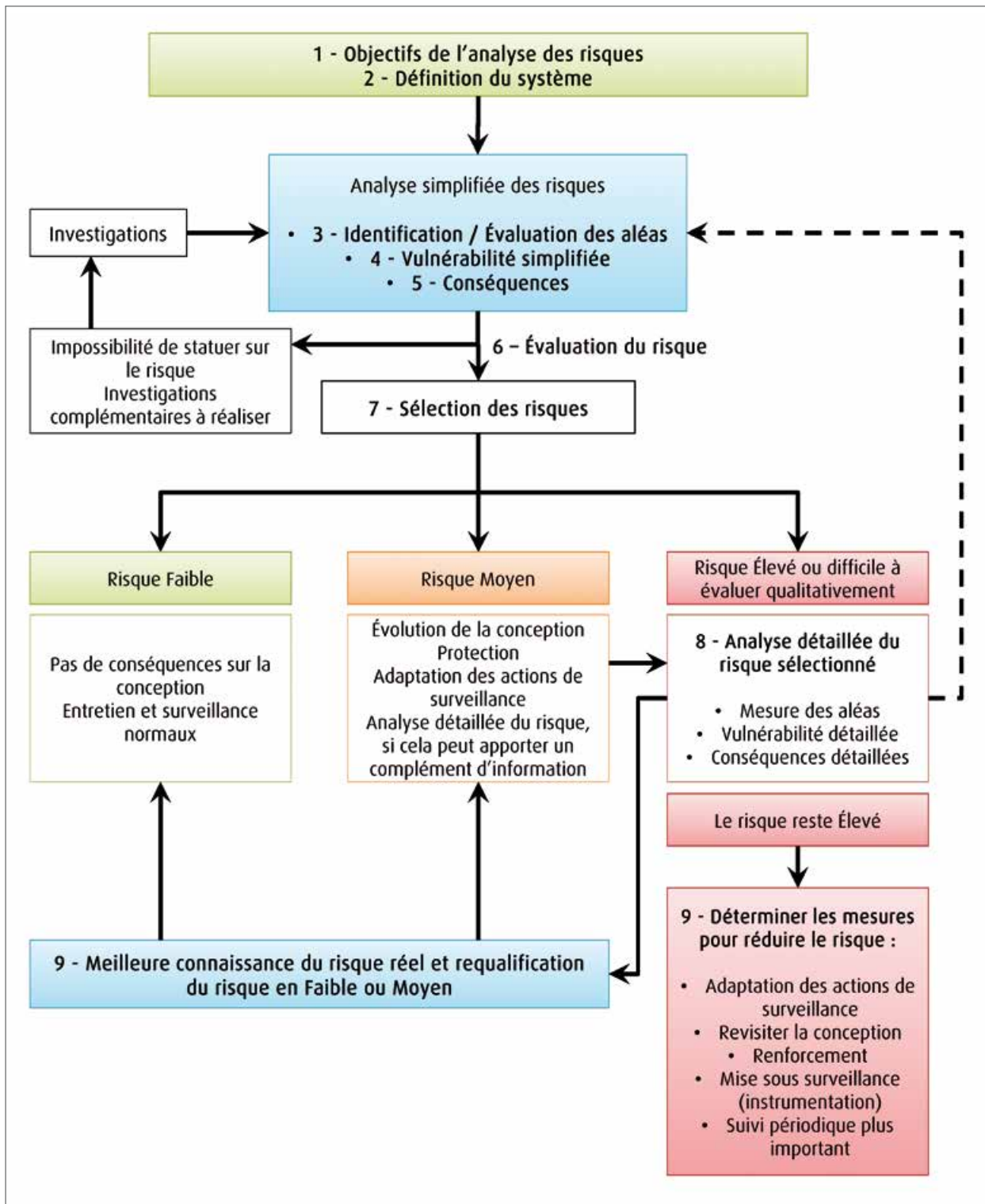


Figure 1 : Organigramme de la méthodologie générale d'analyse des risques

La flèche en pointillés indique qu'une fois l'analyse détaillée réalisée, les informations ainsi récoltées doivent être réutilisées pour compléter les données de la prochaine analyse des risques simplifiée réalisée sur l'ouvrage concerné.



Chapitre 2

Étape 1 : Objectifs de l'Analyse de Risques

En complément des actions de surveillance et d'évaluation, l'analyse de risques menée sur les ouvrages de type buse métallique a pour objectif d'aider le gestionnaire à affiner sa stratégie de gestion. Il pourra ainsi :

- optimiser ses coûts de gestion, anticiper l'exploitation du réseau en traitant, en priorité, les pathologies connues ;
- évaluer l'aptitude au service en fonction de l'évolution des besoins et de l'environnement ;
- affecter de manière ordonnancée les moyens financiers et humains.

Ce guide décrit une méthodologie d'analyse simplifiée de risques visant donc la hiérarchisation des ouvrages en trois catégories de risques :

- risque faible ;
- risque moyen ;
- risque élevé.

Une seconde phase de la démarche de l'analyse de risques pour les ouvrages classés en risque élevé (non détaillée dans ce guide), consistera à réaliser des inspections détaillées et des investigations complémentaires qui pourront être menées de manière simultanée, afin de qualifier plus précisément les aléas et la vulnérabilité des buses métalliques à ces aléas. La consultation approfondie du dossier d'ouvrage, s'il existe, pourra aussi apporter des informations supplémentaires et permettre de mieux appréhender les risques sur l'ouvrage en particulier.





Étape 2 : Système de l'Analyse de Risques

Une buse métallique est un ouvrage composite, de forme tubulaire, constitué de plaques en tôle ondulée assemblées par boulonnage et intégré dans un remblai. C'est un ouvrage qui peut être hydraulique, piéton, routier, ferroviaire ou qui peut servir de passage à faune (bovins...). L'ouvrage est décrit dans la Figure 2.

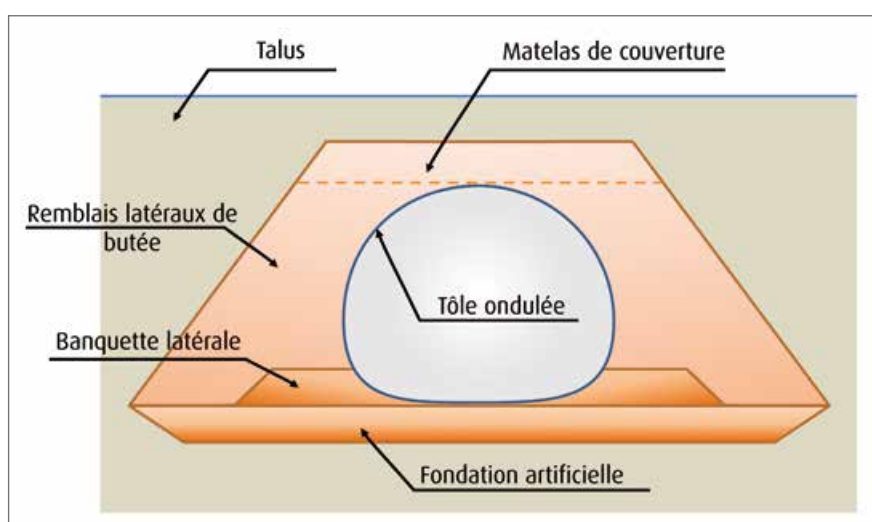


Figure 2 : Éléments principaux d'une buse métallique

Les ouvrages inclus dans cette démarche d'analyse des risques ont les caractéristiques suivantes :

- ouverture de plus de 2 mètres ;
- buses en parallèle qui ont des ouvertures inférieures à 2 m mais dont l'ouverture cumulée fait plus de 2 m.

Les buses métalliques ayant fait l'objet de réparation annulant la fonction mécanique de la structure métallique d'origine (chemisage en matériaux composites, béton projeté...) sont exclues de cette étude. Par contre, les buses ayant fait l'objet d'une réparation du radier uniquement font bien partie de cette analyse de risques.

Les ouvrages non évalués selon l'IQOA ne sont pas pris en compte dans la méthodologie de l'analyse des risques pour les buses métalliques. Cette décision est une conséquence de la politique de la DIT⁽⁶⁾ qui veille à ne plus avoir d'ouvrages non évalués.

Il est important que ces ouvrages fassent l'objet d'une visite d'évaluation IQOA, puis soient évalués en application de la présente méthodologie d'analyse des risques.

(6) Direction des Infrastructures de Transport de la DGITM du MEDDE.



Le retour d'expérience sur les buses métalliques a montré que les principales pathologies rencontrées sur ces ouvrages sont les suivantes :

- corrosion ;
- affouillements ;
- affaissement, glissement des remblais ;
- déformations de l'ouvrage, des extrémités, du radier... (inversion de courbure, déchirures au niveau des joints...) ;
- déchirures liées à des chocs ;
- abrasion.

L'ensemble de ces pathologies permet de mettre en avant les différents aléas à considérer dans l'analyse de risques.

Les buses métalliques constituent une famille d'ouvrages qui relève d'une analyse de risques pour différentes raisons.

- Les buses métalliques ont été réalisées en grande quantité car ce type d'ouvrage était simple, rapide à mettre en œuvre et peu coûteux à la réalisation. De ce fait et de leur présence dans les marchés de terrassement, peu de dossiers d'ouvrages sont à présent disponibles.
- La mesure des épaisseurs de tôle est complexe de par l'état de surface et la présence de zones immergées. La corrosion peut aussi être plus importante côté remblai et donc non décelable lors des inspections visuelles.
- Les inspections sont parfois difficiles (ouvrages en eau, radier recouvert d'un chemin de terre ou d'une voie en enrobé...).
- Globalement, le patrimoine national des buses métalliques est vieillissant car cette technique de franchissement est de plus en plus abandonnée et que beaucoup d'ouvrages présentent un âge proche de 30 à 40 ans qui est la durée de vie réelle suivant le retour d'expérience des gestionnaires du Réseau Routier National. Plus de 80 % des ouvrages de l'État ont plus de 20 ans et plus d'un tiers des buses ont plus de 35 ans.
- Les buses métalliques sont en général implantées dans des environnements défavorables avec la présence d'eau ou de sols agressifs, transport d'éléments solides... la conception des buses n'a pas toujours été adaptée à ces contraintes.





Étape 3 : Identification des aléas

4.1 - Présentation des aléas

Ce paragraphe présente les aléas potentiels que peuvent subir les buses métalliques suivant leur origine ainsi que ceux retenus pour cette méthodologie d'analyse des risques.

Un aléa peut être d'origine interne ou externe, d'origine naturelle ou anthropique.

L'analyse des risques simplifiée présentée étudie quatre aléas (présentés en gras) retenus parmi les 7 identifiés et présentés dans les paragraphes suivants :

- **Corrosion** (cf. paragraphe 4.2) ;
- Abrasion ;
- **Affouillement** (cf. paragraphe 4.3) ;
- **Stabilité du remblai** (cf. paragraphe 4.4) ;
- **Charges d'exploitation** (cf. paragraphe 4.5) ;
- Chocs ;
- Incendies.

4.1.1 - Internes

- Corrosion : l'aléa corrosion peut toucher les tôles, les éléments de jonction de la buse. Il s'agit d'un aléa important et très présent pour les buses métalliques.

4.1.2 - Externes d'origine naturelle

- Affouillement : L'aléa affouillement de la buse peut se produire au niveau des têtes ou au niveau du corps de la buse. Il sera pris en compte à l'aide du croisement entre le type d'usage de la buse et la possibilité de mise en charge hydraulique de cette dernière.
- Abrasion : *Au stade de l'analyse simplifiée des risques, il est assez difficile de caractériser le régime du cours d'eau qui est le facteur dominant pour l'aléa abrasion. Par contre, il peut être utile d'identifier cet aléa lors d'une analyse détaillée si le risque lié à l'affouillement est lui aussi important.*

=> Cet aléa n'est donc pas pris en compte dans la méthodologie présentée dans ce guide.

- Stabilité du remblai (Glissement, affaissement de talus) : Au stade de l'analyse simplifiée des risques, il est impossible de réaliser une étude géotechnique pour chaque ouvrage. de plus, l'analyse simplifiée ne permettra pas de prendre en compte l'état des talus (entretien, végétation...) cette information variant pour chaque zone de l'ouvrage. Cet aléa est donc considéré au travers des données géométriques de l'ouvrage.



4.1.3 - Externes d'origine humaine

- Charges d'exploitation : Il s'agit de tenir compte de l'usage de la voie portée sur la buse et notamment la circulation des véhicules lourds et légers.
- Chocs : Pour cet aléa, les critères sont difficiles à mettre en œuvre dans le cadre d'une analyse simplifiée, provenant plus de spécificités locales des ouvrages (type de circulation des voies portées, nombre de véhicules, vitesse...) et sont donc peu fiables pour une classification des ouvrages. De plus, en cas de chocs, il apparaît que l'ouvrage n'est pas menacé de ruine s'il ne subit pas d'autres aléas importants qui de toute façon ruinteraieent l'ouvrage ; les désordres sont localisés. Enfin, si des ouvrages sont en effet connus pour de nombreux impacts de chocs, ces derniers sont déjà identifiés et la prise en compte de cet aléa relève donc plus d'une analyse des risques détaillée que de la démarche mise en œuvre dans ce guide.

=> Cet aléa n'est donc pas pris en compte dans la méthodologie présentée dans ce guide.

- Incendie : L'aléa incendie est un aléa à la marge. Cet aléa n'amène pas en effet à une gestion différente. De plus, les désordres induits par des incendies sur la tenue structurale de l'ouvrage présentent des gravités très variables et ne sont pas estimables a priori par une analyse de la conception ou des caractéristiques intrinsèques des ouvrages. Enfin cet aléa est négligeable en termes de probabilité d'occurrence, de désordres et de risque de rupture de la buse par rapport aux autres aléas pris en compte. Cependant, il pourra être pris en compte dans le cas d'une analyse détaillée le cas échéant.

=> Cet aléa n'est donc pas pris en compte dans la méthodologie présentée dans ce guide.

4.2 - Aléa corrosion

4.2.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer l'aléa corrosion sont les suivants :

- le type de voie franchie (cf. description du paragraphe 4.2.2) ;
- la fréquence de salage de la voie portée (cf. description du paragraphe 4.2.3).

La fréquence de salage de la voie franchie n'est pas prise en compte à cause des difficultés pour obtenir l'information.

4.2.2 - Type de la voie franchie

Le type de la voie franchie se distingue par le passage sur :

- des voies « sèches » : passage agricole (PA), ouvrage routier (OR) ou passage piéton (PP) ;
- des voies « humides » : ouvrages hydraulique (OH) ou hydraulique de décharge (OD).

Remarque : Dans le cas des ouvrages franchissant à la fois des voies routières et hydrauliques, il est recommandé de considérer l'ouvrage comme hydraulique pour l'aléa corrosion.

Pour les buses hydrauliques majoritairement sans eau classées en ouvrage hydraulique, le gestionnaire doit requalifier la typologie de l'ouvrage selon son usage : ouvrage de décharge, passage piéton...

4.2.3 - Fréquence de salage

La fréquence du salage est estimée à partir de la carte de zonage de rigueur hivernale⁽⁷⁾ :

- peu fréquent ;
- fréquent ;
- très fréquent.

(7) La carte "des zones de salage en France" présentée notamment dans la norme NF EN 206/CN:2014-12 (Figure NA.3) sur les bétons est en réalité la carte des zones de rigueur hivernale de 1996. Il n'y a pas de carte plus récente (carte initiale de 1969, mise à jour en 1978 puis en 1994). Elle fait état de 4 zones de rigueur hivernale (H1, H2, H3, H4) que l'on appelle les Hi et qui dépendent du nombre de jours au cours desquels on constate une chute de neige et l'apparition de verglas.



4.2.4 - Croisement des critères

Le croisement des deux critères retenus est présenté dans le Tableau 1.

Salage / Type Voie Franchie	Passage Piéton	Ouvrage Routier	Ouvrage de Décharge	Passage Agricole	Ouvrage Hydraulique
Peu fréquent	Faible	Faible	Faible	Moyen	Élevé
Fréquent	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Élevé
Très fréquent	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé

Tableau 1 : Croisement des critères pour l'aléa corrosion

À l'inverse des passages piétons, les passages agricoles sont classés en aléa moyen car ils sont plus susceptibles d'être exposés à la présence de boue. De même, les ouvrages de décharge ont un niveau d'aléa plus faible que les ouvrages hydrauliques car le milieu de l'ouvrage est généralement moins agressif qu'un ouvrage avec circulation de véhicules ou d'eau en permanence.

4.3 - Aléa affouillement

4.3.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer l'aléa affouillement sont les suivants :

- la capacité hydraulique de la buse, notée CHy, qui peut valoir 0 ou 1 (cf. description du paragraphe 4.3.2) ;
- le type de voie franchie (cf. description du paragraphe 4.2.2) ;
- la sinuosité du cours d'eau (cf. description du paragraphe 4.3.3).

La forme de la buse doit aussi être prise en compte pour l'aléa hydraulique :

- les buses arches sont plus sensibles à cause de leur inversion de courbure sous un chargement, qui permet un affouillement plus important sous la buse ;
- les arches sont plus sensibles à l'érosion au niveau de leurs fondations.

4.3.2 - Capacité hydraulique CHy

Ce critère concerne uniquement les ouvrages hydrauliques (sinon il est sans objet) :

- il vaut 0 si le régime est fluvial ;
- il vaut 1 si le régime est torrentiel ou inconnu ou en cas de doute ;
- il vaut 1 si l'ouvrage est connu pour être sous-dimensionné hydrauliquement.



4.3.3 - Type de cours d'eau

Ce critère concerne uniquement les ouvrages hydrauliques (sinon il est sans objet).

Sur une distance de 3 fois l'ouverture de la buse en amont (et aval si la distinction n'est pas possible), on observe la morphologie du cours d'eau. Si le cours d'eau présente des virages, les courants seront a priori plus turbulents que pour un tracé rectiligne. La Figure 3 donne le principe de cette observation.

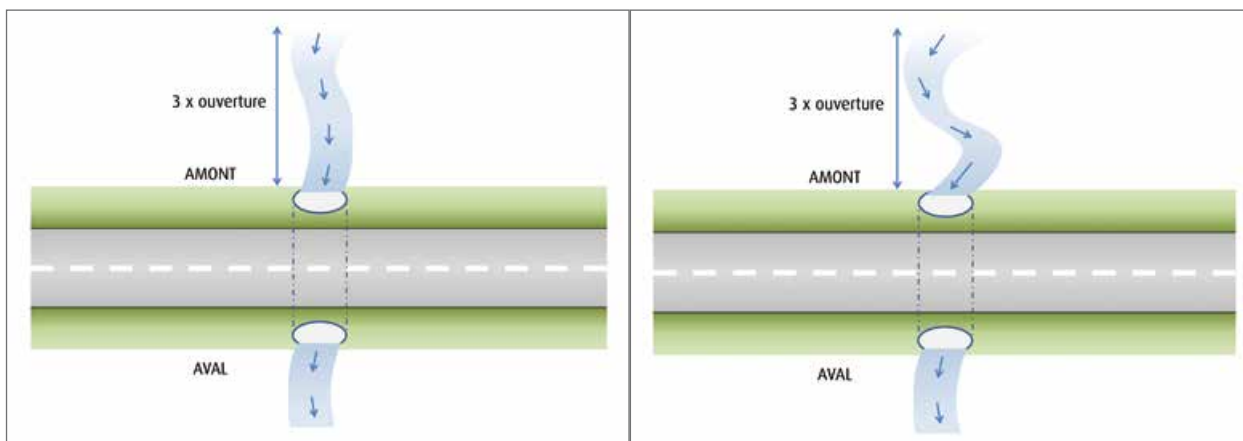


Figure 3 : Détermination du critère sinueux ou rectiligne du cours d'eau en amont de la buse

4.3.4 - Croisement des critères

Le croisement des critères retenus est présenté dans le Tableau 2.

Type de cours d'eau / Mise en charge	Passage piéton, ouvrage routier, passage agricole	Ouvrage de décharge		Ouvrage Hydraulique	
		CHy = 0	CHy = 1	CHy = 0	CHy = 1
Rectiligne	Sans Objet	Faible	Faible	Moyen	Élevé
Sinueux	Sans Objet	Faible	Moyen	Élevé	Élevé

Tableau 2 : Croisement des critères pour l'aléa affouillement

4.4 - Aléa stabilité du remblai

4.4.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer l'aléa stabilité du remblai sont les suivants :

- un indice Remblai issu des cotations IQOA de l'ouvrage relevant de désordres dus uniquement à des causes géotechniques (cf. description du paragraphe 4.4.3 et 4.4.5) ;
- le ratio hauteur de couverture sur ouverture : il permet d'apprécier ou non la perturbation des contraintes dans le remblai du fait de la présence de la buse (cf. description du paragraphe 4.4.2 et 4.4.4) ;
- la hauteur totale du remblai : elle permet de prendre en compte la plus grande probabilité de l'aléa pour les remblais de grande hauteur (cf. description du paragraphe 4.4.2).

4.4.2 - Cotation IQOA

La cotation de l'état pathologique de l'ouvrage (IQOA) est certes intéressante mais ne doit pas être utilisée seule pour limiter les dérives liées à une cotation pouvant parfois être peu représentative selon les ouvrages et leur environnement. En effet, la cotation IQOA, n'a pas été conçue pour décrire des aléas ou des vulnérabilités mais pour noter la présence et l'intensité de défauts qui en sont des conséquences directes ou non.



Toute buse ayant une cotation NE (non évaluée) est exclue de cette analyse de risques. Les notes utilisées dans cette méthodologie sont les suivantes :

- note sur la buse ;
- note de synthèse structure ;
- note sur le lit du cours d'eau ;
- note sur la chaussée sur ouvrage ;
- note sur les trottoirs sur ouvrage ;
- note sur les perrés de tête ;
- note sur les murs de tête en béton armé ;
- note sur les éléments de protection en site aquatique pour connaître la présence ou non d'ouvrages parafouille.

4.4.3 - Ouverture et hauteur de la buse

Il est nécessaire de mesurer ces dimensions sur l'ouvrage comme présenté sur la Figure 4.

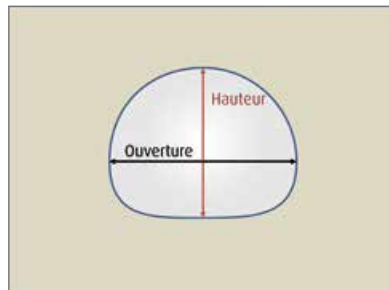


Figure 4 : Définition des paramètres géométriques de la buse

4.4.4 - Hauteur de couverture et de remblai

Cette dimension est à mesurer ou à estimer sur l'ouvrage comme présenté sur la Figure 5. En cas d'impossibilité, elle doit être estimée entre ces trois intervalles :

- < 1 m ;
- entre 1 et 4 m ;
- > 4 m.

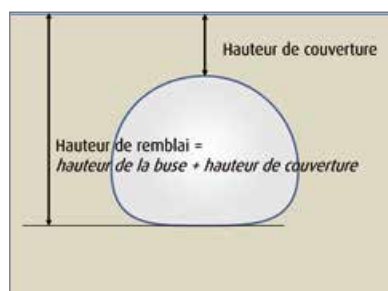


Figure 5 : Définition de la hauteur de couverture



4.4.5 - Croisement des critères

Le croisement des critères retenus est présenté dans les Tableau 3 à Tableau 6.

La première étape consiste à déterminer la valeur de l'indice Remblai, en sommant les valeurs du Tableau 3 selon la cotation IQOA de l'ouvrage. ces cotations ont été retenues car elles ne sont obtenues que pour des causes d'origine géotechnique liées à l'instabilité du remblai.

Exemple : Pour un ouvrage, de cotation IQOA :

- Chaussée sur ouvrage : 2
- Trottoirs et bordures : 2E
- Perrés de tête : 50
- Mur de tête de Béton armé : 2

D'après le Tableau 3, on obtient alors une note de $0 + 2 + 0 + 1 = 3$ soit un niveau Élevé pour l'indice Remblai (Tableau 4).

Cotation IQOA	50 ou 0 ou 1	2	2E	3	3U
Cotation chaussée sur ouvrage	0	0	1	50	50
Cotation trottoirs et bordures	0	0	2	50	50
Cotation perrés de tête	0	0	0	0	1
Cotation mur de tête en BA	0	1	1	2	2

Tableau 3 : Détermination de l'indice Remblai

La valeur numérique de l'indice Remblai est alors transformée en niveau grâce au Tableau 4.

Valeur de l'indice Remblai	0	1	2 à 6
Niveau de l'indice Remblai	Faible	Moyen	Élevé

Tableau 4 : Niveau de l'indice Remblai

La deuxième étape, indépendante de la première, consiste à croiser un critère sur le ratio hauteur de couverture sur la valeur de l'ouverture avec la hauteur totale du remblai (somme de la hauteur de la buse et de la hauteur de couverture) présentée dans le Tableau 5 afin d'obtenir le critère géométrique.

Ratio / H totale remblai	H totale remblai < 8 m	8 m ≤ H totale remblai
$2 < \text{Ratio}$	Faible	Moyen
$1 \leq \text{Ratio} \leq 2$	Moyen	Moyen
$\text{Ratio} < 1$	Moyen	Élevé

Tableau 5 : Détermination du critère géométrique⁽⁸⁾

Le ratio hauteur de couverture sur la valeur de l'ouverture permet de prendre en compte l'incidence de la présence de la buse sur la stabilité du remblai. On évalue ainsi si la buse est de taille conséquente pour le remblai ou au contraire si elle est « transparente » et déstabilisera donc moins le remblai.

La hauteur totale du remblai est à prendre en compte pour évaluer la stabilité même de ce dernier. Plus le remblai est haut, plus la probabilité d'instabilité est grande.

Le croisement de ces deux critères permet de prendre en compte la probabilité importante d'un aléa d'instabilité du remblai pour les talus de grande hauteur et pour lesquels la buse modifie fortement la répartition des contraintes dans le sol.

La dernière étape consiste à croiser le critère géométrique et l'indice Remblai précédents grâce au Tableau 6 pour obtenir le niveau de l'aléa.

(8) Dans le cas où les données géométriques ne sont pas constantes sur tout l'ouvrage, il convient de retenir les valeurs les plus défavorables (hauteur totale de remblai maximal par exemple).



Critère géométrique VS indice remblai	Faible	Moyen	Élevé
Faible	Faible	Moyen	Élevé
Moyen	Moyen	Élevé	Élevé
Élevé	Élevé	Élevé	Élevé

Tableau 6 : Croisement des critères pour obtenir le niveau d'aléa pour la stabilité du remblai

4.5 - Aléa charges d'exploitation

4.5.1 - Critère retenu

Le critère retenu pour évaluer l'aléa charges d'exploitation est le nombre de poids lourds circulant sur la voie portée. le niveau de l'aléa est obtenu à partir du Tableau 7.

Trafic Poids Lourds (veh/jour)	$T < 1500$	$1500 \leq T < 6000$	$6000 \leq T$
	Faible	Moyen	Élevé

Tableau 7 : Détermination du niveau de l'aléa charges d'exploitation

4.5.2 - Trafic

Le trafic doit être mesuré à plusieurs niveaux ou estimé en prolongation des tronçons connus :

- trafic total de la voie portée ;
- trafic poids lourds de la voie portée.



Étape 4 : Vulnérabilité aux aléas

5.1 - Principe de prise en compte de la vulnérabilité de l'ouvrage

Pour chaque aléa particulier, la vulnérabilité locale et la vulnérabilité globale de la buse sont évaluées. Ce chapitre présente les critères retenus et leur prise en compte dans l'analyse des risques simplifiée.

Les critères permettent de donner des notes de vulnérabilité de l'ouvrage vis-à-vis de chaque aléa. la somme, notée V et comprise entre -10 et 10, permet d'attribuer ensuite un niveau de vulnérabilité (Figure 6) :

- si $V \leq -5$, le niveau de vulnérabilité est Faible ;
- si $-5 < V < 5$, le niveau de vulnérabilité est Moyen ;
- si $5 \leq V$, le niveau de vulnérabilité est Élevé.

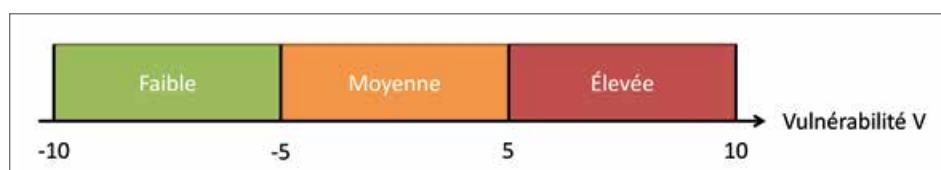


Figure 6 : Détermination du niveau de vulnérabilité à un aléa

5.2 - Vulnérabilité à la corrosion

5.2.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer la vulnérabilité de la buse à la corrosion sont les suivants :

- l'âge et l'année de construction de la buse (cf. description du paragraphe 5.2.2) ;
- la cotation IQOA Buse (cf. description du paragraphe 4.4.3) ;
- la forme de la buse (cf. description du paragraphe 5.2.3).

Il n'y a pas de prise en compte directe de la protection anticorrosion car l'information n'est pas disponible pour l'analyse simplifiée pour tous les ouvrages mais elle est indirectement prise en compte dans la cotation IQOA et par la date de réalisation de la buse en tenant compte des nouvelles règles de conception telle que les recommandations sur les buses métalliques de 1981.

Le critère sur l'âge des buses permet de prendre en compte le constat du vieillissement prématuré des buses, limite fixée à 35 ans dans le cadre de cette méthodologie.

La cotation IQOA Buse permet de tenir compte de la sensibilité structurelle de l'ouvrage. Enfin les buses arches ou les arches ont une forme qui sera plus vulnérable si la structure est corrodée.



5.2.2 - Année de construction

Ce critère correspond à l'année d'achèvement de l'ouvrage. Si cette date n'est pas connue, elle peut être estimée pour répondre aux critères :

- avant ou après 1981 ;
- buses de plus ou moins de 35 ans.

Par expérience, les gestionnaires du Réseau Routier National ont été amenés à considérer une durée de vie réduite de 35 ans pour les buses construites avant 1981 et de 45 ans pour celles construites après cette date. L'âge de 35 ans a été retenu dans cette méthode car à partir de cette durée d'exploitation, l'apparition de corrosion est considérée comme fortement probable.

5.2.3 - Forme de la buse

Ce critère permet de séparer les formes de buse, selon les buses arches, les arches et les autres formes. la Figure 7 présente les différentes formes des sections de buse.

Forme de la buse	Ouverture	Hauteur
Circulaire		
Elliptique		
Buse-arche		
Arche		

Figure 7 : Formes de buses

5.2.4 - Croisement des critères

Selon les critères, le Tableau 8 permet de donner la note de vulnérabilité à la corrosion de la buse en sommant les indicateurs pour chaque critère.

Date de construction							
après 1981 et moins de 35 ans	-5	après 1981 et plus de 35 ans	0	inconnu	3	avant 1981	5
Cotation IQOA Buse							
1 ou 2 ou 2E	-3	3 ou 3U	3				
Forme de la buse							
Autre	-2	Arche ou buse arche	2				

Tableau 8 : Détermination de la vulnérabilité à la corrosion



5.3 - Vulnérabilité à l'aléa affouillement

5.3.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer la vulnérabilité de la buse à l'aléa affouillement sont les suivants :

- la cotation IQOA du lit du cours d'eau (cf. description du paragraphe 4.4.3) ;
- la forme de la buse (cf. description du paragraphe 5.2.3) ;
- le type d'extrémités de la buse (cf. description du paragraphe 5.3.2) ;
- la présence d'obstacles à l'écoulement (cf. description du paragraphe 5.3.3) ;
- la présence d'un ouvrage para fouille (cf. description du paragraphe 5.3.4).

5.3.2 - Type d'extrémités

La distinction doit être faite entre les extrémités en sifflet ou les autres comme le présente la Figure 8.











<i>Extrémité</i>	<i>Vue du dessus</i>	<i>Vue de côté</i>
<i>Droite</i>		
<i>En sifflet</i>		
<i>En biseau</i>		
<i>En biseau sifflet</i>		
<i>En sifflet tronquée</i>		

Figure 8 : Types d'extrémités de buse

5.3.3 - Présence d'obstacles à l'écoulement

Ce critère concerne uniquement les ouvrages hydrauliques (sinon il est sans objet). Lorsque l'ouvrage présente un obstacle à l'écoulement (embâcles ou barrettes à poissons par exemple) le critère est « oui ».

Sans information autre que les comptes rendus des visites IQOA pour déterminer ce critère, les commentaires de type « obstacles à l'écoulement ou atterrissement » peuvent être utilisés pour répondre « oui ».

5.3.4 - Présence d'un ouvrage para fouille

Les para fouilles aux deux têtes de la buse sont « présents » s'ils existent et sont réellement efficaces. Un tel aménagement est constitué d'une poutre en béton armé enterrée sous l'extrémité de la buse, de fortes dimensions, associée généralement à un radier ou des enrochements. Dans toutes les conditions hydrauliques possibles à l'entonnement et à l'exutoire de la buse, il évite l'affouillement des têtes et les circulations d'eau sous la buse, avec entraînement des fines du lit de pose. ces désordres qui affectent la résistance de l'ouvrage sont évolutifs et ne sont maîtrisés que dans le cadre de travaux de réparation.



Cependant, dans le cas où l'information n'est pas connue, on utilise la présence d'une notation IQOA des éléments de protection en site aquatique : si la note est différente de SO (sans objet), alors il peut alors être considéré qu'un ouvrage parafouille est présent.

5.3.5 - Croisement des critères

Selon les critères, le Tableau 9 permet de donner la note de vulnérabilité à l'aléa affouillement de la buse en sommant les indicateurs pour chaque critère.

Cotation IQOA du lit du cours d'eau					
1	-3	2 ou 2E	0	3 ou 3U	3
Présence d'un ouvrage parafouille					
Oui	-3	Non	3		
Forme de la buse					
Autre	-2	Arche ou buse arche	2		
Type d'extrémités de la buse					
Autre	-1	En sifflet ou biseau sifflet	1		
Présence d'un obstacle à l'écoulement					
Non	-1	Oui	1		

Tableau 9 : Détermination de la vulnérabilité à l'aléa affouillement

5.4 - Vulnérabilité stabilité du remblai

5.4.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer la vulnérabilité de la buse à l'aléa stabilité du remblai sont les suivants :

- la cotation IQOA Structure (cf. description du paragraphe 4.4.3) ;
- le nombre de poids lourds sur la voie portée (cf. description du paragraphe 4.5.2).

5.4.2 - Croisement des critères

Selon les critères, le Tableau 10 permet de donner la note de vulnérabilité à l'aléa stabilité du remblai de la buse en sommant les indicateurs pour chaque critère.

Cotation IQOA structure de l'ouvrage							
1 ou 2	-6	2E	0	3 ou 3U	6		
Nombre de poids lourds (veh/jour)							
T < 1500	-4	1500 ≤ T < 4000	-1	4000 ≤ T < 6000	1	6000 ≤ T	4

Tableau 10 : Détermination de la vulnérabilité à l'aléa stabilité du remblai

5.5 - Vulnérabilité charges d'exploitation

5.5.1 - Critères retenus

Les critères retenus pour évaluer la vulnérabilité de la buse aux charges d'exploitation sont les suivants :

- la cotation IQOA de la structure (cf. description du paragraphe 4.4.3) ;
- la hauteur de couverture (cf. description du paragraphe 4.4.4).



5.5.2 - Croisement des critères

Selon les critères, le Tableau 11 permet de donner la note de vulnérabilité aux charges d'exploitation de la buse en sommant les indicateurs pour chaque critère.

Cotation IQOA structure de l'ouvrage					
1 ou 2	-5	2E	0	3 ou 3U	5
Hauteur de couverture					
$4 \text{ m} < H_c$	-5	$1 \text{ m} < H_c \leq 4 \text{ m}$	0	$H_c \leq 1 \text{ m}$	5

Tableau 11 : Détermination de la vulnérabilité aux charges d'exploitation





Étape 5 : Gravité des conséquences

6.1 - Principe de prise en compte de la gravité des conséquences

Pour chaque ouvrage, les conséquences de la ruine partielle ou totale de l'ouvrage doivent être évaluées. Ce chapitre présente les critères retenus et leur prise en compte dans l'analyse des risques simplifiée.

Les critères permettent de donner pour chaque ouvrage une note sur la gravité des conséquences. la somme de ces critères, notée C et comprise entre -10 et 10, permet d'attribuer ensuite un niveau de gravité des conséquences (Figure 9) :

- si $C \leq -5$, le niveau de la gravité des conséquences est Faible ;
- si $-5 < C < 5$, le niveau de la gravité des conséquences est Moyen ;
- si $5 \leq C$, le niveau de la gravité des conséquences est Élevé.



Figure 9 : Détermination du niveau de la gravité des conséquences

Les critères retenus pour évaluer la gravité des conséquences sont les suivants :

- le trafic de la voie portée (cf. description du paragraphe 4.5.2) ;
- l'importance de l'itinéraire de la voie portée (cf. description du paragraphe 6.2) ;
- les difficultés de déviation de la voie portée (cf. description du paragraphe 6.3) ;
- les impacts de la ruine sur la voie franchie (cf. description du paragraphe 6.4).

6.2 - Importance de l'itinéraire de la voie portée

C'est au gestionnaire de fixer ce niveau. En première approche, pour le patrimoine routier de l'État, il peut être considéré que si la voie portée est :

- une autoroute : l'importance de l'itinéraire est très stratégique ;
- une route nationale : l'importance de l'itinéraire est stratégique.

6.3 - Difficultés déviation

Dans les cas où il est difficile techniquement ou économiquement de dévier le trafic de la voie portée, l'indicateur doit être oui.



6.4 - Impact sur la voie franchie

C'est au gestionnaire de fixer ce niveau. En première approche, il peut être considéré que le niveau d'impact sur la voie franchie de la ruine de l'ouvrage est :

- faible pour une voie sans intérêt économique ;
- moyen pour des conséquences locales ou momentanées ;
- élevé pour des conséquences économiques majeures.

Pour fixer ce niveau, il est aussi possible de tenir compte de l'impact d'une défaillance de l'écoulement du cours d'eau le cas échéant.

6.5 - Croisement des critères

Le Tableau 12 permet de déterminer l'indice de la gravité des conséquences pour en déduire le niveau de la gravité des conséquences en sommant les indicateurs pour chaque critère.

Trafic de la voie portée (veh/jour)							
T < 15 k	-5	15 k ≤ T < 35 k	-2	35 k ≤ T < 80 k	2	80 k ≤ T	5
Importance de l'itinéraire de la voie portée							
stratégique	-1	très stratégique	1				
Difficultés de déviation de la voie portée							
Non	-2	Oui	2				
Impacts sur la voie franchie							
Faibles	-2	Moyens	0	Élevés	2		

Tableau 12 : Détermination de la gravité des conséquences



Chapitre 7



Étape 6 : Évaluation du niveau de risque

7.1 - Évaluation de la criticité

Pour la méthodologie développée dans ce guide, pour chaque aléa particulier, un niveau est déterminé (faible, moyen ou élevé, cf. chapitre 4). Ce niveau est croisé avec la vulnérabilité à cet aléa, elle aussi classée selon trois niveaux (faible, moyen ou élevé, cf. chapitre 5) comme expliqué dans le Tableau 13.

Aléa / Vulnérabilité	Faible	Moyenne	Élevée
Faible	Faible	Faible	Moyenne
Moyen	Faible	Moyenne	Élevée
Élevé	Moyenne	Élevée	Élevée

Tableau 13 : Matrice de croisement de l'aléa et de la vulnérabilité pour obtenir la criticité

7.2 - Évaluation du niveau de risque

Pour chaque aléa, ce niveau de criticité est croisé avec le niveau de gravité des conséquences (faible, moyen ou élevé, cf. chapitre 6) afin d'obtenir un niveau de risques particulier, comme expliqué dans le Tableau 14.

Criticité / Gravité des conséquences	Faible	Moyenne	Élevée
Faible	Faible	Faible	Moyen
Moyenne	Faible	Moyen	Élevé
Élevée	Moyen	Élevé	Élevé

Tableau 14 : Matrice de croisement de la criticité et de la gravité des conséquences pour obtenir le risque

7.3 - Évaluation du niveau de risque global

Ces niveaux de risques sont ensuite sommés avec une valeur pour tenir compte du risque global pour l'ouvrage soumis à des scénarios impliquant plusieurs aléas :

- 0 pour Sans objet ;
- 1 pour Faible ;
- 2 pour Moyen ;
- 3 pour Élevé.

Cette démarche permet d'identifier :

- les aléas donnant lieu au risque prédominant ;
- les ouvrages sensibles à des scénarios de plusieurs aléas.



La somme réalisée, la note RG alors comprise entre 3 et 12, permet d'attribuer un niveau global de risques (RG) de l'ouvrage (Figure 10) :

- si $RG \leq 4$, le niveau est Faible ;
- si $RG = 5$ ou $RG = 6$, le niveau est Moyen ;
- si $7 \leq RG$, le niveau est Élevé.

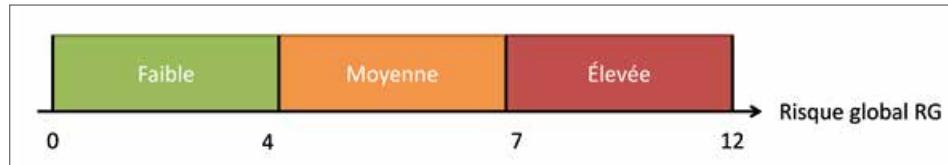


Figure 10 : Détermination du niveau de risque global de la buse métallique





Éléments de traitement des risques

Ce chapitre propose des orientations permettant d'utiliser les résultats de l'analyse des risques simplifiée pour la gestion du patrimoine des buses métalliques. Ils sont basés sur le fait que la durée de vie de ces ouvrages est faible malgré un entretien courant et préventif réalisé dans les règles de l'art. Le gestionnaire est invité, dans un premier temps, à examiner son patrimoine avec les indications de ce chapitre. Elles doivent permettre de fixer des démarches de gestion pour chaque ouvrage. Dans un second temps, le gestionnaire peut approfondir la démarche pour les ouvrages présentant des niveaux de risques élevés.

L'analyse de risques simplifiée permet de classer les ouvrages du patrimoine complémentairement au classement IQOA des ouvrages. Cependant, il n'y a pas de corrélation directe entre ces deux outils ; une buse métallique ayant un risque global élevé peut ne pas être cotée 3 ou 3U par le classement IQOA. Dans tous les cas, la gestion grâce à l'analyse de risques est complémentaire à celle mise en place grâce au classement IQOA au travers de l'état pathologique visible de la buse.

Ces deux classements sont supposés à jour : l'utilisation de l'analyse des risques est un processus itératif constamment actualisé et optimisé en fonction de l'évolution des données utilisées (cotation IQOA, âge, typologie...) et de l'efficacité des actions entreprises.

Dans tous les cas, il appartient au gestionnaire de fixer la politique de surveillance de son patrimoine et de décider des éventuelles mesures d'exploitation que l'état de la buse métallique peut nécessiter.

8.1 - Sélection des risques

La sélection des risques consiste à orienter le gestionnaire vers les actions à entreprendre suite à l'identification des risques. Cette sélection des risques est décrite dans la Figure 11 suivante.

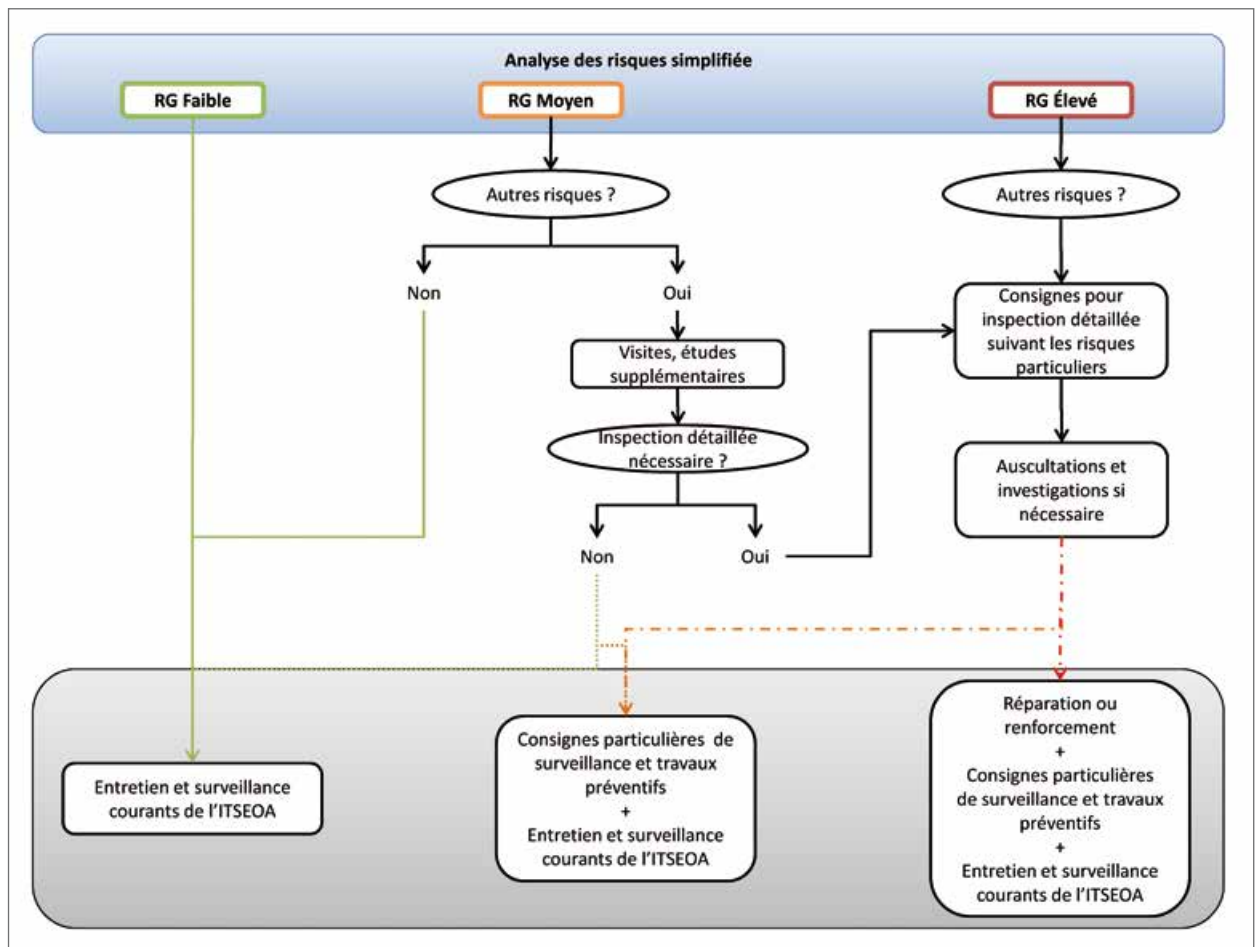


Figure 11 : Sélection et traitement des risques

8.1.1 - Risque faible

Si le niveau de risque global RG est faible, la gestion de la buse métallique suit les dispositions classiques de surveillance et d'entretien des ouvrages.

8.1.2 - Risque moyen

Lorsque le niveau de risque global RG est moyen, il convient de s'assurer que tous les risques sont identifiés.

- Si aucun autre risque ne tend à aggraver l'appréciation du niveau de risque global, la buse métallique suit alors les dispositions classiques de surveillance et d'entretien des ouvrages.
- Si d'autres risques sont identifiés, il est alors nécessaire de réaliser des visites et des études supplémentaires afin de savoir si une inspection détaillée de l'ensemble de l'ouvrage est à prévoir à courte échéance. Si tel est le cas, l'ouvrage suit la même démarche que pour les ouvrages à risque global élevé. Dans le cas contraire, suivant les résultats précédents, le gestionnaire a deux possibilités : assurer une surveillance et un entretien courant de la buse ou prescrire des consignes particulières de surveillance et éventuellement des travaux préventifs pour éviter l'évolution des facteurs de risques et des désordres.

8.1.3 - Risque élevé

Lorsque le niveau de risque global RG est élevé, il convient de s'assurer que tous les risques sont identifiés afin de préparer des recommandations adaptées pour la réalisation d'une inspection détaillée de la buse. Si nécessaire, il convient aussi de réaliser des auscultations et/ou des investigations complémentaires. Le diagnostic de l'état de la buse est établi à partir des résultats de ces examens et études, et peut conduire à envisager des travaux de réparation ou de renforcement.



Dans ce cas, le programme de travaux sera établi en tenant compte des informations acquises en phase de diagnostic. Enfin le cas échéant, des consignes particulières de surveillance voire de travaux préventifs pourront être proposés.

Le cas des buses cotées en plus 3 ou 3U est la situation la plus préoccupante pour le gestionnaire : il convient de ne pas tarder pour commencer les études qui peuvent être longues notamment en matière d'environnement et de s'assurer que ces ouvrages font au minimum l'objet d'une surveillance particulière.

8.2 - Analyse et études complémentaires

8.2.1 - Prise en compte d'autres risques

Le gestionnaire peut avoir besoin de prendre en compte d'autres aléas que ceux qui sont décrits précédemment. Il peut chercher à évaluer leur impact et déterminer le niveau de risque global résultant de l'ouvrage. Dans ce cas, il justifie comment il a procédé.

Par exemple, il est possible d'étudier les aléas écartés de l'analyse des risques simplifiée au paragraphe 4.1 du chapitre 4, à savoir le choc, l'incendie ou l'abrasion.

8.2.2 - Visites et études supplémentaires

Lorsque l'ouvrage est classé en niveau de risque moyen, il peut être nécessaire d'obtenir des éléments complémentaires pour orienter les actions. La première étape consiste à étudier le dossier d'ouvrage. Le cas échéant, des visites de l'ouvrage, basées sur des consignes particulières, peuvent être programmées. Ces éléments viendront compléter l'analyse des risques simplifiée.

Afin de fiabiliser les données de la précédente analyse des risques, le gestionnaire peut se faire accompagner par un agent ayant la capacité de réaliser les visites d'évaluation des ouvrages de liste II⁽⁹⁾, ou par un inspecteur ouvrages d'art par exemple.

Ces visites et études supplémentaires permettent de conclure sur la nécessité ou non de réaliser une inspection détaillée de la buse.

8.2.3 - Inspection détaillée⁽¹⁰⁾

Lorsque l'inspection détaillée est nécessaire, elle peut être orientée par les résultats de l'analyse des risques simplifiée. En effet, cette dernière permet de classer les risques particuliers de l'ouvrage selon l'aléa. Par exemple, si le risque charge d'exploitation est élevée, lors de l'inspection détaillée, il faudra être vigilant à la pérennité et l'état du remblai de couverture, à l'état de la chaussée...

Dans le cas d'un risque élémentaire fort lié à la corrosion, il est recommandé de réaliser lors de l'inspection détaillée, des mesures d'épaisseurs résiduelles de la buse.

Pour les buses en eau, afin de lever les incertitudes au niveau du radier, la visite peut être réalisée par une équipe de plongeurs et peut se baser sur le fascicule 10 de l'ITSEOA sur les fondations en site aquatique⁽¹¹⁾.

(9) Pour le réseau routier national, les ouvrages de liste I sont les ouvrages courants (PIPO, mur poids...). Les autres ouvrages particuliers font partie de la liste II (parois clouées, palplanches...).

(10) Il s'agit d'une inspection détaillée de l'ensemble de la buse comme définie par l'ISTEOA.

(11) Guide d'application de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art - Fascicule 10 - Fondations en site aquatique. Sétra, Août 2013, 100 p.



8.2.4 - Auscultations et investigations complémentaires

Suivant l'ensemble des étapes précédentes (études des risques, visites, inspection détaillée), il peut être nécessaire de préconiser des auscultations et des investigations complémentaires pour orienter les actions à mener sur la buse. ces auscultations peuvent être (liste non exhaustive) :

- pour l'analyse de la corrosion : mesure des épaisseurs résiduelles, prélèvement d'échantillons par pastillage, mesure de l'épaisseur de galvanisation, caractérisation chimique des eaux et des sols...
- pour l'état des remblais : sondages, reconnaissances géophysiques...
- pour l'analyse du cours d'eau : calcul des débits, de la vitesse du courant...

8.3 - Traitement du risque

Le traitement du risque est défini dans la méthodologie générale du guide « Maitrise des risques – Application aux ouvrages d'art » [3] et consiste à gérer, éviter ou réduire le risque.

Dans le cas de la gestion du risque, le risque est identifié et le gestionnaire assume le risque sans autres mesures que la surveillance et l'entretien de la buse.

Pour l'évitement du risque, l'aléa est supprimé. On peut citer à titre d'exemple le remplacement de la buse par un autre type d'ouvrage (par exemple par un cadre béton) ou le chemisage complet de la buse.

La réduction du risque consiste à agir sur l'aléa et / ou la vulnérabilité et / ou la gravité des conséquences. la liste suivante, non exhaustive, donne des exemples d'actions qui peuvent être réalisées :

- instrumentation et suivi de profils géométriques de la buse (en travers, en long...) afin de prendre des mesures conservatoires à temps ;
- suivi d'ouverture et de longueur des fissures du remblai ou de la chaussée afin de prendre des mesures conservatoires à temps ;
- action temporaire ou définitive sur les conditions d'exploitation de la voie portée ;
- réalisation d'un soutènement du talus ou remise en état des perrés de la buse ;
- réalisation d'un ouvrage parafouille ;
- réalisation de travaux d'étanchéité du terre-plein central ;
- rectification du tracé du cours d'eau ;
- réparation locale ou globale par béton projeté ;
- reprise ou réalisation d'un radier béton ;
- pose d'un chemisage partiel intérieur de la buse.

Lorsqu'une action est menée, elle ne conduira pas nécessairement à la baisse d'un niveau du risque global de la buse mais contribue à améliorer la situation de pérennité de l'ouvrage. Une même action peut agir favorablement sur plusieurs composantes du risque (aléa, vulnérabilité, corrosion, affouillement, stabilité du remblai, charges d'exploitation...).





Notations et symboles utilisés

C	note sur la gravité des conséquences
CHy	indicateur de capacité hydraulique de la buse métallique
H_c	hauteur de couverture
RG	note sur le risque global de la buse métallique
T	trafic
V	note sur la vulnérabilité à un aléa
IQA	Image Qualité des Ouvrages d'Art
ITSEO	Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art



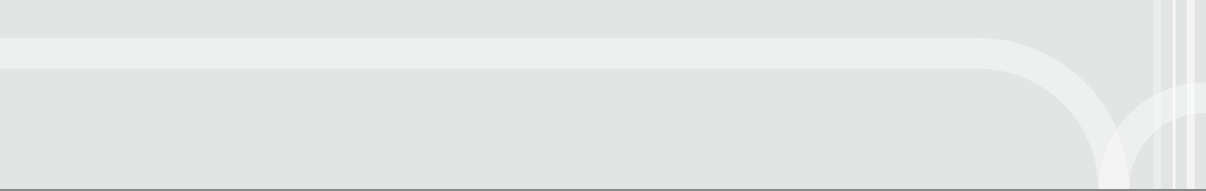


Bibliographie

Guides techniques

- [1] Buses métalliques – Guide pour la surveillance spécialisée, l’entretien et la réparation. Sétra, Décembre 1992, 67 p.
- [2] Buses métalliques – Recommandations et règles de l’art. Sétra et LCPC, Octobre 1985, 200 p.
- [3] Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d’art. Sétra, Janvier 2013, 94 p.
- [4] IQOA – Catalogue des désordres – Buses métalliques. Sétra, 1996, 55 p.
- [5] Instruction technique pour la surveillance et l’entretien des ouvrages d’art – Fascicule 2 – Généralités sur la surveillance. Sétra, Décembre 2010, 60 p.
- [6] Instruction technique pour la surveillance et l’entretien des ouvrages d’art – Fascicule 50 – Buses métalliques. Sétra, Décembre 1985, 28 p.





Notes :

© 2015 - 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'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Égalité des territoires et du Logement. 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 › **Domigraphic - 17 avenue Aristide Briand - 91550 Paray-Vieille-Poste**

Illustration couverture › © **Cerema - Centre-Est**

Vignettes pages intérieures › © **Cerema**

Crédits photos › © **DIR Ouest - DIR Centre-Est**

Dessins : › © **Aurore BRACH - © 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 : **janvier 2016**

Dépôt légal : **décembre 2015**

ISBN : **978-2-37180-113-4**

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 des risques appliquée aux buses métalliques

Le retour d'expérience sur les buses métalliques a montré que ces ouvrages ont une durée de vie réelle réduite par rapport à leur durée de service initialement prévue. Plusieurs ruptures de buses métalliques liées notamment à la corrosion et leur affouillement ont pu être observées.

À la demande de la DGITM/DIT (Direction Générale des Infrastructures des Transports 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 des buses métalliques en fonction des aléas auxquels elles sont soumises, 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 (VIPP) - Sétra, 2010
- Analyse des risques des ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie « Terre Armée ® » - Cerema, 2014
- 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 : 978-2-37180-113-4



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr

Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30