

Analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie



Guide méthodologique

Analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie



En hommage à notre collègue et ami Yannick Tardivel

L'ouvrage est une œuvre collective réalisée sous la direction du Cerema.

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

- Bruno BERENGER (Cerema Méditerranée)
- Cécile BOUVET AGNELLI (Cerema ITM)
- Pierre CHAMBON (Cerema Centre Est)
- Hervé DITCHI (Cerema Ouest)
- Benjamin LANDRY (Cerema Ouest)
- Denis MALATERRE (Cerema Sud Ouest)
- Bruno VION (Cerema Méditerranée)

Relecteurs et testeurs :

- Clément BONIFAS (DIR Est)
- Anne-Sophie COLAS (IFSTTAR/MAST)
- Pierre CORFDIR (Cerema ITM)
- Pierre DE LACLOS (DIR Centre Est)
- Bernard JACQUIER (Cerema Centre Est)
- Brice MACOUIN (DIR Ouest)
- Frédéric MARTY (DIR Med)
- Sabrina PERLO (Cerema ITM)
- Florent PLASSARD (Cerema Centre Est)
- Nicolas ROUXEL (Cerema Ouest)
- Jean-Marc TARRIEU (Cerema ITM)

Pilote du groupe de travail :

- Cécile BOUVET AGNELLI (Cerema ITM)

Crédits photos :

Figure 6 : DIR Est, DIR Méditerranée

Figure 9 : Jean-Pierre LEVILLAIN

Figure 21 : CD34/SOA

Les autres illustrations proviennent du Cerema

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. *Analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie*

Bron : Cerema, 2021. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-454-8



Sommaire

Préambule	5
Chapitre 1 - Présentation de la méthodologie d'analyse des risques	7
1.1 - L'analyse des risques selon la méthodologie du Sétra	7
1.2 - Champs d'application de l'analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie	10
1.3 - Références et textes en lien avec la démarche	10
Chapitre 2 - Objectifs de l'analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie	11
2.1 - Nécessité d'une analyse des risques sur les ponts en maçonnerie	11
2.2 - La gestion du risque	11
2.3 - L'analyse des risques comme outil de gestion	12
Chapitre 3 - Définition du système	13
3.1 - Constitution des ouvrages en maçonnerie	13
3.2 - Notions et causes de désordres	18
Chapitre 4 - Identification et évaluation des aléas	23
4.1 - Aléa 1 : affouillement des fondations	23
4.2 - Aléa 2 : déstabilisation des fondations	28
4.3 - Aléa 3 : mise en charge de l'ouvrage lors de crues	29
4.4 - Aléa 4 : charges d'exploitation	31
4.5 - Aléa 5 : chocs sur la structure	32
4.6 - Aléa 6 : rupture des murs en aile ou en retour	33
Chapitre 5 - Vulnérabilités aux aléas	34
5.1 - Vulnérabilité 1 : affouillement des fondations	34
5.2 - Vulnérabilité 2 : destabilisation des fondations	37
5.3 - Vulnérabilité 3 : mise en charge de l'ouvrage lors de crues	38
5.4 - Vulnérabilité 4 : charges d'exploitation	39
5.5 - Vulnérabilité 5 : chocs sur la structure	42
5.6 - Vulnérabilité 6 : rupture des murs en aile ou en retour	43
Chapitre 6 - Évaluation de la gravité des conséquences	44
6.1 - Importance de l'itinéraire porté par le pont	44
6.2 - Importance du trafic	44
6.3 - Valeur patrimoniale de l'ouvrage	45
6.4 - Impact sur le niveau de service	45
Chapitre 7 - Évaluation du niveau de risque	46
7.1 - Introduction de scénarios	46
7.2 - Évaluation du niveau d'aléa	47
7.3 - Évaluation du niveau de vulnérabilité	48
7.4 - Évaluation du niveau de criticité pour chaque scénario	49
7.5 - Évaluation du niveau de conséquences	49
7.6 - Évaluation du niveau de risque	50



Chapitre 8 - Suites à donner en fonction du niveau de risque	51
8.1 - Recherche d'informations plus détaillées sur l'ouvrage, son environnement et son état	53
8.2 - Précisions sur le niveau de risque	55
8.3 - Diagnostic	56
8.4 - Adaptation des actions de surveillance	57
8.5 - Actions de maintenance ou de réparation	57
8.6 - Adaptation du niveau de service	57
Annexes	58
Annexe 1 – Adaptation de la méthode pour les autres gestionnaires	58
Annexe 2 – Extrait de la feuille de calcul	60
Bibliographie	63
Glossaire	65



Préambule

L'analyse des risques est une méthodologie avancée de gestion des ouvrages d'art, à mettre en place en complément de l'application de l'ITSEOA [1]. Au service des gestionnaires, l'analyse des risques complète leur connaissance du patrimoine et de son état par une caractérisation méthodique de l'éventualité d'une ruine (ou d'une baisse de niveau de service) et des conséquences qui en résulteraient. Pour cela, on prend en compte non seulement l'état de l'ouvrage mais également son insertion dans son environnement et son importance socio-économique. Cette information a vocation à être exploitée pour identifier les ouvrages les plus préoccupants et établir une planification plus efficace des actions de surveillance, d'auscultation, d'entretien et de réparation.

Cette démarche d'analyse des risques est établie selon la méthode générale de maîtrise des risques développée pour les ouvrages d'art, décrite dans le guide du Sétra [2] et appliquée aux familles d'ouvrages dites sensibles et aux ouvrages soumis à un risque spécifique. Elle a déjà été appliquée à différents types d'ouvrages d'art, donnant lieu à la parution de plusieurs guides (VIPP [3], ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie « Terre Armée® » [4], buses métalliques [5], tranchées couvertes et tunnels creusés avec parements rapportés [6], murs de soutènement en béton armé sur semelle [7], ponts en sites affouillables [8] et murs en maçonnerie [9]).

Les ponts en maçonnerie peuvent être caractérisés comme des ouvrages sensibles car ce sont des ouvrages anciens et difficiles à modéliser, ce qui rend la vérification vis-à-vis des charges modernes complexe. Du fait de leur grand âge, ils présentent souvent un débouché hydraulique plus faible que celui des ouvrages modernes, pas forcément compatible avec les épisodes de crues de plus en plus violents auxquels ils sont soumis. Ils ont également généralement subi de nombreuses modifications d'usage. De plus, les ponts en maçonnerie ont un comportement très spécifique, différent des ouvrages plus modernes, et qui n'est pas toujours facile à appréhender. Enfin, ces ouvrages représentent une grande part du patrimoine dans les zones montagneuses où il est difficile de dévier la circulation qu'ils supportent.

L'objectif de ce guide est de présenter la déclinaison de la méthodologie d'analyse des risques sur les ponts en maçonnerie. Ce guide opérationnel présente non seulement la méthodologie générale mais également les facteurs à prendre en compte pour évaluer le niveau de risque de chaque ouvrage en maçonnerie. Quelques pistes permettant de guider le gestionnaire une fois l'analyse réalisée sont également abordées en fin d'ouvrage.

La méthodologie décrite dans ce guide concerne en particulier les ponts en maçonnerie situés sur le réseau routier national non concédé de l'État, et s'appuie sur les instructions en vigueur pour les ouvrages d'art de l'État. Elle est cependant également adaptée aux autres maîtres d'ouvrage comme les collectivités territoriales moyennant les modifications évoquées dans l'annexe 1.



Chapitre 1

Présentation de la méthodologie d'analyse des risques

1.1 - L'analyse des risques selon la méthodologie du Sétra

1.1.1 - Une méthodologie de gestion avancée

L'analyse des risques est une méthode de priorisation qui permet de guider le gestionnaire en faisant ressortir les ouvrages nécessitant une attention particulière, en termes d'études ou de travaux.

La démarche générale d'analyse des risques est présentée dans le guide technique Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art [2] et déclinée dans le cadre de ce guide d'application. Afin d'assurer l'applicabilité ainsi que la pertinence scientifique de la méthode, elle comporte deux phases successives, qui ne sont pas appliquées sur le même ensemble d'ouvrages :

- **une analyse des risques simplifiée et systématique** : cette première analyse est principalement qualitative, ce qui la rend rapide et économique. Elle est établie à partir du recensement des ouvrages et de certaines données normalement disponibles relatives aux aléas et aux ouvrages eux-mêmes. Cette analyse est réalisée sur l'ensemble du patrimoine concerné et permet de classer les ouvrages selon leur catégorie de risque ;
- **une analyse détaillée pour les ouvrages présentant les niveaux de risques les plus importants** : elle nécessite le recueil d'informations 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. De ce fait, elle est plus coûteuse et consommatrice de temps. Cette seconde phase d'analyse est conditionnelle et ne doit être réalisée que sur les ouvrages pour lesquels elle est susceptible d'apporter des informations complémentaires précisant le niveau de risque.

Cette méthode d'aide à la décision peut permettre d'optimiser les politiques de gestion et ainsi de minimiser les coûts en demeurant sécuritaire vis-à-vis des usagers mais n'est pertinente que si les données des ouvrages, en particulier les notes d'état apparent, sont à jour. La mise à jour du niveau de risque lors de l'évolution des indicateurs utilisés permet de garantir un résultat plus adapté à la réalité du terrain.

La finalité de cette méthodologie n'est pas de fournir des informations sur l'état apparent du pont (ce qui est l'objectif de l'IQOA¹ ou des méthodes similaires) mais sur les risques présents sur l'ouvrage en service. Il s'agit donc d'une démarche statistique qui s'applique à un patrimoine inventorié et coté par le gestionnaire. Ainsi, il est possible qu'un ouvrage présentant des désordres importants ne soit pas systématiquement classé en risque fort et réciproquement, qu'un ouvrage classé en risque fort ne soit pas nécessairement en mauvais état apparent. De même, l'analyse des risques n'a pas pour objectif de faire ressortir les ouvrages présentant un risque immédiat pour les usagers (c'est le rôle de la mention « S » dans la cotation IQOA).

1.1.2 - Déroulement d'une analyse des risques

En pratique, l'analyse des risques appliquée aux ouvrages d'art se décompose en six étapes, dont l'enchaînement est décrit sur la Figure 1.

- Étape 1 : Définition de l'objectif de l'étude ;
- Étape 2 : Définition du système ;

¹ IQOA : Image Qualité des Ouvrages d'Art.



- Étape 3 : Analyse des risques simplifiée, constituée de
 - Étape 3.1 : évaluation simplifiée des aléas,
 - Étape 3.2 : évaluation simplifiée de la vulnérabilité aux aléas,
 - Étape 3.3 : évaluation simplifiée de l'importance des conséquences,
- Étape 4 : Évaluation du niveau de risque ;
- Étape 5 : Analyse détaillée (conditionnelle) ;
- Étape 6 : Traitement du risque.

Dans ce guide, les étapes 1 à 4 pour les ponts en maçonnerie sont détaillées. Les étapes 5 et 6 sont traitées de façon plus succincte.

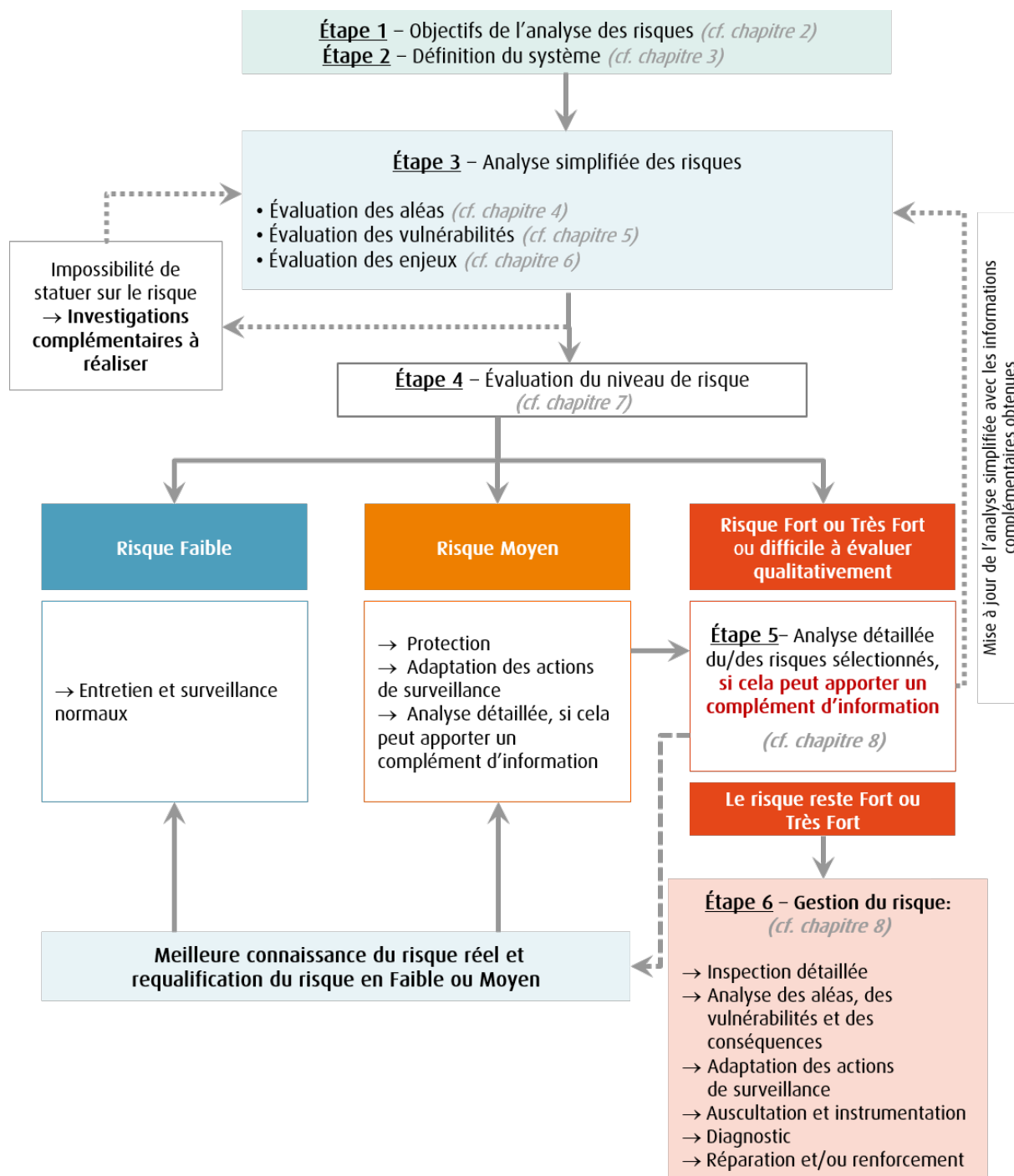


Figure 1 : Principe d'une analyse des risques



1.1.3 - Les composantes du risque

Définitions

Les trois composantes du risque à évaluer et à renseigner sont l'aléa, la vulnérabilité et la gravité des conséquences (appelée aussi enjeu). Ces trois notions sont décomposées en facteurs eux-mêmes définis selon des critères. La combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité caractérise la probabilité de défaillance appelée criticité de la structure. La détermination du niveau de risque s'obtient en croisant la criticité d'un ouvrage avec la gravité des conséquences.

L'**aléa** est le phénomène à l'origine du risque qui peut se produire ou non au cours de la vie de l'ouvrage. 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, en fonction notamment de sa conception et de son état.

La **gravité des conséquences (enjeux)** s'intéresse aux conséquences possibles d'une défaillance de l'ouvrage ou de sa fermeture (même partielle) en termes de vies humaines, de coûts de réparations, de perturbations économiques et sociales. Cette réflexion socio-économique doit être menée localement et à l'échelle de l'itinéraire concerné. La gravité des conséquences dépend de critères socio-économiques fixés ou validés par le questionnaire, comme le trafic routier sur l'ouvrage ainsi que la possibilité de mettre en place des itinéraires alternatifs.

Combinaison des facteurs de risque : les scénarios

Afin de faire correspondre les vulnérabilités uniquement aux aléas qui les affectent, on utilise des scénarios, comme sur la Figure 2. On obtient alors un niveau de risque pour chaque scénario puis un niveau de risque global pour l'ouvrage. Par exemple, dans le cas des ponts en maçonnerie, les aléas correspondant aux surcharges d'exploitation de l'ouvrage sont à étudier avec les facteurs affectant la capacité de l'ouvrage à faire face à ces sollicitations comme la forme de la voûte, son état et les éventuelles modifications qu'elle a pu subir. Les conséquences d'une ruine de l'ouvrage sont liées à sa taille, au trafic qu'il supporte et à la difficulté de le dévier. On crée ainsi le scénario associé aux surcharges d'exploitation sur l'ouvrage.

On définit dans ce guide quatre niveaux de risque : faible, moyen, fort et très fort.

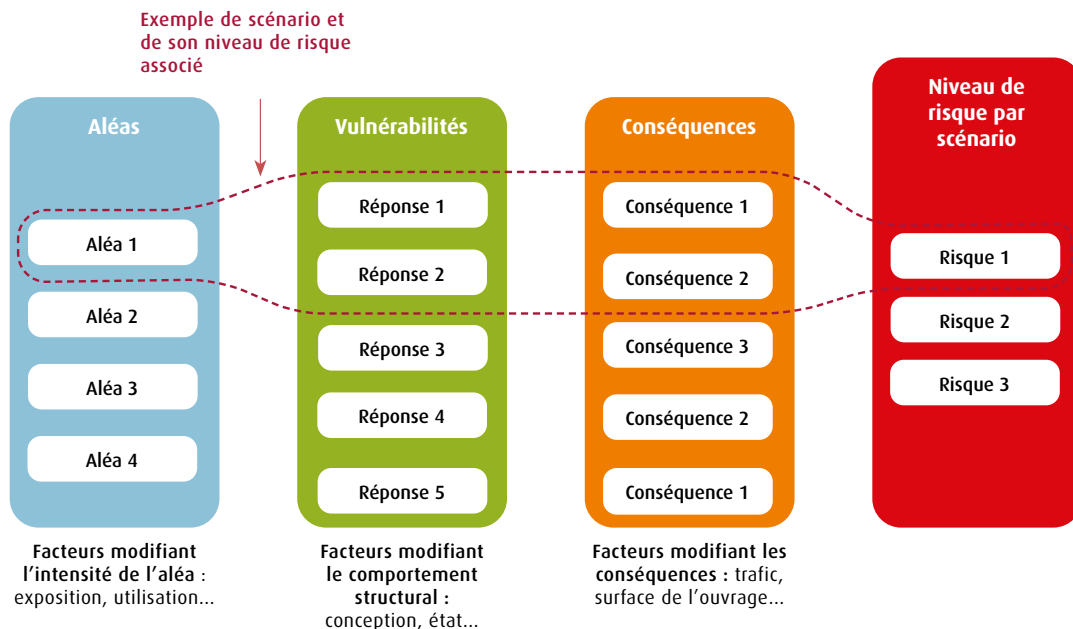


Figure 2 : Exemple de scénarios et détermination du niveau de risque (inspiré de [2])



1.2 - Champs d'application de l'analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie

La méthodologie décrite dans cet ouvrage se limite aux ponts voûtes en maçonnerie (de pierres et de briques) fonctionnant comme tels. Dans le cas des ouvrages réparés, il appartient au gestionnaire d'apprécier l'ampleur de la réparation pour voir si celle-ci a modifié le type de fonctionnement de la structure et de se concentrer sur les ouvrages dont la structure porteuse primaire est toujours en maçonnerie. À titre d'exemple, cette analyse est pertinente sur un pont avec une dalle générale s'appuyant sur l'ouvrage. Dans le cas de réparations de grande envergure comme la reconstruction complète de certaines arches avec conservation des autres arches en maçonnerie, seules les arches en maçonnerie sont concernées par cette étude. Les ouvrages réparés par une contre-voûte en béton armé ou élargis par une dalle ne s'appuyant que sur les appuis² sont notamment exclus de cette analyse.

Dans tous les cas, si une réparation conduit à des éléments qui ne sont pas listés dans les critères de vulnérabilité (par exemple renforcement des fondations par pieux forés ou micropieux), il appartient au gestionnaire de prendre en compte l'impact de la réparation et d'évaluer la vulnérabilité de façon adaptée.

Les ponts en maçonnerie sont notamment constitués de murs en retour ou de murs en aile. Leur rupture peut provoquer la coupure du franchissement et ils sont donc évalués dans le cadre d'un scénario spécifique. Toutefois, l'analyse des murs en retour et des murs en aile de ce guide perd en pertinence dès lors que ceux-ci sont de dimensions supérieures aux dimensions habituelles. **Il est donc recommandé que les murs en aile ou murs en retour de grandes dimensions soient évalués de façon séparée par le biais de l'analyse des risques sur les murs en maçonnerie [9]**, même s'ils ne sont pas considérés comme des ouvrages à part entière dans l'inventaire.

Pour les ouvrages en maçonnerie, on traite non seulement le risque d'effondrement de tout ou partie de la structure mais également le risque de baisse du niveau de service de l'ouvrage (limitation en tonnage, restriction de circulation, etc.), qui peut entraîner des conséquences importantes sur l'activité socio-économique d'une région, et des conséquences financières pour le gestionnaire de l'analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie.

1.3 - Références et textes en lien avec la démarche

Cette démarche s'ajoute aux actions de surveillance et d'entretien de l'ITSEOA.

Concernant la gestion du risque, la méthode fait référence aux documents suivants :

- ITSEOA (Instruction Technique de Surveillance et d'Entretien des Ouvrages d'Art) Fascicule 0 – Dispositions générales applicables à tous les ouvrages, Sétra [10] ;
- ITSEOA (Instruction Technique de Surveillance et d'Entretien des Ouvrages d'Art) Fascicule 2 – Généralités sur la surveillance, Sétra [1] ;
- ITSEOA (Instruction Technique de Surveillance et d'Entretien des Ouvrages d'Art) Fascicule 3 – Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde [11] ;
- ITSEOA (Instruction Technique de Surveillance et d'Entretien des Ouvrages d'Art) Fascicule 30 - Ponts et viaducs en maçonnerie [12] ;
- IQOA (Image Qualité Ouvrages d'Art) – Ponts en maçonnerie – Catalogue des désordres. Sétra. [13] ;
- Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art, Sétra [2] ;
- Les ponts en maçonnerie : constitution et stabilité, Sétra [14].

² Pour plus de précisions sur les différentes dalles d'élargissement, voir [21].



Chapitre 2

Objectifs de l'analyse des risques appliquée aux ponts en maçonnerie

2.1 - Nécessité d'une analyse des risques sur les ponts en maçonnerie

Les ponts en maçonnerie représentent, en nombre, une part non négligeable du patrimoine sur le réseau routier national non concédé : 10 % en moyenne et jusqu'à 25 % dans certaines zones de montagne.

Ces ouvrages présentent plusieurs défis pour leurs gestionnaires. Tout d'abord leur âge avancé fait qu'il n'est pas toujours possible d'obtenir de façon fiable les données nécessaires à leur bonne gestion telles que les plans, les éventuels problèmes à la construction, le type de fondations, etc. Comme les ponts en maçonnerie ne sont plus construits depuis plusieurs décennies, les experts de cette technique de construction sont aujourd'hui peu nombreux. De plus, le fonctionnement des ponts en maçonnerie diffère largement de celui des ouvrages plus modernes en béton et nécessite des connaissances spécifiques de la part des gestionnaires et des inspecteurs afin d'évaluer au mieux leur état apparent.

Les ponts en maçonnerie ont souvent subi de fortes modifications de géométrie (notamment des élargissements) afin de s'adapter aux contraintes de trafic actuelles, sans que l'on sache toujours si ces modifications ont été correctement justifiées. De plus, l'entretien est parfois négligé sur ces ouvrages réputés robustes alors qu'il a une importance capitale afin de garantir leur bon fonctionnement.

La plupart des ponts en maçonnerie sont construits pour traverser des cours d'eau, qui peuvent également avoir subi de fortes modifications (dragage, détournement, etc.), ce qui perturbe leur équilibre hydraulique et peut avoir des conséquences extrêmement néfastes pour les fondations des ouvrages. Ces modifications ayant lieu sous la surface de l'eau, il est souvent difficile de les repérer avant que leur effet ne soit déjà très avancé. **Les ponts en maçonnerie, présentant un débouché hydraulique souvent inférieur à celui des ponts plus modernes, sont également plus sensibles à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des crues.**

Enfin, étant souvent situés en zone montagneuse, les ponts en maçonnerie représentent un fort enjeu patrimonial du fait de la difficulté à dévier les itinéraires sur lesquels ils se trouvent.

2.2 - La gestion du risque

L'analyse des risques est un outil d'aide à la gestion d'un patrimoine d'ouvrages d'art. **Elle vise à identifier les ouvrages sur lesquels le gestionnaire doit porter prioritairement son attention.** Il convient de remarquer que l'évaluation du niveau de risque n'est pas destinée à donner une information sur l'état réel des ouvrages, mais indique un niveau de risque qui peut orienter les arbitrages techniques ou financiers.

Une fois l'analyse des risques réalisée, le gestionnaire dispose de trois leviers principaux pour gérer le risque :

- réduire les aléas en intervenant de manière adaptée sur l'environnement : par exemple en réduisant les charges routières autorisées à circuler, en aménageant les berges d'un cours d'eau, etc. ;
- diminuer la vulnérabilité du patrimoine par des aménagements, des réparations ou des renforcements : confortement des fondations, reprise de l'étanchéité, etc. ;
- diminuer les enjeux : envisager un doublement de l'ouvrage, mettre l'ouvrage sous haute surveillance, prévoir un système de fermeture de la voie concernée en cas de crue, etc.



2.3 - L'analyse des risques comme outil de gestion

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

- **définir une stratégie optimisée d'inspection et de surveillance** : dans le cas des ponts en maçonnerie, l'analyse permettra notamment de repérer les ouvrages pour lesquels une inspection subaquatique est prioritaire ;
- **affecter de manière ordonnée les moyens financiers et humains** : le résultat de l'analyse permet de concentrer les études en priorité sur les ouvrages à risque fort afin de prévoir les éventuelles réparations ;
- **anticiper l'exploitation du réseau** : grâce à l'importance socio-économique de l'ouvrage, l'analyse des risques permet de faire ressortir les ouvrages sur lesquels la fermeture complète est inenvisageable et de les traiter en amont ;
- **évaluer l'aptitude au service en fonction de l'évolution des besoins et de l'environnement** : l'analyse permet de prendre en compte l'évolution du trafic afin de faire ressortir les ouvrages sur lesquels des calculs plus approfondis sont nécessaires avant de statuer sur la capacité de l'ouvrage à supporter cette augmentation des charges.



Chapitre 3

Définition du système

Les ponts en maçonnerie constituent un patrimoine très spécifique. Il est composé d'ouvrages généralement construits entre le XIII^e et le début du XX^e siècle. Les ouvrages en maçonnerie permettent le franchissement de fleuves, rivières et cours d'eau mais aussi de voies routières et ferroviaires. Ils supportent des voies de circulation routières, ferroviaires voire fluviales (ponts canaux).

Les paragraphes suivants présentent plus en détail les spécificités des ponts en maçonnerie, pour éclairer les critères qui seront pris en compte dans l'analyse des risques simplifiée.

3.1 - Constitution des ouvrages en maçonnerie

3.1.1 - Morphologie

Les ouvrages en maçonnerie sont constitués de voûtes en maçonnerie de briques ou de pierres reposant sur des piles et des culées, également en maçonnerie de pierres ou de briques. Les appuis reposent le plus généralement sur des fondations superficielles - en gros béton ou maçonnerie de pierres - ou sur des fondations profondes constituées de pieux bois. Dans le cas de franchissement de cours d'eau, des radiers en béton ou en maçonnerie peuvent être présents dans le lit du cours d'eau. Les ponts sont prolongés dans la plupart des cas par des murs en aile ou en retour qui sont généralement des murs poids en maçonnerie.

Les voûtes sont parfois renforcées par du béton ou des éléments en acier (épinglage de construction ou de renforcement, tirants).

La morphologie générale des ponts en maçonnerie est rappelée sur les schémas des pages suivantes.

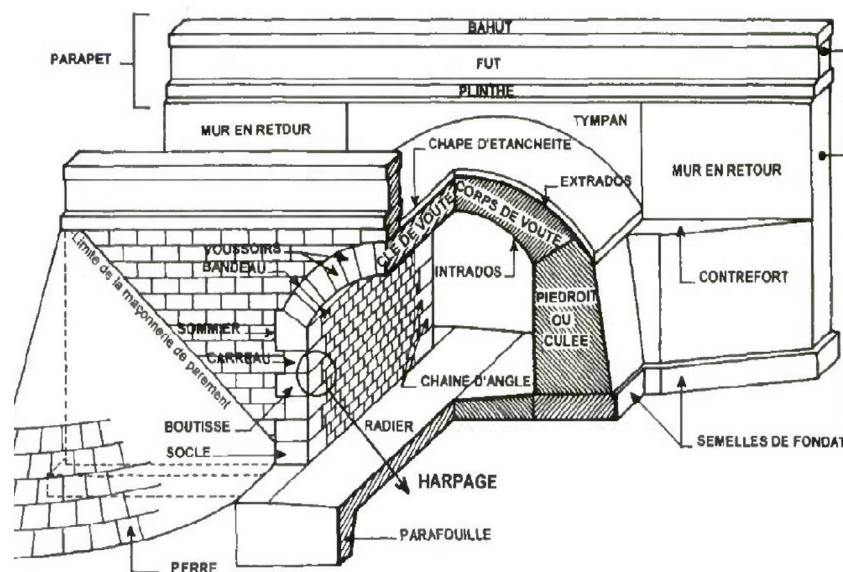


Figure 3 : Morphologie générale d'un pont en maçonnerie avec murs en retour



Pont en maçonnerie

1/2 Elévation

1/2 Coupe longitudinale

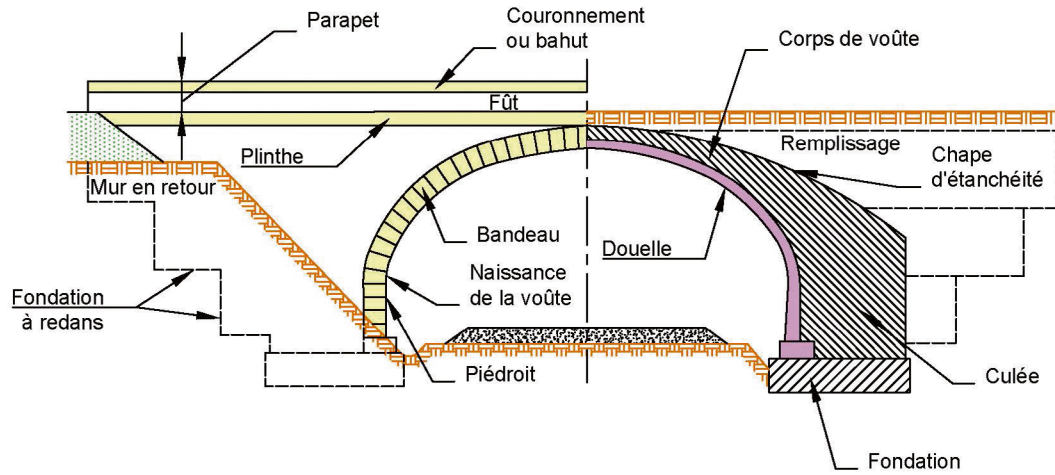


Figure 4 : Élévation et coupe longitudinale d'un pont en maçonnerie

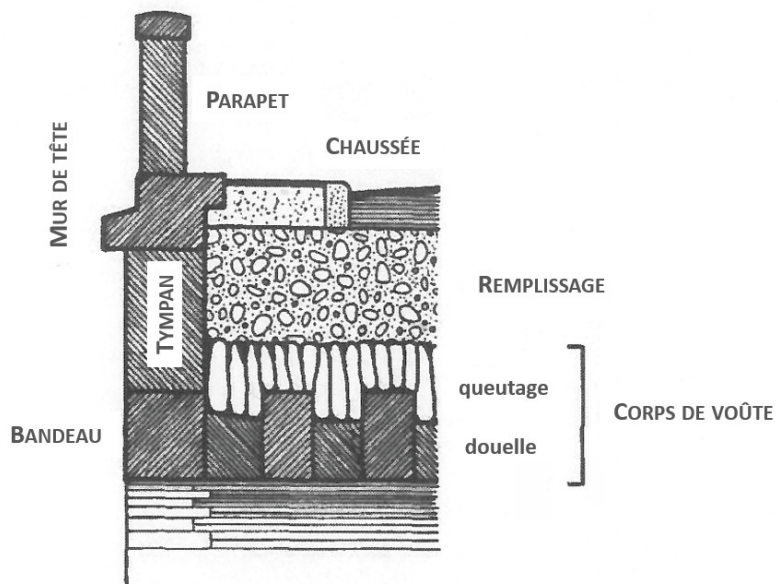


Figure 5 : Coupe transversale d'un pont en maçonnerie



Différentes formes de voûtes

La forme de la voûte des ponts en maçonnerie a largement évolué au cours des siècles, dans le but de franchir des brèches de plus en plus importantes. Il existe ainsi de nombreux types de voûte. Pour les besoins de cette analyse, on distingue les trois grandes catégories suivantes :



$$\text{Voûte plein cintre} : \frac{\text{flèche}}{\text{ouverture}} = \frac{1}{2}$$



$$\text{Voûte surbaissée} : \frac{1}{5} \leq \frac{\text{flèche}}{\text{ouverture}} < \frac{1}{2}$$



$$\text{Voûte très surbaissée} : \frac{\text{flèche}}{\text{ouverture}} < \frac{1}{5}$$

Figure 6 : Différents types de voûte



3.1.2 - Matériaux

Les matériaux constitutifs des ponts en maçonnerie sont les suivants :

- **les blocs de pierre** : éléments principaux des ponts en maçonnerie, leurs caractéristiques peuvent être extrêmement variables d'un ouvrage à l'autre ou même au sein d'un même ouvrage. En général, les meilleures pierres sont utilisées pour le bandeau, les plinthes et les chaînes d'angle ;
- **les briques** : éléments principaux des ponts en maçonnerie dans certaines régions, elles sont moins chères à la mise en œuvre et présentent des propriétés mécaniques similaires à celles des pierres ;
- **le mortier des joints** : il constitue le liant entre les différentes pierres (ou briques) et permet donc de transmettre et de répartir les efforts ;
- **les remblais de remplissage** : situés entre les murs tympans des ouvrages ainsi que derrière les murs en aile et mur en retour, ils permettent de répartir les charges sur la voûte. Leur qualité est fondamentale pour le bon fonctionnement de l'ouvrage : ils doivent être suffisamment compacts et bien drainants afin de ne pas créer de forces ponctuelles ni de zones de rétention d'eau ;
- **le béton** : les fondations des ouvrages peuvent être constituées de gros béton (ou béton cyclopéen). Le béton peut également être utilisé pour des réparations ponctuelles sur l'ouvrage ;
- **le bois** : les pieux bois sont utilisés pour fonder les ouvrages situés sur un sol de mauvaise qualité. Le bois peut également avoir été utilisé pour créer un platelage entre les appuis et les pieux ou les appuis et le sol de fondation. C'est un matériau qui est sensible au pourrissement s'il est exposé à un environnement humide au contact de l'air mais qui se conserve bien s'il reste totalement immergé au cours de sa vie ;
- **l'étanchéité** : historiquement l'étanchéité de la voûte est assurée par la mise en œuvre en extrados du corps de voûte d'une couche de matériaux étanches (couche argileuse ou mortier) ;
- **l'acier** : il est utilisé pour réaliser des confortements des ouvrages, notamment des tirants passifs permettant d'enserrer les murs tympans ou l'épinglage des pierres du bandeau. Ce matériau est sensible à la corrosion lorsque les barres ne sont pas correctement protégées.

Si la résistance d'un pont en maçonnerie dépend principalement de l'état du matériau composite constitué par les blocs de pierre ou les briques et le mortier, la dégradation de n'importe lequel de ses composants induit une vulnérabilité accrue.

3.1.3 - Fonctionnement

Les paragraphes suivants permettent d'expliquer le fonctionnement général des ponts en maçonnerie, afin d'éclairer les éléments qui seront pris en compte pour caractériser les aléas et vulnérabilités affectant ces structures.

Un fonctionnement complexe

La spécificité du fonctionnement d'une voûte en maçonnerie vient, entre autres, du caractère composite du matériau en présence, matériau bien plus complexe à calculer que les matériaux plus modernes comme le béton armé ou l'acier. La réponse de l'ouvrage à son chargement dépend donc des caractéristiques des matériaux constitutifs, très variables d'un ouvrage à l'autre (et parfois au sein d'un même ouvrage) ainsi que des propriétés de contact entre ces différents matériaux. Un ouvrage en maçonnerie ne présente donc pas un comportement linéaire. Au-delà des caractéristiques des pierres seules (leur résistance) et de leur état, la plasticité des joints influe fortement sur la ductilité et l'aptitude aux déformations de la voûte.

Transmission des charges à travers l'ouvrage

Le matériau de remplissage supportant la voie de circulation transmet par diffusion les charges à chacune des voûtes qui les transmettent ensuite aux appuis et aux fondations. Au-delà des appuis, les voûtes maçonnées constituent donc la partie porteuse d'un pont en maçonnerie. Les schémas ci-dessous illustrent la transmission des charges de façon longitudinale et transversale, lorsque l'ouvrage est utilisé selon un fonctionnement normal.

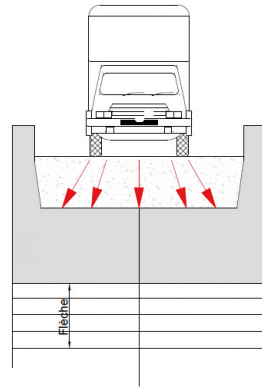


Figure 7 : Diffusion transversale des charges à travers le remblai

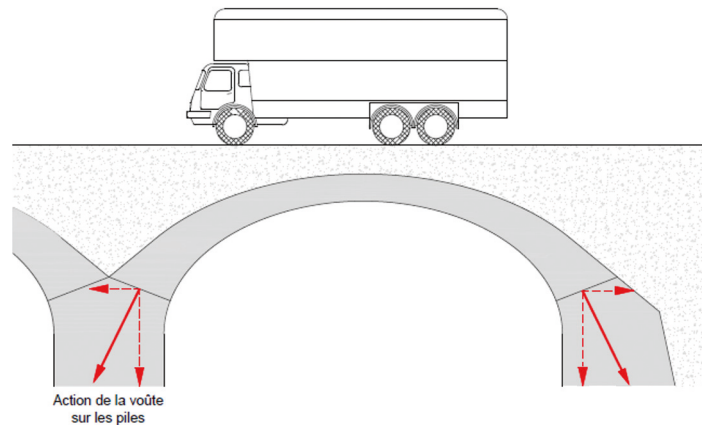


Figure 8 : Diffusion longitudinale des charges. La composante verticale de la réaction de la voûte est reprise par les appuis et la composante horizontale est reprise grâce à l'équilibre entre les différentes voûtes et les culées

Les voûtes sont constituées d'un matériau naturellement hétérogène, composé de blocs (moellons, pierres, briques, etc.) et de joints, qui présente de bonnes caractéristiques de fonctionnement en compression mais n'ayant pas de résistance en traction.

Du fait des matériaux utilisés et du fonctionnement en compression des voûtes, les ouvrages en maçonnerie sont légèrement déformables et s'adaptent à de nombreuses situations de chargement, par compression du matériau de remplissage puis compression de la voûte. Ces modifications sont possibles jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle l'ouvrage commence à se dégrader.

Rôle et fonctionnement des murs tympans

Les murs tympans reposent sur les voûtes au niveau des bandeaux et fonctionnent comme des murs poids en maçonnerie retenant le matériau de remplissage. Outre la poussée de ce matériau, les murs tympans (tout comme les murs en retour ou les murs en aile) peuvent également supporter les poussées issues des charges d'exploitation se diffusant à travers le remblai.



Fondations des ouvrages

La plupart des ponts en maçonnerie sont fondés de façon superficielle, sur des semelles de gros béton ou de maçonnerie édifiées directement sur le terrain d'assise ou par l'intermédiaire d'un platelage en bois.

Certains ouvrages peuvent être fondés sur des fondations semi profondes réalisées dans un batardeau (palplanches en bois), un caisson ouvert ou plus exceptionnellement sur des puits (appuis en lit de fleuve de grande profondeur).

Enfin, il existe des ouvrages fondés sur fondations profondes en pieux bois. Toutefois l'efficacité de ces fondations profondes est relativement éloignée de celles des pieux et micropieux actuels. Leur fiche n'est pas justifiée par des calculs de portance mais par la longueur des arbres disponibles et par les moyens de battage de l'époque de construction. Elle ne dépasse généralement pas 12 m (exceptionnellement 20 à 25 m). Vérifier si ces pieux atteignent une couche de sol porteur nécessite d'avoir accès au dossier d'ouvrage complet avec les documents d'exécution ainsi que les résultats des éventuelles reconnaissances des sols ; dans le cas contraire, il est nécessaire de réaliser des campagnes d'investigations spécifiques (voir § 8.1.4).

3.2 - Notions et causes de désordres

Malgré le fonctionnement complexe des ponts en maçonnerie, les études menées au cours des différentes époques, quelles que soient les approches retenues (des approches empiriques aux simulations numériques les plus poussées), ont permis de dégager quelques grandes spécificités en termes de fonctionnement global. Ainsi, il apparaît que les ouvrages en maçonnerie sont robustes mais sensibles aux modifications de leur géométrie, de leur usage ou de leurs matériaux.

3.2.1 - Sensibilité aux modifications de la géométrie

Les modifications de la géométrie des ponts en maçonnerie diminuent leur souplesse ainsi que leur capacité à supporter les charges. Ces modifications de géométrie sont particulièrement intenses en cas de mouvements différentiels des appuis. En effet, le fonctionnement des ouvrages maçonnés est basé sur un transfert des charges aux fondations. La résultante des efforts appliqués aux appuis par la voûte comporte des composantes dans les directions verticales et horizontales (voir Figure 8). Ainsi, les fondations doivent pouvoir reprendre les efforts dans ces deux directions, et dans le cas des piles, la proche symétrie des travées est recherchée afin d'équilibrer les efforts horizontaux de poussée. En cas de mouvement différentiel des appuis, l'équilibre des efforts est modifié, ce qui peut provoquer des désordres sur l'ouvrage.

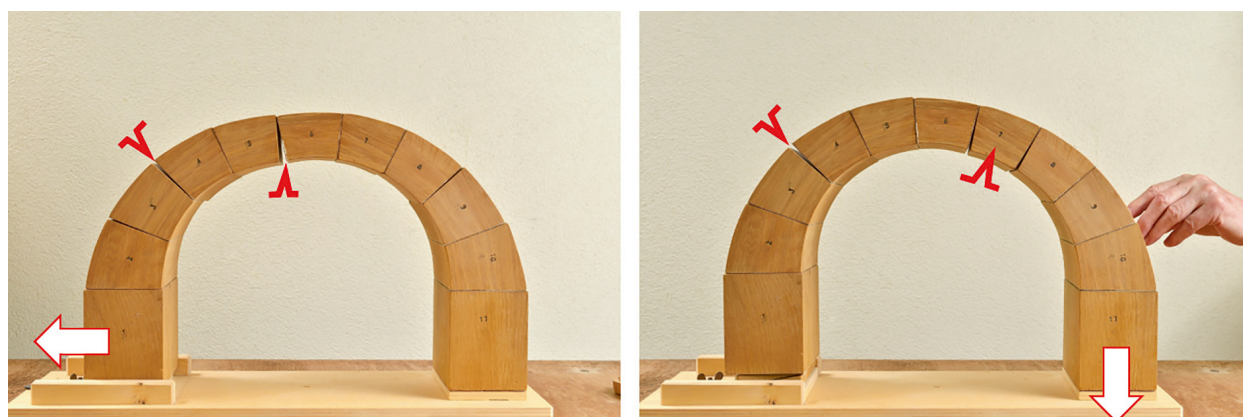


Figure 9 : Illustration de l'effet du déplacement des appuis sur la voûte. À gauche, écartement d'un appui. À droite, tassement d'un appui. Cette modélisation ne reprend pas toutes les caractéristiques des ponts en maçonnerie (par exemple il n'y a pas de joints entre les blocs, pas de remblais...), c'est pour cela qu'il a été nécessaire de maintenir le modèle sur la photo de droite

On peut observer sur les modèles ci-dessus que le déplacement des appuis provoque l'ouverture des joints en raison de la décompression de la voûte et de la création de rotules. À terme, cela peut se traduire par des fractures dans la voûte et des déchaussements de moellons. Dans le cas d'un tassement différentiel entre l'amont et l'aval d'un même appui, on pourra voir apparaître des fissures dans la voûte parallèlement à l'axe longitudinal de l'ouvrage, ou des fissures biaisées affectant le piédroit.



Les causes principales des mouvements des fondations sont l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques du sol, ainsi que la modification de la géométrie du fond du cours d'eau (en particulier son abaissement généralisé dû à des emprunts de matériaux dans le lit du cours d'eau ou la création de fosses d'affouillements) pour les ouvrages hydrauliques et la modification de la géométrie de la voie franchie ainsi que l'augmentation du poids propre et des charges d'exploitation pour les ouvrages routiers.

Pour les ouvrages fondés superficiellement, l'affouillement local couplé ou non à l'abaissement généralisé du lit du cours d'eau peut engendrer le basculement de la fondation. Les sols au caractère évolutif (glissement de terrain, gonflement, retrait et surtout tassement) peuvent également générer des désordres plus ou moins importants sur la structure maçonnée.

Pour les ouvrages fondés sur pieux bois, l'affouillement local conduit au dégarnissage des têtes de pieux, ce qui peut provoquer le flambement des parties libres ou la dégradation du bois par abrasion. Le dégarnissage des têtes de pieux peut se traduire à long terme par le basculement de tous les pieux et donc de l'ensemble de la pile. Ces phénomènes sont aggravés par l'abaissement généralisé du cours d'eau, qui peut provoquer en plus le pourrissement des têtes de bois si elles se retrouvent alternativement à l'air et sous l'eau.

Cette sensibilité est prise en compte dans les aléas A1 et A2 ainsi que dans les vulnérabilités correspondantes.

3.2.2 - Sensibilité aux évènements accidentels : chocs et crues

Les ponts en maçonnerie sont sensibles à différents évènements accidentels qui peuvent affecter tout ou partie de la structure.

Les crues sont des évènements extrêmes qui peuvent provoquer la ruine des ponts en maçonnerie de plusieurs manières. Tout d'abord, les éventuels embâcles concentrent et démultiplient les efforts appliqués à la voûte. De plus, l'augmentation de la vitesse du courant lors de ces épisodes extrêmes induit une augmentation substantielle des affouillements, parfois jusqu'à la ruine. Les crues peuvent également provoquer le lessivage des matériaux de remblais dans les culées (ou du remplissage même de l'ouvrage si ce dernier est submergé), ce qui déséquilibre l'ouvrage. Lors de la décrue rapide, les remblais saturés en eau exercent des poussées supérieures aux conditions usuelles, ce qui peut conduire à la déstabilisation des tympans, non dimensionnés pour supporter de telles charges.

Du fait de leur ancienneté, les ouvrages en maçonnerie sont souvent sous-dimensionnés face aux épisodes de crue actuels. Ce sous-dimensionnement hydraulique peut entraîner le contournement des ouvrages et la submersion des remblais d'accès, qui peuvent alors être emportés par le courant. Dans le cas le plus défavorable, l'ouvrage peut être entièrement submergé et risque alors d'être fortement endommagé par les chocs de corps flottants, voire même d'être détruit par le courant (comme sur la Figure 10).



Figure 10 : Destruction d'un ouvrage maçonné lors d'une crue

Les chocs de véhicules sur le parapet, les chocs d'embarcations ou d'embâcles sous la voûte ou sur les piles peuvent également affecter la stabilité de la structure en fonction de leur intensité et de leur point d'application.

Les aléas A3 et A5, ainsi que les vulnérabilités correspondantes permettent de prendre en compte cette sensibilité.



3.2.3 - Sensibilité aux modifications des usages

En considérant que les appuis de l'ouvrage ne sont pas altérés, le déficit de portance des voûtes et tympans peut provenir d'un accroissement des charges appliquées et d'une modification du profil en travers fonctionnel, illustrés par les schémas ci-dessous.

On observe deux phénomènes :

- la modernisation des routes liée à l'augmentation du trafic nécessite souvent d'élargir les voies circulées ; cela se fait dans un premier temps au détriment des trottoirs. **Les charges d'exploitation s'appliquent alors au plus près du sommet des tympans**, changeant ainsi l'équilibre de la géométrie de la structure. Dans un second temps, il est souvent procédé à un élargissement par dalle, qui augmente les charges permanentes et peut modifier le fonctionnement de l'ouvrage. Le poids propre augmente également lors du rechargement de la chaussée ;
- l'augmentation du trafic et du tonnage des véhicules lourds franchissant les ouvrages s'accompagne **d'une hausse des charges d'exploitation**.

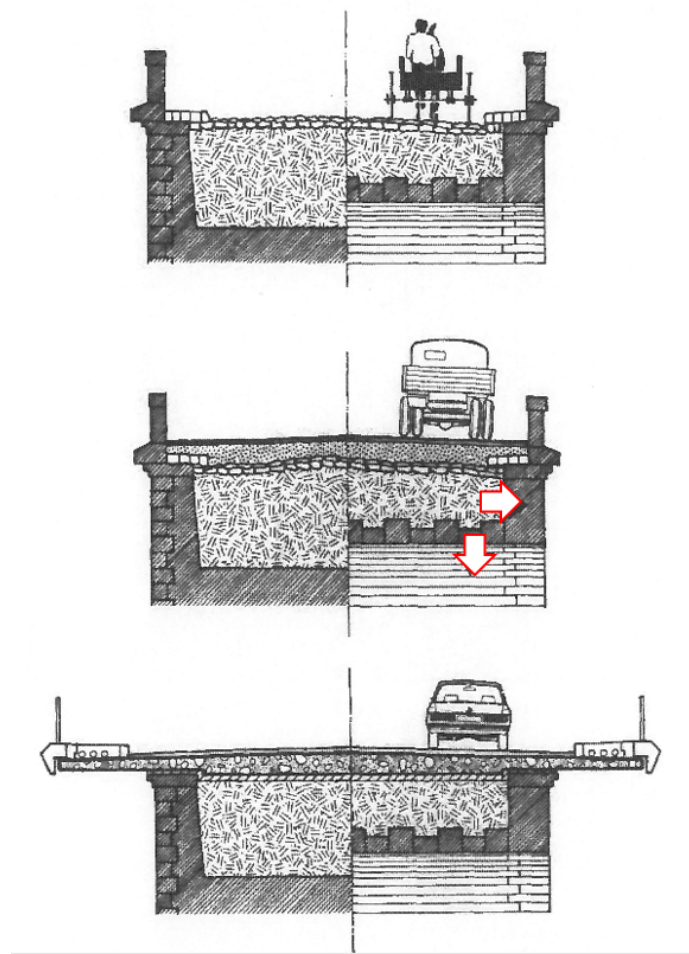


Figure 11 : Évolution de la morphologie transversale

Sur les tympans, les surcharges d'exploitation s'illustrent par la présence de bombements, de défauts de verticalité ou de décrochements par rapport au bandeau de la voûte. Au niveau de la voûte, on observe des décollements du bandeau ainsi que des fissures dans le corps de voûte.

L'aléa A4 et les vulnérabilités associées permettent de prendre en compte cette sensibilité.



3.2.4 - Sensibilité à l'altération des matériaux

Un ouvrage en maçonnerie est constitué d'un complexe de mortier et de pierres dont l'uniformité et la continuité doivent être assurées. La présence répétée de végétation invasive ou de lacunes de mortier et de pierres altère le fonctionnement de l'ouvrage. Ces désordres peuvent être dus à une absence d'entretien régulier.

La présence d'eau au cœur de la voûte peut être due à un défaut d'étanchement et/ou de drainage et à un assainissement de l'ouvrage défaillant. En effet, l'eau est normalement conduite par les remblais drainants jusqu'aux barbacanes qui traversent la voûte protégée par son étanchéité. Lorsque ce système est défaillant, la présence d'eau au cœur de la voûte fragilise la structure.



Figure 12 : Dégradation des matériaux du fait de la circulation d'eau et d'agents agressifs



Figure 13 : Déstabilisation d'un ouvrage en maçonnerie du fait du développement de végétation arbustive



La présence d'eau peut avoir trois effets sur la voûte. On observe premièrement **une dégradation des matériaux**. La chaux du mortier peut être délavée à cause du CO_2 dissout et le mortier peut éventuellement éclater sous l'action du gel de l'eau qui l'imbibe. Les pierres ou briques poreuses peuvent se déliter sous l'effet de la migration des sels qui se cristallisent en surface ou même éclater du fait du gel. D'autres agents agressifs, comme les sels de déverglaçage peuvent avoir un effet similaire (voir figure 12). La présence d'eau modifie également le matériau de remblai et provoque **une augmentation des poussées sur les tympans**. Enfin, les circulations non maîtrisées d'eau favorisent **le développement de végétation** qui, à son tour, entretient l'humidité de la structure. La végétation et notamment le développement des racines peut entraîner la dégradation des joints voire l'expulsion des pierres ou briques de parement, comme sur la figure 13.

La vulnérabilité V4 permet de prendre en compte cette sensibilité.

3.2.5 - Coupure du franchissement par rupture des murs en aile ou des murs en retour

La rupture des murs en aile ou en retour peut occasionner un effondrement local des matériaux retenus et limiter voire interdire le franchissement de la brèche comme sur la figure 14. Il faut noter que la ruine de ces murs peut également avoir des conséquences sur les tympans du fait de leur proximité avec l'ouvrage.



Figure 14 : Rupture du franchissement par effondrement d'un mur en retour

Pour plus de précisions sur les mécanismes en jeu dans la dégradation des murs, se référer au guide Analyse des risques des murs en maçonnerie [9].

L'aléa A6 et la vulnérabilité correspondante permettent de prendre en compte cette sensibilité.



Chapitre 4

Identification et évaluation des aléas

Ce chapitre détaille l'évaluation des aléas auxquels est soumis un ouvrage.

À ce niveau d'analyse simplifiée, certains aléas ne sont pas pris en compte. En effet, les données nécessaires pour les évaluer ne sont pas assez largement disponibles ou l'aléa n'est pas assez discriminant à l'échelle de patrimoine concernée. On peut citer notamment les séismes, les incendies et les chutes de blocs. Selon ses besoins, le gestionnaire pourra étudier plus en détail ces aléas et les vulnérabilités correspondantes lors d'une analyse détaillée ou d'un diagnostic. **Une étude plus spécifique que les éléments simplifiés pris en compte ici peut également être nécessaire vis-à-vis des crues, notamment dans les régions soumises à une augmentation de leur fréquence ou de leur intensité.**

4.1 - Aléa 1 : affouillement des fondations

L'affouillement des fondations est une des principales causes de rupture des ouvrages en maçonnerie. Ce phénomène est difficilement observable : il est nécessaire *a minima* que la visite ou l'inspection détaillée se fasse en période de basses eaux, et bien souvent qu'elle soit complétée par une inspection subaquatique, pour que la dynamique du phénomène puisse être confirmée ou infirmée.

Le guide d'analyse des risques sur les ponts en site affouillable [8] explore déjà ce phénomène pour l'ensemble des ponts. Les critères d'aléas présentés ici sont les mêmes. Si l'analyse des risques sur les ouvrages en site affouillable a déjà été effectuée, il est nécessaire de reprendre les éléments utilisés pour les introduire dans cette analyse afin de les confronter aux vulnérabilités spécifiques aux ouvrages en maçonnerie.

Les facteurs pris en compte pour quantifier l'aléa affouillement sont développés dans les paragraphes suivants.



Figure 15 : Exemple d'affouillement sous la pile d'un ouvrage en maçonnerie



4.1.1 - Type d'écoulement du cours d'eau (A₁₁)

Le type d'écoulement du cours d'eau est un indicateur de la vitesse du courant et donc de sa capacité à éroder le fond du lit. Pour cette analyse simplifiée, on scinde ce critère en trois grandes catégories :

- **les rivières à régime fluvial** : rivières de plaines, rivières aménagées ou navigables, canaux, rivières fluviales en milieu estuarien soumis à la marée ;
- **les rivières torrentielles** : la particularité de ces cours d'eau par rapport à la catégorie précédente vient des fortes crues suite à de violents orages. Les rivières méditerranéennes sont notamment considérées comme torrentielles ;
- **les torrents de montagne et rivières sous régime cyclonique des DROM³** : il s'agit des cours d'eau les plus érosifs et donc les plus pénalisants pour l'affouillement. En métropole, les cours d'eau torrentiels sont en général situés dans des communes soumises à la « loi Montagne ».

Les ouvrages soumis à des crues récurrentes peuvent être classés dans la catégorie « rivières torrentielles » même s'il s'agit d'un ouvrage fluvial du fait du fort impact de ces dernières sur les phénomènes d'affouillement. Dans le cas où les dénivellations du cours d'eau sont connues, le schéma ci-dessous permet de guider la catégorisation. Cela permet de classer des ouvrages situés en travers de talwegs ou de bassins versants secs en dehors des épisodes pluvieux.

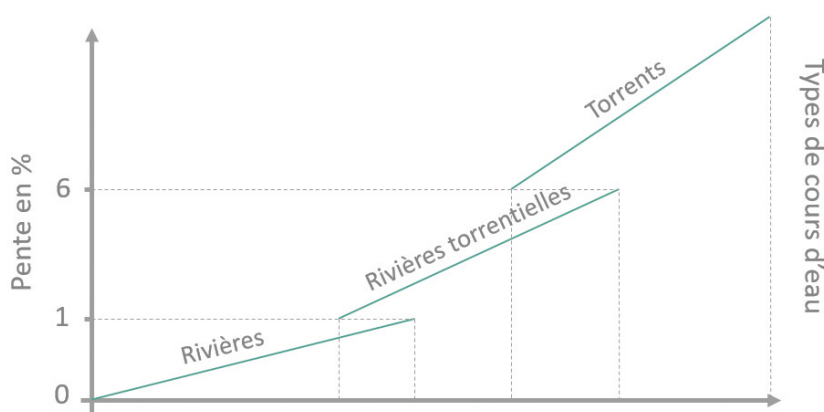


Figure 16 : Schéma permettant de déterminer le régime du cours d'eau en fonction de la pente⁴

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- plans de l'ouvrage ;
- photos.

4.1.2 - Nature du fond de lit (A₁₂)

Un ouvrage fondé sur un substratum rocheux est très peu sensible aux affouillements. À l'inverse, un fond de lit constitué de matériaux alluvionnaires fins et légers sera facilement érodable, même sous des vitesses de courant faibles. En cas de natures du fond de lit différentes sous les différents appuis du pont (cas d'un pont dans un méandre par exemple), on considère l'élément le plus défavorable.

On distingue pour ce critère les sous-catégories suivantes, représentatives de la nature du fond du lit et de la susceptibilité des matériaux qui le composent à être plus ou moins entraînés par le courant :

- substratum rocheux affleurant ;
- blocs (diamètre > 20 cm) ;
- graves, cailloux, galets, etc ;
- argiles, limons ;
- sables, etc.

³ Départements et Régions d'Outre-Mer.

⁴ Source [20].



Source de la donnée :

- visite pendant la période des eaux basses ;
- dossier d'ouvrage : plans de l'ouvrage, rapports d'études, etc. ;
- cartes géologiques⁵ ;
- connaissance géologique du site⁶.

Nota :

- (1) L'option la plus favorable (substratum rocheux affleurant) doit être retenue uniquement si on est sûr que tous les appuis sont directement posés sur un massif rocheux dur et peu fracturé.
- (2) Les argiles et limons consolidés entrent dans la catégorie des sols dits « cohérents » : même s'ils n'ont pas la « dureté » d'une roche, leur cohésion fait qu'il ne peut s'y développer de phénomène d'affouillement, au sens de la mise en suspension de particules de sols, sous l'effet du courant et des turbulences. Néanmoins, ces sols peuvent subir une certaine érosion – plus intense en période de crue – qui, au fil des ans, peut aboutir à une perte d'épaisseur. Ce phénomène induit un certain dégarnissage lent et progressif des fondations, mais sans comparaison avec le phénomène d'affouillement proprement dit pouvant se développer sur plusieurs mètres de hauteur et de manière rapide dans des terrains granulaires.

Attention : Les roches tendres (grès, tuffeau, gypse, roches décomposées) ou le substratum érodable (marnes, craies, grès, etc.) ne rentrent pas dans cette catégorie, mais sont plutôt à rapprocher de l'une ou l'autre des autres catégories suivantes pour l'évaluation de l'aléa, en fonction de la granulométrie pouvant résulter de leur décomposition.

4.1.3 - Effet de contraction au droit de l'ouvrage

Lorsqu'un pont réduit fortement le débouché hydraulique d'un cours d'eau dont le débit reste constant, la vitesse du courant augmente, favorisant l'érosion du sol de fondation. Ce critère intègre la capacité de l'ouvrage en lui-même à laisser passer le courant, en fonction de ses dimensions mais également la qualité de l'entretien des berges et notamment **la présence d'embâcles**.

Source de la donnée :

- analyse de photos et de plans de l'ouvrage : L'ouvrage enjambe-t-il le lit majeur du cours d'eau ou seulement le lit mineur ? L'ouvrage diminue-t-il visuellement le débouché hydraulique ? Existe-t-il des ouvrages de décharge proches du pont, pouvant signaler un débouché hydraulique incertain ?
- connaissance des crues antérieures et des mises en charge historiques de l'ouvrage ;
- bathymétries existantes éventuelles ;
- connaissance de la présence d'embâcles à cet endroit.

4.1.4 - Dimension des obstacles (A_{14})

Un obstacle important, tel qu'un appui de grande largeur, favorise la création de tourbillons juste sous l'appui, aggravant ainsi le phénomène d'affouillement local.

On évalue ici la largeur de l'obstacle le plus pénalisant parmi toutes les piles et culées. Dans le cas où la pile est portée par un massif plus large que la pile elle-même (semelle, batardeau, enrochements, caisson, etc.) situé au-dessus du niveau moyen du lit du cours d'eau, c'est la forme de ce massif qu'il faut prendre en compte (voir figure 17).

⁵ En l'absence de cartes géologiques, le site du BRGM « Infoterre » peut être consulté pour obtenir des données générales : <http://infoterre.brgm.fr/>.

⁶ Dans le cadre d'une analyse détaillée, une analyse de carottes pourra permettre d'identifier le type de sol.

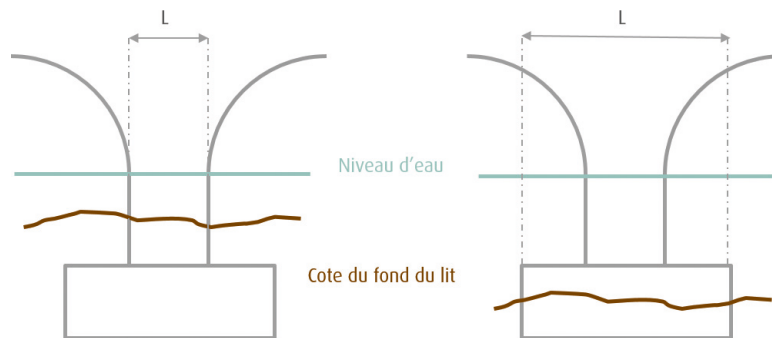


Figure 17 : Largeur de l'obstacle à l'écoulement à considérer (cas d'un écoulement parallèle à la pile)

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage.

4.1.5 - Forme et orientation des piles (A_{15})

Un appui de faible largeur mais de grande longueur peut constituer un obstacle important à l'écoulement s'il n'est pas implanté dans le sens du courant. S'il existe un biais entre l'alignement des piles et le courant, il est nécessaire de préciser le facteur de dimension des obstacles, comme indiqué sur la Figure 18. Dans le cas où la pile est portée par un massif plus large que la pile elle-même (semelle, batardeau, caisson, etc.) situé au-dessus du niveau moyen du lit du cours d'eau, c'est la forme de cet élément qu'il faut prendre en compte.

Dans le cadre de l'analyse simplifiée, on se limite à l'identification de conditions favorables ou défavorables. Toutefois, il peut être pertinent de s'intéresser à l'angle d'attaque de façon plus approfondie lors de l'analyse détaillée, notamment pour prendre en compte le fait que l'orientation du courant est susceptible de varier en cas de crues.

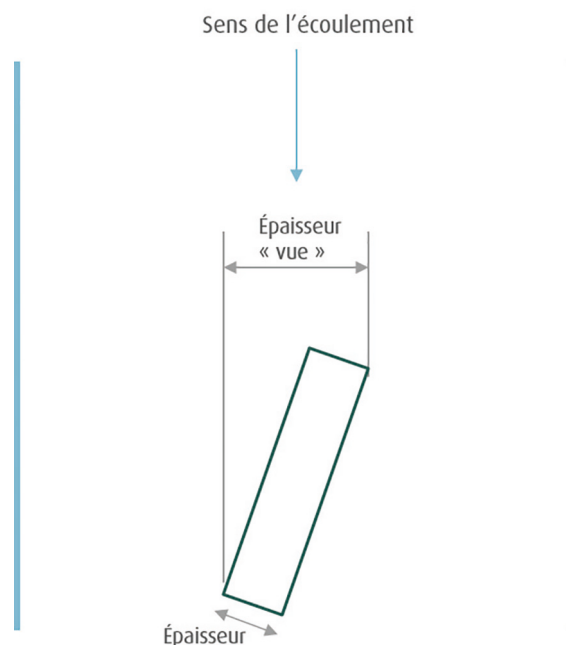


Figure 18 : Exemple de configuration de forme oblongue ou allongée associée à un biais de nature à augmenter sensiblement la surface d'obstacle vue

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage.



4.1.6 - Évolution du lit du cours d'eau (A₁₆)

On recherche ici des éléments témoignant d'un remodelage du lit du cours d'eau, ce qui perturbe et accélère les courants. Sont visées à la fois les évolutions en plan (déplacement, modification du tracé du lit) et les évolutions en profondeur.

Cette information relève d'une connaissance locale du cours d'eau mais peut aussi être fournie par certaines observations de terrain :

- **lit connu pour être stable** : la stabilité du lit peut être évaluée grâce à certains critères concernant l'environnement du cours d'eau comme la présence, en zone de plaine, de végétation arbustive encadrant le cours d'eau et/ou sur les îles éventuelles, ou par la présence d'herbes en fond ;
- **lit connu comme étant mobile** : la mobilité d'un lit peut se traduire ou être mise en évidence par la présence d'un des phénomènes suivants : abaissement, divagation (déplacement du lit), érosion des berges, fosses d'affouillement, coudes, banc d'alluvions à nu... Exemples : la Loire dans la région de Tours, la Dordogne, le Rhône (fond mobile).



Figure 19 : Exemple de dépôts alluvionnaires et création de chenaux en tresse témoignant d'un remodelage du cours d'eau

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- photos.

4.1.7 - Grille d'évaluation de l'aléa « affouillement »

A ₁₁	Type d'écoulement du cours d'eau	rivière fluviale	2
		rivière torrentielle	3,5
		torrent de montagne	5

A ₁₂	Nature du fond de lit	substratum rocheux	0	0	A ₁₈
		blocs	1	0,4	
		graves, cailloux, galets	1,6		
		limons, argiles	2,8	1	
		sables	3,5		

[...]



[...]

A ₁₃	Effet de contraction du fond de lit y compris présence d'embâcles	peu impacté	0,5
		débouché réduit de 15 % à 40 %	2
		débouché réduit de plus de 40%	6
A ₁₄	Dimension des obstacles	pas de culées ni de piles en saillie	1
		largeur inférieure ou égale à 2 m	1,5
		largeur comprise entre 2 et 4 m	2,5
		largeur supérieure à 4 m	3,5
A ₁₅	Forme et orientation des piles	pas de piles ni de culées en saillie	1
		fûts circulaires ou carrés ou absence de biais	1
		forme oblongue ou allongée, avec un biais de nature à tripler la largeur d'obstacle vue	3
		autre cas	2
A ₁₆	Évolution du lit	lit connu pour être stable	1,1
		présence de dunes H > 1 m ou bancs d'alluvions mobiles	1,3

Tableau 1 : Évaluation de l'aléa « affouillement »

4.2 - Aléa 2 : déstabilisation des fondations

Même si la fondation n'est pas soumise à l'affouillement, des phénomènes tels que le gonflement des argiles, le tassement du sol, le marnage ou le glissement des sols peuvent entraîner des mouvements verticaux, latéraux ou transversaux des fondations, extrêmement néfastes pour la structure.

Les ponts en maçonnerie sont des ouvrages anciens. Il existe des exemples de ponts présentant un défaut de portance depuis leur construction (le pont de Pierre à Bordeaux, par exemple, tasse depuis sa construction). Pour d'autres ouvrages qui n'ont pas présenté de mouvements depuis leur construction, il peut s'agir notamment d'une modification de l'environnement (du niveau du cours d'eau, du niveau du lit du cours d'eau, de l'intensité des charges d'exploitation, etc.).

4.2.1 - Nature du sol de fondation (A₂₁)

Cette information permet de quantifier la probabilité que le sol se déforme sous les contraintes qui lui sont appliquées. Dans l'analyse simplifiée, on distingue les bons sols (correspondant aux catégories « blocs » et « substratum rocheux » précédentes) des sols de qualité moyenne ou indéterminée.

Source de la donnée :

- visite pendant la période des eaux basses ;
- dossier d'ouvrage : plans de l'ouvrage, rapports d'études, etc. ;
- cartes géologiques⁷ ;
- connaissance géologique du site⁸.

⁷ En l'absence de cartes géologiques, le site du BRGM « Infoterre » peut être consulté pour obtenir des données générales : <http://infoterre.brgm.fr/>.

⁸ Dans le cadre d'une analyse détaillée, une analyse de carottes pourra permettre d'identifier le type de sol.



4.2.2 - Modifications de l'environnement en pied d'ouvrage (A₂₂)

Les modifications de l'environnement de l'ouvrage peuvent contribuer à déstabiliser les appuis. De nombreux phénomènes naturels et anthropiques peuvent mener à cette déstabilisation. On peut citer notamment le creusement du lit de la rivière, l'érosion régressive, la disparition d'un radier, le changement de régime hydraulique, la disparition d'un seuil hydraulique, les travaux attenants aux fondations ou l'ouverture de karsts.

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- actions de surveillance antérieures ;
- photos⁹.

4.2.3 - Grille d'évaluation de l'aléa « mouvement des fondations »

A ₂₁	Nature du terrain	substratum rocheux ou bon sol	0
		autres	5
A ₂₂	Modification de l'environnement en pied de l'ouvrage	absence	0
		modification défavorable de l'environnement	7

Tableau 2 : Évaluation de l'aléa « mouvement des fondations »

4.3 - Aléa 3 : mise en charge de l'ouvrage lors de crues

De manière générale, les crues sont des phénomènes complexes à étudier. On procède ici à une analyse simplifiée en fonction des éléments disponibles sans visite complémentaire. **Ce phénomène doit cependant être étudié plus en détail lors d'une analyse détaillée, d'un diagnostic ou d'une étude spécifique notamment dans les zones soumises à l'augmentation de l'intensité des crues.** Les éléments développés ici ont été simplifiés afin d'être utilisables de façon la plus large possible. Les gestionnaires dont les ouvrages sont situés sur un cours d'eau très surveillé sont invités à se référer au guide d'analyse des risques sur les crues (à paraître).

Les phénomènes d'affouillement, pris en compte dans le premier aléa ne sont pas repris ici.

4.3.1 - Condition d'écoulement (A₃₁)

Les conditions d'écoulement sont ici utilisées pour caractériser la vitesse de la décrue. La donnée est la même que celle utilisée pour les affouillements.

4.3.2 - Effet de contraction de l'ouverture de l'ouvrage (A₃₃)

Plus l'ouvrage impacte l'ouverture hydraulique de la brèche dans laquelle il est implanté, plus le niveau des eaux par rapport à l'ouvrage sera haut. Ce critère intègre la capacité de l'ouvrage en lui-même à laisser passer le courant, en fonction de ses dimensions.

Source de la donnée :

- analyse de photos et de plans de l'ouvrage : l'ouvrage diminue-t-il visuellement le débouché hydraulique ? Existe-t-il des ouvrages de décharge proche du pont, pouvant signaler un débouché hydraulique incertain ?
- connaissance des crues antérieures et des mises en charge historiques de l'ouvrage ;
- bathymétries existantes éventuelles.

⁹ Le site <https://remonterletemps.ign.fr/> permet également de mieux comprendre l'évolution du lit du cours d'eau.



4.3.3 - Présence d'embâcles (A₃₄)

Lors d'une crue, les embâcles démultiplient la pression appliquée à l'ouvrage et concentrent les charges au niveau du contact embâcle/ouvrage. De plus, les embâcles augmentent artificiellement la hauteur de crue en réduisant le débouché hydraulique. On considère de façon simplifiée les trois cas suivants :

- **probabilité d'embâcles quasi-nulle** : la configuration en amont de l'ouvrage (tracé sinueux, nombreux obstacles en amont de l'ouvrage, etc.) ne favorise pas le blocage des débris flottants au niveau des appuis ;
- **probabilité moyenne d'embâcles** : le phénomène n'est pas observé mais la configuration du lit favorise potentiellement son occurrence. La conception des appuis peut également favoriser les embâcles (par exemple encagement en palplanches avec remplissage en béton en surface horizontale entre le fût et les palplanches dépassant du fond) ;
- **présence avérée d'embâcles** : la présence d'embâcles a déjà été observée sur l'ouvrage.



Figure 20 : Embâcles susceptibles de concentrer les charges lors d'une crue

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- actions de surveillance antérieures.

4.3.4 - Grille d'évaluation de l'aléa « crues »

A ₃₁	Conditions d'écoulement	rivière fluviale	2
		rivière torrentielle	5
		torrent de montagne	8
A ₃₂	Effet de contraction de l'ouverture de l'ouvrage (sans prise en compte des embâcles)	peu impacté	2
		débouché réduit de 15 % à 40 %	5
		débouché réduit de plus de 40 %	10
A ₃₃	Présence d'embâcles	non	0
		possible	2
		avérée	4

Tableau 3 : Évaluation de l'aléa « crues »



4.4 - Aléa 4 : charges d'exploitation



Figure 21 : Exemple de surcharge d'exploitation sur un ouvrage en maçonnerie (convoi de 260 T)

4.4.1 - Circulation des poids lourds (A_{41})

Le passage fréquent de transports exceptionnels sur l'ouvrage risque de fragiliser la structure par excès de compression ou par décollement des bandeaux.

S'il n'y a pas de transports exceptionnels, le passage répété de poids lourds va également fragiliser l'ouvrage mais dans une moindre mesure. L'occurrence répétée de charges très lourdes et denses est également très pénalisante pour les ouvrages en maçonnerie, qui ne sont pas conçus pour supporter de telles charges. Il peut s'agir d'engins agricoles, de chantier ou de grumiers pour un ouvrage près d'un dépôt, d'un chantier ou d'une entreprise par exemple.

Source de la donnée :

- application Web Isidor ;
- connaissance du gestionnaire ;
- itinéraire de Transports Exceptionnels.

4.4.2 - Charges permanentes (A_{42})

Du fait de leur âge, les ponts en maçonnerie ont généralement fait l'objet de plusieurs réfections du revêtement de chaussée. Si des rechargements successifs ont eu lieu sans enlever au préalable la chaussée abîmée, ou si le renouvellement de chaussée se fait en rabotant moins que l'épaisseur mise en œuvre, cela peut mener à une augmentation substantielle du poids propre.

Source de la donnée :

- dossier d'ouvrage : plans de l'ouvrage, rapports de travaux ;
- visite de terrain, analyse de photos (diminution de la hauteur de parapet, de bordures de trottoirs, etc.).



4.4.3 - Grille d'évaluation de l'aléa « surcharges d'exploitation »

				1500 - 6000 PL/J	> 6000 PL/J	Occurrence répétée de charges très lourdes
A ₄₁	Circulation régulière de transports exceptionnels	non	0	+2	+4	+6
		oui	9	+0	+1	+3
A ₄₃	Augmentation substantielle du poids propre	pas de rechargement				0
		rechargement vraisemblable				3

Tableau 4 : Évaluation de l'aléa « surcharges d'exploitation »

4.5 - Aléa 5 : chocs sur la structure

Les structures en maçonnerie sont généralement assez peu sensibles aux chocs des véhicules ou bateaux pouvant circuler sur ou sous l'ouvrage. Toutefois, selon la masse du véhicule entrant en contact avec les éléments du pont et le point d'application du choc, la stabilité de l'ouvrage peut être affectée.

4.5.1 - Circulation routière sur l'ouvrage (A₅₁)

Si l'ouvrage supporte une circulation routière, les chocs éventuels de véhicules sur les parapets (notamment en entrée et sortie d'ouvrage) fragilisent la structure et peuvent mener à un décollement du tympan et du bandeau puisque les parapets sont directement liés au tympan. L'aléa est caractérisé par le nombre de voies portées.

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire.

4.5.2 - Circulation de poids lourds sous l'ouvrage (A₅₂)

Les chocs de véhicule sur la voûte peuvent déchausser une ou plusieurs pierres et créer un déséquilibre des forces pouvant aller jusqu'à la rupture. Ces chocs peuvent se produire quand les poids lourds ne respectent pas le gabarit imposé par le pont. L'aléa de probabilité de choc, lié à la circulation de poids lourds sous l'ouvrage est estimé par le gestionnaire en trois catégories « aucune occurrence de choc possible », « choc possible » ou « choc avéré ».

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire.

4.5.3 - Navigation en dessous de l'ouvrage (A₅₃)

Les chocs de bateaux sur piles peuvent déstabiliser les ponts en maçonnerie. Ici l'aléa est caractérisé par le type de navigation sur la voie d'eau. On distingue les voies d'eau non navigables, les voies d'eau supportant une navigation de plaisance ou commerciale légère (classe CEMT II) et les voies d'eau supportant une navigation commerciale lourde (classe CEMT III à VII).

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire.

4.5.4 - Présence d'embâcles sur le cours d'eau (A₅₄)

Les corps flottants sur le cours d'eau peuvent impacter la structure en cas de collision violente avec les piles. La donnée est la même que celle utilisée pour l'évaluation de l'aléa « crues ».



4.5.5 - Grille d'évaluation de l'aléa « chocs sur la structure »

A ₅₁	Circulation routière sur l'ouvrage	autres voies	2
		2 x 1 voies	4
		2 x 2 voies et plus	8
A ₅₂	Circulation des poids lourds sous l'ouvrage	aucune occurrence de choc possible	0
		choc possible	4
		choc avéré	8
A ₅₃	Navigation en dessous de l'ouvrage	voie non navigable	0
		navigation de classe II	2
		navigation au-delà de la classe II	15
A ₅₄	Présence d'embâcles sur le cours d'eau	non	0
		possible	2
		avérée	4

Tableau 5 : Évaluation de l'aléa « chocs sur la structure »

4.6 - Aléa 6 : rupture des murs en aile ou en retour

Cet aléa est cohérent avec l'analyse des risques sur les murs en maçonnerie dans le cas de murs en retour ou de murs en aile de faible longueur.

L'aléa est caractérisé par la qualité d'assise du mur ainsi que la présence d'arbres dans la zone d'influence du mur.

A ₆₁	Qualité d'assise du mur	bonne	0
		problématique : pente, travaux	8
A ₆₂	Présence d'arbres dans la zone d'influence du mur	non	0
		oui	8

Tableau 6 : Évaluation de l'aléa « rupture du mur en aile »



Chapitre 5

Vulnérabilités aux aléas

Ce chapitre détaille les critères permettant de caractériser la vulnérabilité de chaque ouvrage aux aléas définis dans le chapitre précédent, ainsi que leur évaluation.

5.1 - Vulnérabilité 1 : affouillement des fondations

Dans la mesure où on s'intéresse au patrimoine spécifique des ponts en maçonnerie, les facteurs et critères pris en compte ici diffèrent de ceux utilisés dans l'analyse des risques générale sur l'affouillement [8].

Dans le cas des ponts en maçonnerie, il arrive régulièrement que les murs en aile soient affectés par l'affouillement avant les fondations des piles et des culées. On évalue donc à la fois la vulnérabilité de la voûte et celle des murs.

5.1.1 - Type de fondations des piles et des culées (V_{11})

Le type de fondation est malheureusement souvent inconnu des gestionnaires. Toutefois, au vu du caractère prépondérant de ce facteur vis-à-vis de la vulnérabilité de l'ouvrage, l'absence de données est aussi pénalisante que le pire des cas. En cas d'aléa fort, il est fortement recommandé de prévoir les investigations nécessaires pour connaître cette donnée et d'ajuster si besoin le niveau de risque.

Les pieux bois dégarnis sont très vulnérables en présence d'affouillements puisqu'ils sont très sensibles à l'érosion des couches supérieures du fond de lit qui diminue leur fiche déjà peu profonde. Les fondations superficielles dont on n'a pas la certitude qu'elles reposent sur le substratum rocheux sont également très sensibles puisque l'affouillement peut provoquer leur basculement.

Si le type de fondation n'est pas le même sur toutes les piles et culées, on retient le type de fondations le plus défavorable.

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- inspections subaquatiques.

5.1.2 - Surveillance des fondations (V_{12})

Le fait que des actions de surveillance telles que des inspections détaillées subaquatiques soient menées de manière régulière peut être considéré comme un facteur favorable de robustesse si celles-ci ne révèlent pas de défaut.

Il est à noter que la détection lors d'une inspection d'un affouillement à un stade déjà avancé doit automatiquement faire sortir l'ouvrage du cadre de l'analyse des risques et conduire à des études poussées permettant un diagnostic puis la rédaction d'un projet de réparation d'urgence. Seuls les ouvrages sans affouillement détecté ou dont l'affouillement se trouve dans un stade très peu avancé sont à traiter dans cette analyse.

Source de la donnée :

- compte rendu de visite ou d'inspection.



5.1.3 - Protections des piles et des culées (V_{13} et V_{14})

La présence d'avant-becs sur les piles et les culées permet d'éviter les phénomènes de tourbillon et rend donc l'ouvrage moins vulnérable aux affouillements.

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- photos ;
- compte rendu de visites ou d'inspections précédentes.

Existence d'autres dispositifs de protection des fondations vis-à-vis de l'affouillement :

Certains ouvrages sont équipés d'éléments de protection tels que des enrochements, gabions, matelas de gabions, parafoilles, radiers, épis etc. De telles protections peuvent avoir été mises en place dès la construction de l'ouvrage car faisant partie intégrante de sa conception, ou bien ultérieurement à titre de renforcement contre des affouillements détectés à l'occasion d'opérations de surveillance ou soupçonnés.

La robustesse censée être apportée par ces dispositifs de protection fait l'objet de débats ; en effet, leur présence peut donner lieu à des positions assez contradictoires quant au risque d'affouillement. La présence de protections peut aussi bien être interprétée comme un élément de robustesse si celles-ci ont été mises en place dès la construction de l'ouvrage, ou au contraire de vulnérabilité si elles ont été mises en place plus tard car, dans ce cas, elles pourraient être le signe de développement d'affouillements avérés. Or, il est souvent difficile de savoir dans lequel des deux cas on se trouve si on n'a pas d'informations historiques très précises sur la vie de l'ouvrage.

On sait par ailleurs que certains dispositifs de protection, et notamment les enrochements, peuvent avoir un effet plus néfaste que bénéfique vis-à-vis de l'affouillement quand ils réduisent significativement le débouché hydraulique. De plus, ils peuvent compromettre la possibilité de visiter correctement les appuis.

Ce facteur a donc été exclu au stade de l'analyse simplifiée car jugé trop délicat à apprécier et devant faire l'objet d'une analyse plus poussée au cas par cas.

5.1.4 - Désordres fragilisant les appuis vis-à-vis de l'affouillement (V_{15})

Lorsque la structure est déjà fragilisée par des désordres pouvant être causés par l'affouillement, sa résistance au phénomène est réduite. On considère donc que les désordres pouvant être causés par l'affouillement augmentent la vulnérabilité de l'ouvrage.

On prend en compte ici la plus pénalisante des notes concernant les désordres de la liste ci-dessous.

Source de la donnée :

Compte rendu de visite IQOA. Les désordres du catalogue IQOA « ponts en maçonnerie » pouvant être liés à l'affouillement sont les suivants :

- 51 : dégradation des éléments de protection en site aquatique ;
- 54, 67, 79, 114 bis : défaut d'horizontalité des lits de pierres sur les tympans, les murs en retour les murs en aile, le mur de tête, en piédroit ou en pile ;
- 59 : fractures sur les tympans, les murs en retour ou le mur en aile ;
- 66, 114 : défaut de verticalité des tympans ou du mur de tête ou de la pile ;
- 71, 82 : fractures ;
- 83 : dislocation du rampant ;
- 90.2 : décollement de bandeau avec affaissement de la voûte et/ou cisaillement des harpages ;
- 90 bis : désolidarisation d'un avant ou d'un arrière-bec ;
- 92 : fissures ou fractures de type III, IV ou V proches des bandeaux ;
- 95 : fractures verticales de type VI ou IX situées dans la zone centrale d'un piédroit ou d'une pile ;
- 96 : fracture oblique en rive d'ouvrage ;
- 98, 100 : fissures transversales.



Nota : Les désordres suivants relèvent du critère de surveillance des fondations (V_{12}) :

- 115 : affouillement ;
- 120 : têtes de pieux en bois dégarnies ;
- 121 : cheminement d'eau à travers ou sous le radier.

5.1.5 - Position du mur en aile (V_{16})

La vulnérabilité des murs dépend de leur orientation par rapport au courant. Dans le cas le plus favorable, les murs ne sont pas en contact avec l'eau et ne sont donc pas vulnérables.

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- photos.

5.1.6 - Surveillance des fondations des murs en aile et présence de désordres révélateurs d'affouillement (V_{17} et V_{18})

Ces éléments sont à prendre en compte au même titre que pour les piles et les culées des ponts.

5.1.7 - Grille d'évaluation de la vulnérabilité « affouillement »

V_{11}	Type de fondation des piles et des culées	superficielles au rocher	0
		semi-profondes	2
		pieux bois ou superficielles sans certitude d'être fondé directement sur le rocher	15
		absence de données	15
V_{12}	Surveillance des piles et des culées	surveillance récente sans affouillement	-10
		fondation non surveillée depuis 7 à 10 ans	7
		fondation non surveillée depuis plus de 10 ans	10
		surveillance récente avec initiation d'affouillement	15
V_{13}	Élément de protection des piles	pas de piles en rivière	0
		présence d'avant-becs	1
		absence d'avant-becs	5
V_{14}	Élément de protection des culées	pas de culées en rivière	0
		présence d'avant-becs	1
		absence d'avant-becs	5
V_{15}	Note la plus pénalisante sur les désordres fragilisant les appuis de la voûte vis-à-vis de l'affouillement	1 ou 2	0
		2E	8
		3 ou 3U ou NE	15
V_{16}	Position du mur en aile	pas de contact avec l'eau	0
		parallèle au courant	4
		fait obstacle au courant	8

[...]



[...]

V₁₇	Surveillance des murs en aile	surveillance récente sans affouillement	-10
		fondation non surveillée depuis 7 à 10 ans	7
		fondation non surveillée depuis plus de 10 ans	10
		surveillance récente avec initiation d'affouillement	15
V₁₈	Note la plus pénalisante sur les désordres fragilisant les murs vis-à-vis de l'affouillement	1 ou 2	0
		2E	4
		3 ou 3U ou NE	8

Tableau- 7 : Évaluation de la vulnérabilité « affouillement »

5.2 - Vulnérabilité 2 : destabilisation des fondations

La vulnérabilité aux mouvements des fondations s'évalue à partir de la forme de la voûte et de la note de l'ouvrage vis-à-vis du problème ciblé.

5.2.1 - Forme de la voûte (V₂₁)

On considère de manière simplifiée que les voûtes surbaissées sont plus vulnérables que les voûtes de plein cintre. Dans le cadre de l'analyse simplifiée, on distingue les voûtes plein cintre des voûtes surbaissées et de celles fortement surbaissées (voir §3.1.1).

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- photos.

5.2.2 - Note de l'ouvrage (V₂₂)

Un ouvrage déjà fragilisé sera plus sensible aux mouvements des fondations. On considère ici la plus pénalisante des notes concernant les désordres de la liste ci-dessous.

Source de la donnée :

Compte rendu de visite IQOA. Les désordres du catalogue IQOA « ponts en maçonnerie » à prendre en compte sont les suivants :

- 51 : dégradation des éléments de protection en site aquatique ;
- 54, 67, 79, 114 bis : défaut d'horizontalité des lits de pierres sur les tympans, les murs en retour, les murs en aile, le mur de tête, en piédroit ou en pile ;
- 59 : fractures sur les tympans, les murs en retour ou le mur de tête ;
- 66, 114 : défaut de verticalité des tympans ou du mur de tête ou de la pile ;
- 71, 82 : fractures ;
- 83 : dislocation du rampant ;
- 90.2 : décollement de bandeau avec affaissement de la voûte et/ou cisaillement des harpages ;
- 90 bis : désolidarisation d'un avant ou d'un arrière-bec ;
- 92 : fissures ou fractures de type III, IV ou V proches des bandeaux ;
- 95 : fractures verticales de type VI ou IX situées dans la zone centrale d'un piédroit ou d'une pile ;
- 96 : fracture oblique en rive d'ouvrage ;
- 98, 100 : fissures transversales.



5.2.3 - Grille d'évaluation de la vulnérabilité « mouvements des fondations »

V_{21}	Forme de la voûte	plein cintre	2
		surbaissée	5
		fortement surbaissée	10
V_{22}	Note la plus pénalisante sur les désordres fragilisant l'ouvrage vis-à-vis du mouvement des fondations	1 ou 2	0
		2E	8
		3 ou 3U ou NE	15

Tableau 8 : Évaluation de la vulnérabilité « mouvements des fondations »

5.3 - Vulnérabilité 3 : mise en charge de l'ouvrage lors de crues

La vulnérabilité d'un ouvrage en maçonnerie aux crues est principalement liée à la possibilité de submersion de tout ou partie de l'ouvrage donc à la hauteur de la clé de voûte par rapport au niveau le plus haut de l'eau.

5.3.1 - Hauteur de l'ouvrage (V_{31})

Si on compare deux ouvrages de hauteurs différentes avec un même niveau d'eau, il apparaît que les ouvrages les plus hauts sont les moins vulnérables. En effet, les effets de la crue et de la décrue seront plus dommageables si l'eau est présente dans les tympans que si elle n'est présente que dans les piles.

On compare donc le niveau de la crue **centennale** par rapport à l'altitude de l'intrados des voûtes, comme sur la figure 22. On considère qu'un tirant d'air (h) inférieur à un mètre peut être très dommageable pour la structure.

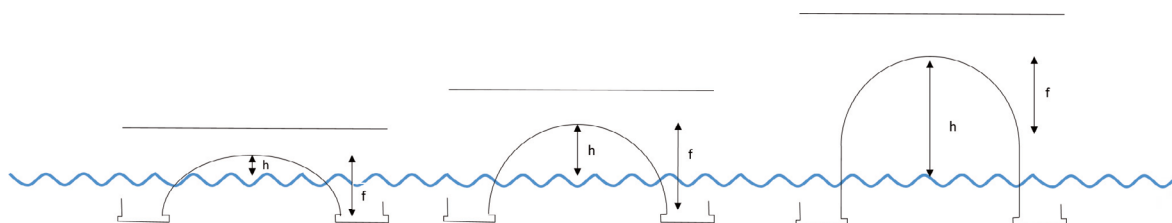


Figure 22 : Différentes hauteurs d'ouvrage pour le même niveau de crue

Source de la donnée :

- macaron commémoratif sur ouvrage, jauge sur la culée, laisse de crue, mémoire collective : ces valeurs précises et localisées aux alentours de l'ouvrage doivent être utilisées en priorité ;
- certaines données concernant les hauteurs d'eau et leur récurrence peuvent éventuellement être récupérées auprès des services gestionnaires lorsque le cours d'eau est navigué (Voies Navigables de France, Compagnie Nationale du Rhône) ;
- pour certains cours d'eau surveillés, des données peuvent être récupérées auprès des Syndicats des Bassins Versant, sur la Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH) de l'Irstea (<https://bdoh.irstea.fr>) ou sur le site <http://hydro.eaufrance.fr/> du Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations ;
- des données intéressantes peuvent également être extraites du Plan de Prévention du Risque Inondation si celui-ci a déjà été réalisé (disponible en DDT et/ou préfecture).



5.3.2 - Insertion topographique (V_{32})

Dans le cas d'un ouvrage en plaine avec accès sur remblai, la crue peut contourner l'ouvrage et déstabiliser les remblais d'accès à l'ouvrage, ce qui coupe le franchissement.

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- plans de l'ouvrage ;
- photos.

5.3.3 - Grille d'évaluation de la vulnérabilité « crues »

V_{31}	Hauteur de l'ouvrage par rapport à la crue centennale	ouvrage largement dimensionné : $h > f$	0
		ouvrage légèrement sous-dimensionné : $1 \text{ m} < h \leq f$	5
		ouvrage sous-dimensionné : $h \leq 1 \text{ m}$	10
V_{32}	Ouvrage en plaine avec accès sur remblai	non	0
		oui	10

Tableau 9 : Évaluation de la vulnérabilité « crues »

5.4 - Vulnérabilité 4 : charges d'exploitation

La géométrie du pont ainsi que son état influent sur sa vulnérabilité aux surcharges.

5.4.1 - Forme de la voûte (V_{41})

On considère de manière simplifiée que les voûtes surbaissées sont plus vulnérables que les voûtes de plein cintre. Dans le cadre de l'analyse simplifiée, on distingue les voûtes plein cintre des voûtes surbaissées et de celles fortement surbaissées (voir § 3.1.1).

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- photos.

5.4.2 - Ouverture maximale de la voûte (V_{42})

Lorsqu'il passe sur une voûte, un convoi exceptionnel est moins pénalisant si l'ouverture de la voûte est inférieure à la longueur de l'impact. De manière simplifiée, on distingue donc les ouvrages d'ouverture supérieure ou inférieure à 8 m.

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- photos.

5.4.3 - Présence d'encorbellements en contrepoids (V_{43})

L'augmentation de la circulation induit souvent des élargissements ultérieurs à la construction. Si cet élargissement a été fait à l'aide d'encorbellements en contrepoids, le retour d'expérience a mis en évidence l'apparition de nombreux désordres, en particulier au niveau des liaisons avec la voûte.

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- dossier d'ouvrage : plans de l'ouvrage, rapports de travaux, etc.



5.4.4 - Distance entre les tympans et la limite de largeur roulable (V_{44})

Les voies de circulation ont souvent été élargies par-dessus les trottoirs voire au-dessus les murs tympans. Cette disposition conduit à une circulation très proche des murs tympans ce qui crée des charges horizontales sur ces derniers (voir figure 23). On s'intéresse donc ici à la distance entre le parement extérieur du tympan et le bord de la chaussée. S'il y a eu un élargissement par une dalle générale, on peut considérer que la transmission des efforts peut se faire sans dommages pour la structure.

Nota : La figure 23 ainsi que les distances dans la grille d'évaluation sont données pour guider le gestionnaire. En cas de situation atypique, il est possible de moduler la note pour prendre au mieux en compte les effets des charges routières sur les tympans.

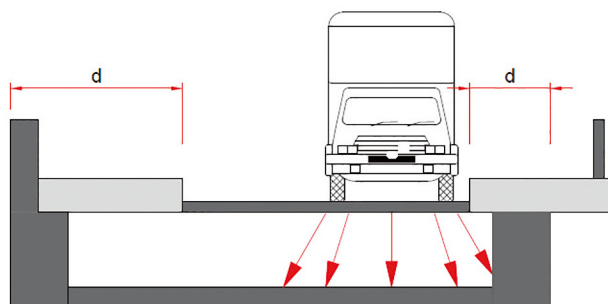


Figure 23 : Exemple de distance entre les tympans et la limite de largeur roulable

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage ;
- mesures lors des visites d'évaluation ;
- photos.

5.4.5 - Note IQOA de l'ouvrage (V_{45})

Si l'ouvrage est déjà dégradé structurellement, il sera d'autant plus sensible aux surcharges. On prend ici en compte la note IQOA de l'ouvrage.

Facteurs aggravants

Certains désordres présents sur l'ouvrage ont un effet aggravant sur la vulnérabilité de la structure dès lors qu'ils sont cotés 2E ou plus. Il s'agit principalement :

- des désordres que l'on peut relier directement aux surcharges sur l'ouvrage ;
- des désordres sur l'étanchéité et le drainage de l'ouvrage : outre l'augmentation de la poussée du remblai, le mauvais état de l'étanchéité et du système de drainage d'étanchéité concourt au délavage des joints en mortier de chaux des maçonneries de la voûte et des tympans. Cela diminue la résistance à la compression du mortier donc de la maçonnerie ;
- des désordres liés aux circulations parasites d'eau dans la structure : l'eau s'accompagne de plusieurs phénomènes dont le développement de la végétation ainsi que les pathologies des matériaux (voir § 3.2.4). Les efforts ne sont alors plus repris correctement et la structure perd de sa souplesse et surtout de sa résistance.



Les désordres du catalogue IQOA « ponts en maçonnerie » à prendre en compte sont les suivants :

Désordres pouvant être reliés aux surcharges	Désordres liés au drainage et à l'étanchéité	Désordres liés aux circulations parasites d'eau
53, 66, 78 : défaut de verticalité des parements 55, 68, 80 : bombement 57 : décrochement vers l'extérieur d'un tympan ou d'un mur en retour par rapport à un bandeau 70 : décrochement vers l'extérieur d'un tympan par rapport à un bandeau 90 : décollement de bandeau	24 à 27 : colmatage des dispositifs, stagnation d'eau, dégradation des dispositifs et autres défauts des dispositifs d'évacuation des eaux sur ouvrage 40 à 44 : colmatage des dispositifs, stagnation d'eau, chutes d'eau, dégradation des collecteurs et descentes d'eau et autres défauts des dispositifs d'évacuation des eaux sous ouvrage 45 : défauts d'étanchéité	64, 76, 88, 113 : végétation 60, 72, 84, 108 : disjointoiement 55, 68, 80, 102 : bombement 61, 73, 85, 109, 110 : descellements 62, 63, 74, 75, 86, 87, 111, 112 : altération des matériaux

Tableau 10 : Désordres constituant des facteurs aggravants

Nota : Il n'est pas possible de prendre en compte le type de pierre utilisée au niveau de l'analyse simplifiée car l'information n'est pas assez largement disponible. Ainsi, il n'existe pas de critère permettant de mettre en exergue les pierres plus vulnérables. Cependant, si le gestionnaire sait qu'un ouvrage est construit avec des pierres réputées trop tendres, il pourra l'évaluer de la même façon qu'une altération des matériaux due à l'eau.

Source de la donnée :

- compte rendu de visite d'évaluation.

5.4.6 - Grille d'évaluation de la vulnérabilité « surcharges d'exploitation »

V ₄₁	Forme de la voûte	plein cintre	2			
		surbaissée	5			
		fortement surbaissée	10			
V ₄₂	Ouverture maximale	≤ 8 m	0			
		> 8 m	5			
V ₄₃	Présence d'encorbellements en contrepoids	non	0			
		oui	8			
V ₄₄	Distance entre les tympans et la bande roulable	présence d'une dalle	0			
		d > 2 m	0			
		1 m < d ≤ 2 m	5			
		d ≤ 1 m	15			
V ₄₅	Note IQOA de l'ouvrage	1 ou 2	0	+3	+2	+5
		2E	5			
		3 ou 3U ou NE	10			
		Désordres dues aux surcharges		Désordres dus au mauvais fonctionnement du drainage ou de l'étanchéité		Désordres dus à une circulation parasite d'eau dans la structure

Tableau 11 : Évaluation de la vulnérabilité « surcharges »



5.5 - Vulnérabilité 5 : chocs sur la structure

La vulnérabilité aux chocs est évaluée de façon séparée en fonction de chaque type de chocs. On retrouve, comme pour les aléas, la vulnérabilité aux chocs de véhicules circulant sur l'ouvrage, aux chocs sur la voûte de poids lourds circulant sous l'ouvrage et la vulnérabilité aux chocs de bateaux sur les piles.

5.5.1 - Vulnérabilité du parapet aux chocs de véhicules circulant sur l'ouvrage (V_{51})

Ces chocs proviennent des accidents sur le parapet, souvent en entrée ou sortie de pont. Les véhicules heurtent le parapet, ce qui peut provoquer des désordres dans les tympans et des décollements de bandeau. Cette vulnérabilité est due à l'insertion de l'ouvrage dans son environnement. On l'évalue à travers le fait que la zone soit accidentogène ou non.

Source de la donnée :

Cette donnée peut être accessible par analyse des mains courantes sur les accidents ayant eu lieu dans la zone, par connaissance du gestionnaire des accidents mais aussi par analyse du tracé (une courbe en entrée ou en sortie de pont est ainsi plus susceptible de provoquer des accidents). La présence et la largeur des trottoirs peuvent également être prises en compte.

5.5.2 - Vulnérabilité aux chocs de poids lourds sous la voûte (V_{52})

Cette vulnérabilité est évaluée par le gabarit de l'ouvrage en comparaison avec les poids lourds circulant réellement sous l'ouvrage.

Source de la donnée :

- connaissance du gestionnaire ;
- données géométriques ;
- traces de frottement.

5.5.3 - Vulnérabilité aux chocs de bateaux sur les piles et les culées (V_{53})

Cette vulnérabilité est évaluée uniquement pour les cours d'eau navigables, par la présence de piles et/ou de culées dans le lit mineur du cours d'eau ou dans le canal de navigation.

Source de la donnée :

- plans de l'ouvrage.

5.5.4 - Grille d'évaluation de la vulnérabilité « chocs »

V_{51}	Zone accidentogène	peu probable	0
		possible	5
		avérée	15
V_{52}	Gabarit en largeur et en hauteur	suffisant	0
		non suffisant	8
V_{53}	Occurrence des chocs sur pile	cours d'eau non navigable ou pas d'appui en rivière	0
		cours d'eau navigable et culée en saillie ou piles en rivière	8

Tableau 12 : Évaluation de la vulnérabilité « chocs »



5.6 - Vulnérabilité 6 : rupture des murs en aile ou en retour

Cette vulnérabilité est évaluée à travers l'état général des murs en aile et en retour (notes 53 à 65 et 78 à 89 du catalogue IQOA « ponts en maçonnerie »).

V₆₁	Altération générale des murs	1 ou 2	0
		2E	4
		3 ou 3U ou NE	8

Tableau 13 : Évaluation de la vulnérabilité « rupture des murs en aile ou des murs en retour »



Chapitre 6

Évaluation de la gravité des conséquences

Ce chapitre s'intéresse aux conséquences de ruine ou de limitation de l'usage de l'ouvrage. La gravité des conséquences est évaluée selon la méthodologie proposée dans le guide « Maîtrise des risques – Application aux ouvrages d'art » [1] et repose sur des critères socio-économiques¹⁰.

6.1 - Importance de l'itinéraire porté par le pont

Le premier critère (C_1) représente la valeur stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage. Il relève de la classification du réseau national et conduit à distinguer :

- les itinéraires très stratégiques : par exemple les tronçons urbains à forts enjeux stratégiques, les itinéraires de convois exceptionnels très fréquentés, les itinéraires de desserte d'un site d'importance stratégique (centrale électrique, hôpital régional, aéroport international, etc.) ;
- les itinéraires stratégiques : tronçons inter-urbains ;
- les autres itinéraires : itinéraires qui présentent une importance stratégique secondaire.

La valeur stratégique de l'ouvrage peut être augmentée pour tenir compte de l'environnement proche de l'ouvrage et des conséquences de sa ruine. Il peut s'agir d'un ouvrage supportant un réseau d'intérêt national (gaz, électricité), de l'importance de la voie franchie, d'un ouvrage intégré à un échangeur routier stratégique, ou d'un enjeu particulier propre au gestionnaire (par exemple un enjeu touristique fort).

			Enjeu particulier
Importance voie portée	itinéraire peu stratégique	1	+1
	itinéraire assez stratégique	2	
	itinéraire stratégique	3	
	itinéraire très stratégique	4	

Tableau 14 : Évaluation de l'importance de l'itinéraire

6.2 - Importance du trafic

Ce deuxième critère (C_2) prend en compte le volume de trafic routier supporté par l'ouvrage. Ce critère tient compte de la distribution du trafic sur les ponts maçonnés du réseau national.

Niveau de trafic sur le réseau national	$T \leq 14\ 000$ V/J	1
	$14\ 000 < T \leq 20\ 000$ V/J	3
	$T > 20\ 000$ V/J	5

Tableau 15 : Évaluation de l'importance du trafic

¹⁰ Les conséquences humaines ne sont pas prises en compte directement car non discriminantes (de même niveau d'inadmissibilité), mais indirectement par le trafic.



6.3 - Valeur patrimoniale de l'ouvrage

Ce troisième critère (C_3) témoigne de la valeur patrimoniale de l'ouvrage. Estimée à partir de sa surface utile, cette valeur représente l'importance des coûts de la reconstruction ou des réparations pour garantir un niveau de service homogène à l'ensemble du patrimoine national. Ce critère tient compte de la distribution du patrimoine national des ponts en maçonnerie.

Surface de tablier	$S \leq 150 \text{ m}^2$	1
	$150 \text{ m}^2 < S \leq 300 \text{ m}^2$	2
	$300 \text{ m}^2 < S \leq 500 \text{ m}^2$	3
	$500 \text{ m}^2 < S \leq 1000 \text{ m}^2$	4
	$S > 1000 \text{ m}^2$	5

Tableau 16 : Évaluation de la valeur patrimoniale de l'ouvrage

6.4 - Impact sur le niveau de service

Ce quatrième critère (C_4) caractérise l'impact éventuel sur le niveau de service pendant des travaux de réparation ou de remplacement de l'ouvrage (traitement de la vulnérabilité). Il donne également une estimation de l'impact induit par une réduction de la capacité portante ou une limitation des trafics autorisés.

Conséquences d'une déviation	conséquences faibles	1
	conséquences moyennes	3
	conséquences fortes	5
	déviations impossibles	10

Tableau 17 : Évaluation de l'impact sur le niveau de service



Chapitre 7

Évaluation du niveau de risque

Ce chapitre détaille les calculs à effectuer pour déterminer le niveau de risque en fonction de l'évaluation des critères présentés précédemment. L'ensemble des calculs est cependant disponible de manière automatisée dans le fichier Excel fourni gratuitement avec ce guide. Sur ce fichier, certains aléas peuvent être désactivés si l'ouvrage n'est pas concerné (notamment le risque d'affouillement si l'ouvrage ne franchit pas sur un cours d'eau).

Le niveau de criticité de chaque scénario est calculé en croisant le niveau d'aléa avec le niveau de vulnérabilité concerné. En croisant avec le niveau d'enjeu, on obtient ensuite le niveau de risque pour chaque scénario puis le niveau de risque global.

7.1 - Introduction de scénarios

Il est nécessaire d'introduire des scénarios pour associer chaque aléa avec la ou les vulnérabilités concernées. Le tableau ci-dessous permet de détailler ces scénarios.

N° du scénario	Nom du scénario	Aléa à prendre en compte	Vulnérabilité(s) à prendre en compte	Niveau de criticité du scénario obtenu par
1	Affouillement	$A_{\text{Affouillement}}$	$V_{\text{Affouillement_voûte}}$ $V_{\text{Affouillement_mur}}$	Niveau de la criticité la plus pénalisante
2	Mouvement du sol de fondation	$A_{\text{Mvt_fondations}}$	$V_{\text{Mvt_fondations}}$	-
3	Submersion de l'ouvrage	A_{Crues}	V_{Crues}	-
4	Charges d'exploitation	A_{Charges}	V_{Charges}	-
5	Déstabilisation par chocs sur la voûte ou sur les piles	$A_{\text{Chocs_ouvrage}}$	$V_{\text{Chocs_ouvrage}}$	Niveau du couple aléa/vulnérabilité le plus pénalisant
		$A_{\text{Chocs_voûte}}$	$V_{\text{Chocs_voûte}}$	
		$A_{\text{Choc_piles}}$	$V_{\text{Choc_piles}}$	
6	Rupture des murs	A_{Murs}	V_{Murs}	-

Tableau 18 : Définition des scénarios



7.2 - Évaluation du niveau d'aléa

La note des aléas est calculée à partir des évaluations de chaque facteur selon les équations suivantes :

- $A_{\text{Affouillement}} = 2 * A_{11} * A_{12} - 5 + A_{13} + 1.2 * A_{14} * A_{15} * A_{16} * A_{18} * A_{11}$
- $A_{\text{Mvt_fondations}} = A_{21} + A_{22}$
- $A_{\text{Crues}} = A_{31} + A_{32} + A_{33} + A_{34}$
- $A_{\text{Charges}} = A_{41} + A_{42} + A_{43}$
- $A_{\text{Chocs_ouvrage}} = A_{51}$
- $A_{\text{Chocs_voûte}} = A_{52}$
- $A_{\text{Chocs_piles}} = A_{53} + A_{54}$
- $A_{\text{Murs}} = A_{61} + A_{62}$

L'aléa affouillement s'obtient par un calcul plus complexe que pour les autres aléas puisqu'il est issu d'une simplification de formules usuelles des formules de calcul des hauteurs d'affouillement. Pour plus de détails, se référer au guide sur les ponts en site affouillable [8].

Le tableau suivant permet de déterminer le niveau d'aléa en fonction du total obtenu. Certains aléas n'entraînent pas un risque fort pour l'ouvrage, leur cotation la plus haute est donc « moyen ». Ces aléas permettent notamment de guider le gestionnaire dans les étapes de gestion suivant l'analyse simplifiée.

Aléa	Faible	Moyen	Fort
Affouillement	$A_{\text{Affouillement}} < 3$	$3 \leq A_{\text{Affouillement}} < 7$	$7 \leq A_{\text{Affouillement}}$
Déstabilisation des fondations	$A_{\text{Mvt_fondations}} < 4$	$4 \leq A_{\text{Mvt_fondations}} < 10$	$10 \leq A_{\text{Mvt_fondations}}$
Submersion de l'ouvrage	$A_{\text{Crues}} < 11$	$11 \leq A_{\text{Crues}} < 20$	$20 \leq A_{\text{Crues}}$
Charges d'exploitation	$A_{\text{Charges}} < 5$	$5 \leq A_{\text{Charges}} < 10$	$10 \leq A_{\text{Charges}}$
Chocs	$A_{\text{Chocs}} < 8$	$8 \leq A_{\text{Chocs}}$	
Murs	$A_{\text{Murs}} < 10$	$10 \leq A_{\text{Murs}}$	

Tableau 19 : Bornes des niveaux d'aléas



7.3 - Évaluation du niveau de vulnérabilité

Pour chaque scenario, on évalue le niveau de vulnérabilité à l'aide des équations suivantes :

- $V_{\text{Affouillement_voûte}} = V_{11} + V_{12} + \max(V_{13}; V_{14}) + V_{15}$
- $V_{\text{Affouillement_mur}} = V_{16} + V_{17} + V_{18}$
- $V_{\text{Mvt_fondations}} = V_{21} + V_{22}$
- $V_{\text{Crues}} = V_{31} + V_{32}$
- $V_{\text{Charges}} = V_{41} + V_{42} + V_{43} + V_{44} + V_{45}$
- $V_{\text{Chocs_ouvrage}} = V_{51}$
- $V_{\text{Chocs_voûte}} = V_{52}$
- $V_{\text{Chocs_piles}} = V_{53}$
- $V_{\text{Murs}} = V_{61}$

Le tableau suivant permet de déterminer le niveau de vulnérabilité en fonction du total obtenu.

Vulnérabilité	Faible	Moyen	Fort
Affouillement	$V_{\text{Affouillement_voûte}} < 20$	$20 \leq V_{\text{Affouillement_voûte}} < 30$	$30 \leq V_{\text{Affouillement_voûte}}$
	$V_{\text{Affouillement_mur}} < 8$	$8 \leq V_{\text{Affouillement_mur}} < 15$	$15 \leq V_{\text{Affouillement_mur}}$
Déstabilisation des fondations	$V_{\text{Mvt_fondations}} < 5$	$5 \leq V_{\text{Mvt_fondations}} < 15$	$15 \leq V_{\text{Mvt_fondations}}$
Submersion de l'ouvrage	$V_{\text{Crues}} < 5$	$5 \leq V_{\text{Crues}} < 10$	$10 \leq V_{\text{Crues}}$
Charges d'exploitation	$V_{\text{Charges}} < 11$	$11 \leq V_{\text{Charges}} < 20$	$20 \leq V_{\text{Charges}}$
Eau	$V_{\text{Eau}} < 8$	$8 \leq V_{\text{Eau}} < 15$	$15 \leq V_{\text{Eau}}$
Chocs	$V_{\text{Chocs}} < 8$	$8 \leq V_{\text{Chocs}}$	
Murs	$V_{\text{Murs}} < 8$	$8 \leq V_{\text{Murs}}$	

Tableau 20 : Bornes des niveaux de vulnérabilité



7.4 - Évaluation du niveau de criticité pour chaque scénario

On évalue le niveau de criticité de chaque scénario à l'aide du tableau suivant :

		Niveau d'aléa		
		Faible	Moyen	Fort
Niveau de vulnérabilité	Faible	Criticité faible	Criticité faible	Criticité moyenne
	Moyen	Criticité faible	Criticité moyenne	Criticité forte
	Fort	Criticité moyenne	Criticité forte	Criticité forte

Tableau 21 : Détermination du niveau de criticité par scénario

7.5 - Évaluation du niveau de conséquences

Les seuils de ces critères ont été déterminés afin d'être discriminants sur l'ensemble du patrimoine national de ponts maçonnés. Il est néanmoins possible pour chaque gestionnaire de les adapter à son patrimoine, sous sa propre responsabilité, s'ils ne sont pas assez discriminants. Cette adaptation du niveau des conséquences peut être réalisée sur l'ensemble des analyses des risques. Il est en revanche déconseillé de changer les calibrations et notations des critères d'aléas et de vulnérabilités.

La valeur socio-économique est déterminée par l'expression $ISE = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$. L'indicateur socio-économique ainsi évalué permet de définir des niveaux de conséquences selon le tableau suivant :

Note des conséquences	Niveau des conséquences
$ISE \leq 8$	Faible
$8 < ISE \leq 14$	Moyen
$14 < ISE$	Élevé

Tableau 22 : Détermination du niveau d'enjeu



7.6 - Évaluation du niveau de risque

7.6.1 - Par scénario

Pour chaque scénario, on croise le niveau de criticité avec le niveau de conséquences selon la matrice suivante :

		Niveau de criticité		
		Faible	Moyen	Fort
Niveau de conséquences	faible	Risque faible	Risque faible	Risque moyen
	moyen	Risque faible	Risque moyen	Risque fort
	fort	Risque moyen	Risque fort	Risque fort

Tableau 23 : Évaluation du niveau de risque par scénario

On obtient ainsi le niveau de risque pour chaque scénario.

7.6.2 - Par ouvrage

Le niveau de risque de l'ouvrage correspond au niveau du scénario le plus pénalisant. **Lorsque deux scénarios sont en risque fort, le niveau de risque obtenu est très fort.**



Chapitre 8

Suites à donner en fonction du niveau de risque

L'analyse des risques est un processus itératif qui consiste à affiner l'évaluation d'un ouvrage en fonction de son évaluation précédente. Ainsi l'étape d'analyse simplifiée permet de déterminer un premier niveau de risque global. Selon ce niveau de risque, le gestionnaire peut choisir d'approfondir ou non l'étude de certains ouvrages en fonction de sa connaissance de l'ouvrage et les informations complémentaires apportées par l'analyse simplifiée. L'analyse simplifiée ne permet en général pas de déterminer quels ouvrages doivent être réparés mais plutôt quels ouvrages nécessitent une étude plus approfondie en vue de déterminer si une réparation est nécessaire et efficace.

Dans les feuilles de calcul fournies, les niveaux de chaque aléa et vulnérabilité sont affichés sur la feuille récapitulative. Ces informations sont données à titre indicatif pour éventuellement orienter les études plus approfondies mais elles ne remplacent en aucun cas un diagnostic précis de l'ouvrage.

Il est important de traiter l'ensemble de l'ouvrage, y compris ses murs en retour ou en aile.

Les indications données dans ce chapitre permettent de guider le gestionnaire dans les choix à effectuer à l'issue de l'analyse simplifiée. Ces éléments ne sont en aucun cas obligatoires et doivent être adaptés en fonction du patrimoine et de la connaissance que l'on en a.

La Figure 24 ci-dessous récapitule les actions qui peuvent être effectuées à l'issue de l'analyse simplifiée.

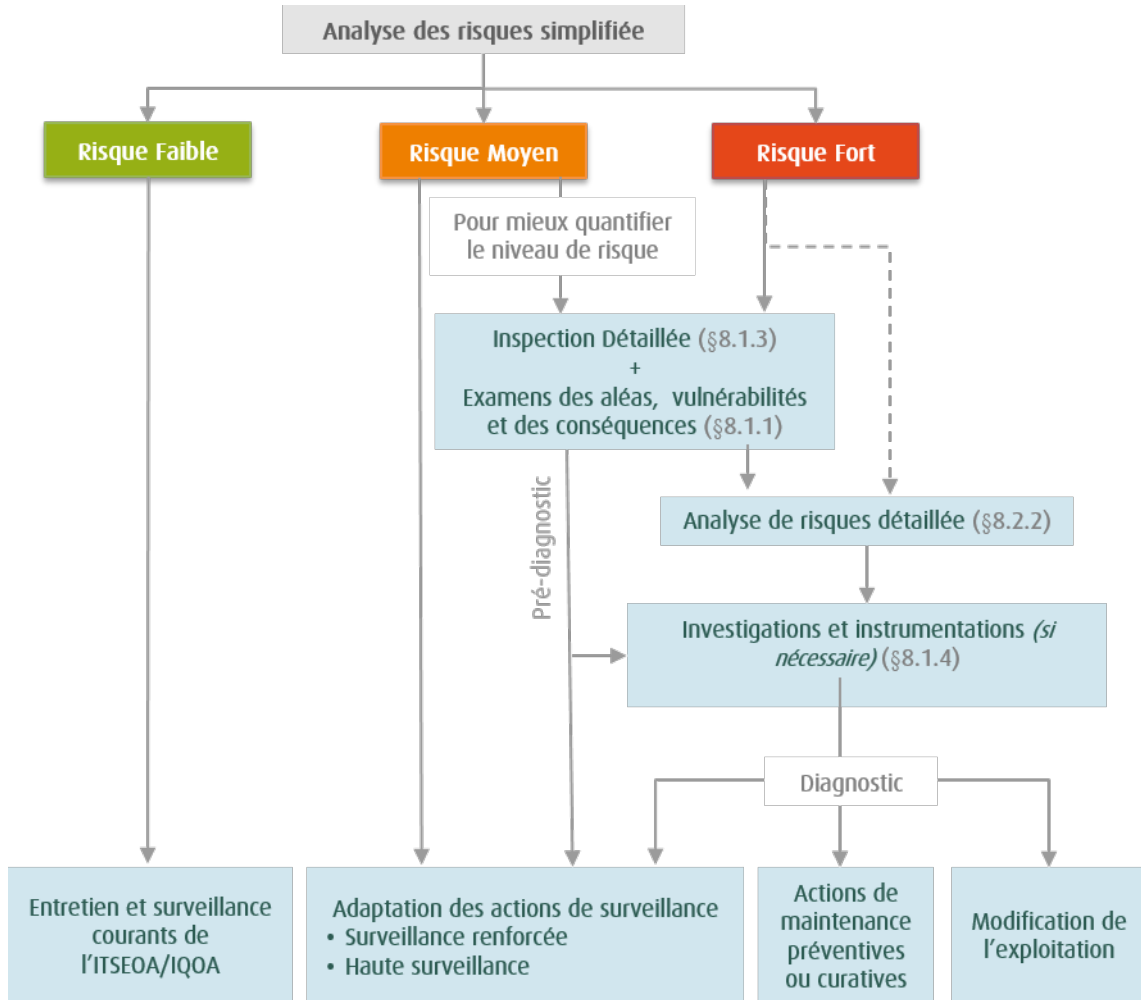


Figure 24 : Procédure à suivre à la suite de l'analyse simplifiée



8.1 - Recherche d'informations plus détaillées sur l'ouvrage, son environnement et son état

8.1.1 - Examens des aléas, des vulnérabilités et des conséquences

Sur un ouvrage donné, l'application d'une méthode d'analyse des risques permet d'identifier, tant au niveau des aléas que des vulnérabilités, des points de faiblesse dont il est alors parfois possible de diminuer l'occurrence ou l'importance des conséquences par des actions de maintenance préventive adaptées, comme l'entretien du système de drainage.

8.1.2 - Informations manquantes sur les fondations

L'analyse simplifiée a une orientation volontairement conservatrice. Pour le risque d'affouillement, le manque d'information sur le type de fondations ainsi que sur leur état augmente fortement le niveau de vulnérabilité d'un ouvrage et est susceptible de le faire passer en risque fort même si les autres critères sont de niveau moyen ou faible.

Dans le cas où le risque est fort à cause d'un type de fondation inconnu ou d'une absence d'inspection, la première chose à faire est d'approfondir les recherches pour essayer de préciser le type et l'état de la fondation et ainsi de préciser le niveau de risque. Pour connaître le type de fondation, une recherche plus poussée dans les archives peut s'avérer efficace. En l'absence du dossier d'archive de l'ouvrage, il reste possible par une approche empirique d'émettre des hypothèses sur la longueur des fondations profondes. Cette approche repose sur l'exploitation des résultats d'une campagne d'essais géotechniques et sur une connaissance parfaite des techniques déployables historiquement lors de la construction de l'ouvrage (connaissance des essences de bois utilisables dans la région, connaissance des moyens de battage mis en œuvre à l'époque de la construction).

De plus, il reste possible d'évaluer la longueur des pieux en effectuant une expertise spécifique reposant sur la réalisation d'une campagne géotechnique permettant de caractériser le sol et la réalisation d'essai d'impédance ou réflexion sur les têtes de pieux (essais expérimentaux inspirés des normes béton NF 94-160-1 et 4).

Pour connaître l'état d'une fondation superficielle, une visite à l'étiage peut permettre de conclure à l'absence d'affouillement. Dans les autres cas, une inspection subaquatique est nécessaire.

8.1.3 - Inspection détaillée

L'inspection détaillée est définie dans le fascicule 2 de l'ITSEOA [1]. En résumé, elle doit constituer un « bilan de santé » de l'ouvrage au travers d'un examen visuel « au contact », donner lieu à un compte rendu détaillé et, si besoin, être complétée par des auscultations ou des mesures.

Cette inspection détaillée peut être orientée par les résultats de l'analyse des risques simplifiée. À ce stade, il est intéressant d'accorder une attention toute particulière aux scénarios en risque fort pour l'ouvrage considéré et il peut être également intéressant, dans le cas d'un niveau de risque moyen ou élevé sur les scénarios d'affouillement et de mouvement des fondations, de déclencher une campagne d'inspections subaquatiques.

Nota : L'inspection détaillée ne constitue pas un diagnostic. C'est une étape préliminaire qui permet de recueillir des informations précieuses sur l'état de l'ouvrage mais la synthèse faite par l'inspecteur ne peut pas être considérée comme un diagnostic. Le diagnostic est issu de l'exploitation par le niveau organisationnel de l'inspection détaillée et d'autres éventuelles investigations.



8.1.4 - Investigations et instrumentations

À la suite de l'inspection détaillée, le niveau organisationnel peut décider de lancer une campagne d'investigations afin d'obtenir les données manquantes nécessaires pour le diagnostic des ouvrages. Les tableaux ci-dessous présentent les essais classiquement mis en œuvre pour les ponts en maçonnerie ainsi que les informations obtenues pour chacun d'entre eux. Un certain nombre de ces essais sont présentés sous forme de fiches dans les Cahiers Interactifs « Auscultation des ouvrages d'art » réalisés par l'IFSTTAR et le Cerema [15].

Type de suivi	Informations obtenues
Appareil de mesure de déformation tridimensionnelle (théodolite, laser, méthode 3D)	<ul style="list-style-type: none"> • mouvement d'ensemble de la structure (convergence, etc.)
Suivi instrumenté à fil invar tendus (distancemètre à fil invar)	<ul style="list-style-type: none"> • déformation de la voûte • basculement des bandeaux • basculement des parapets
Suivi instrumenté fissurométrique (capteurs de déplacement et jauge température)	<ul style="list-style-type: none"> • mesures dans le temps du souffle des fissures
Suivi instrumenté inclinométrique	<ul style="list-style-type: none"> • basculement des tympans

Tableau 24 : Suivi instrumenté

Type d'essais	Informations obtenues
Auscultation radar depuis la chaussée ¹¹	<ul style="list-style-type: none"> • épaisseur du corps de chaussée • détection d'une dalle intégrale ou d'encorbellements en corbeau • détection du positionnement de l'étanchéité • détection de la présence de redans
Auscultation radar depuis la douelle	<ul style="list-style-type: none"> • géométrie du corps de voûte • détection de la présence de redans
Essais mécaniques <i>in-situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • nature et caractéristiques mécaniques des remblais et du sol de fondation (pressiomètre et pénétromètre)
Endoscopie – imagerie de paroi	<ul style="list-style-type: none"> • visualisation des parois de carottage • estimation des vides et état de fissuration ou d'altération • visualisation du contact maçonnerie/sol de fondation
Sondage destructif avec enregistrement des paramètres	<ul style="list-style-type: none"> • géométrie interne • épaisseur du corps de chaussée • validation radar
Essais d'eau de type Lugeon à pression réduite	<ul style="list-style-type: none"> • état de fissuration ou d'altération de la maçonnerie • estimation des volumes d'injections pour confortement
Diagraphies de forage (sonique, RAN, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • niveaux de fondation • état de fissuration ou d'altération de la maçonnerie
Micromoulinet – traçage colorimétrique	<ul style="list-style-type: none"> • localisation et débit des circulations parasites

Tableau 25 : Essais directs

¹¹ Son efficacité dépend de l'épaisseur de la chaussée et de la teneur en eau des matériaux traversés. Différents types d'antenne (fréquence) pourront être déployées pour affiner le résultat.



Type d'essais	Informations obtenues
Carottage corps de chaussée	<ul style="list-style-type: none"> • vérification de la géométrie (validation radar)
Carottage pierres ou briques	<ul style="list-style-type: none"> • densité • caractérisation mécanique • étude pétrochimique (pierre)
Prélèvement mortier	<ul style="list-style-type: none"> • analyse microscope électronique à balayage • identification du liant
Carottage matériau composite (assemblage maçonnerie : pierre et/ou brique / mortier)	<ul style="list-style-type: none"> • caractérisation mécanique du matériau composite • reconnaissance de la géométrie (validation radar) • identification et nature de la maçonnerie (Rock Quality Designation)
Carottage matériau composite et sol de fondation	<ul style="list-style-type: none"> • reconnaissance type de fondation • identification nature et caractéristiques des sols supports
Prélèvement eau	<ul style="list-style-type: none"> • identification agents agressifs

Tableau 26 : Essais à partir d'un prélèvement

Type de reconnaissance	Informations obtenues
Excavation limitée en pied d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> • reconnaissance type de fondation
Essais impédance ou réflexion ¹²	<ul style="list-style-type: none"> • estimation longueur des pieux bois • estimation longueur des palplanches (batardeaux)
Bathymétrie	<ul style="list-style-type: none"> • reconnaissance du lit du cours d'eau • détection affouillement

Tableau 27 : Autres types de reconnaissance

8.2 - Précisions sur le niveau de risque

8.2.1 - Risques supplémentaires

Certains risques n'ont pas été étudiés dans l'analyse simplifiée. Ces risques ont été considérés soit trop peu représentatifs du patrimoine général (notamment du fait de périodes de retour très longues), soit non discriminants, soit nécessitant trop d'informations pour être caractérisés avec suffisamment de pertinence au niveau de l'analyse simplifiée.

Il appartient donc au gestionnaire de déterminer s'il existe d'autres risques susceptibles de modifier le niveau de risque global issu de l'analyse simplifiée. Les risques suivants ont été évoqués et non retenus mais peuvent être pertinents à étudier suivant le patrimoine concerné : incendie, séismes, chutes de blocs, etc.

Une méthode d'évaluation sommaire et qualitative de la vulnérabilité sismique des ponts a été développée au Cerema sous le nom de « Sismoa » sur la base de critères géomécaniques, mécaniques et typologiques relativement accessibles¹³.

¹² Essais non normalisés pour les pieux bois et palplanches, inspirés des normes 94-160-2 (Auscultation d'un élément de fondation Partie 2 : Méthode par réflexion) et 94-160-4 (Auscultation d'un élément de fondation Partie 4 : Méthode par impédance).

¹³ Le guide ainsi que les tableurs correspondants sont disponibles sur le site Piles : <http://www.piles.setra.equipement.gouv.fr/risque-sismique-r528.html>



8.2.2 - Analyse des risques détaillée

L'analyse détaillée permet d'approfondir l'étude des ouvrages classés en risque fort à l'issue de l'analyse simplifiée, en approfondissant une ou plusieurs composantes du risque global. Elle n'a pas de caractère systématique et elle n'est réalisée que si elle est susceptible d'apporter des informations complémentaires afin de re-qualifier le niveau de risque. Il peut s'agir de récolter des données plus précises permettant de préciser le niveau de risque d'un ouvrage et, éventuellement, de le réévaluer en risque moyen.

Les scénarios d'affouillement, de mouvements des fondations et de crues peuvent notamment mériter d'être approfondis lors d'une analyse détaillée. Pour le premier cas, le gestionnaire pourra se référer au guide d'analyse des risques sur les ouvrages en sites affouillables [8], où l'analyse détaillée est guidée.

L'approfondissement du scénario de mouvement des fondations nécessite l'intervention d'un spécialiste en géotechnique et éventuellement des prélèvements spécifiques sur place.

8.3 - Diagnostic

8.3.1 - Diagnostic préliminaire

Selon les résultats de l'inspection détaillée et les investigations complémentaires éventuellement menées, il est possible de délivrer un pré-diagnostic permettant de définir l'état de l'ouvrage comme non critique et de définir au besoin les adaptations des actions de surveillance ou des actions de maintenance préventive.

Dans cette étape préliminaire (et dans les étapes suivantes), il est nécessaire de prendre en compte non seulement les éléments concernant l'ouvrage mais également tous les éléments environnants. En effet, un ouvrage en maçonnerie est fortement lié à son environnement et des modifications géotechniques de la zone d'influence ou des modifications hydrogéologiques sont susceptibles de déstabiliser profondément un ouvrage. **Le cas échéant, les scénarios de crues et de séismes doivent être étudiés avec plus de profondeur que les éléments simplifiés pris en compte dans cette analyse.**

Si le diagnostic préliminaire ne permet pas de statuer, un diagnostic complet doit être effectué.

8.3.2 - Diagnostic complet

Seul un diagnostic complet peut permettre de statuer sur l'état réel d'un ouvrage critique et sur les éventuelles réparations à mettre en œuvre. **Le diagnostic d'un ouvrage en maçonnerie doit être réalisé par un expert des ouvrages en maçonnerie.** En effet, les ponts en maçonnerie ont un comportement spécifique lié à leur matériau de construction et les raisonnements utilisés dans les diagnostics des ouvrages modernes ne s'appliquent pas sur ce type d'ouvrages. À titre d'exemple, les fissures peuvent être très pénalisantes pour les ouvrages en béton, car elles peuvent laisser supposer que les aciers ou les câbles de précontrainte sont corrodés. Sur les ponts en maçonnerie, les fissures font partie du fonctionnement normal de l'ouvrage (du fait de sa déformabilité) et seul un examen approfondi de la géométrie de l'ensemble de la structure permet de déterminer leur caractère pathologique.

Une méthodologie de diagnostic spécifique aux ponts en maçonnerie est développée dans l'article *L'art du diagnostic de comportement et d'état applicable aux ouvrages d'art en maçonnerie* [16]. Pour plus de précisions sur le diagnostic et le recalcul éventuel des ponts en maçonnerie, on pourra se référer utilement au guide AFGC sur l'évaluation structurale et la conception de réparations des ouvrages d'art en maçonnerie (en cours de rédaction à l'heure actuelle).



8.4 - Adaptation des actions de surveillance

En fonction de la présence de désordres, d'aléas ou de vulnérabilités spécifiquement identifiés comme prépondérants pour un ouvrage, des modalités de surveillance particulières doivent être appliquées au cas par cas, temporairement ou définitivement en fonction de la possibilité de mettre en œuvre ou non des actions de maintenance :

- modification de la périodicité des actions de surveillance prévues par l'ITSEOA ;
- instrumentation (mesures de déplacements, d'angles, etc.).

Le gestionnaire peut également décider de mettre l'ouvrage sous haute surveillance afin de prévoir des mesures de sauvegarde si le niveau d'alerte est dépassé. Les modalités de la haute surveillance et de la surveillance renforcée sont définies plus précisément dans le fascicule 3 de l'ITSEOA [11].

8.5 - Actions de maintenance ou de réparation

L'action de maintenance la plus fondamentale est l'entretien courant. **Pour les ouvrages en maçonnerie, le maintien en service des dispositifs de drainage et l'élimination de végétation ont notamment un fort impact sur la longévité de l'ouvrage.** Cet entretien courant est obligatoire pour tous les ouvrages et *a fortiori* pour les ouvrages présentant un risque fort. Son importance ne doit pas être négligée.

La maintenance préventive peut être mise en œuvre sur les ouvrages en risque faible ou en risque moyen pour éviter les dégradations futures. Ainsi refaire l'étanchéité d'un ouvrage ou remettre à niveau le système de drainage sont des actions de maintenance préventive qui permettent d'assurer le niveau de service de l'ouvrage.

Les actions de maintenance curative ou de réparation ont pour préalable indispensable la réalisation d'un diagnostic de la structure, basé sur les inspections détaillées mais également sur des investigations complémentaires et un suivi instrumenté. A l'issue de ce diagnostic, la production d'un Avant-Projet de Réparation d'Ouvrages d'Art (APROA) peut se révéler nécessaire. Les guides du STRRES sur les ponts en maçonnerie présentent les principaux travaux de réparation sur les ponts en maçonnerie [17] [18] [19]. Des pistes pour les travaux relatifs aux problèmes d'affouillement sont également évoquées dans le guide d'analyse des risques sur les ponts en site affouillable [8].

8.6 - Adaptation du niveau de service

Dans le cas d'un ouvrage dont le diagnostic révèle une faiblesse structurelle importante, le gestionnaire peut décider de mettre en place des restrictions de circulation afin de diminuer les charges sur l'ouvrage. Il est par exemple possible d'imposer des limitations en tonnage ou en vitesse au droit de l'ouvrage ou de diminuer la largeur roulable. Une fermeture temporaire partielle ou complète peut également être envisagée.

C'est une mesure exceptionnelle et elle est surtout destinée à sauvegarder l'ouvrage dans l'attente d'une réparation.

Annexes

Annexe 1 - Adaptation de la méthode pour les autres gestionnaires

La méthode décrite dans ce guide a été développée pour les ouvrages du réseau routier national non concédé. Toutefois, les aléas et vulnérabilités auxquels sont soumis les ouvrages en maçonnerie des autres réseaux restent les mêmes, quel que soit le gestionnaire concerné, seules les modalités de leur évaluation diffèrent.

On rappelle que le but de l'analyse des risques n'est pas de fournir une évaluation de l'état apparent de l'ouvrage ni de statuer sur l'existence d'un risque immédiat pour les usagers (comme par exemple une absence de garde-corps suite à un accident) mais bien de faire remonter les ouvrages qui nécessitent une attention particulière en termes d'études ou de travaux. À ce titre, la méthode d'analyse des risques ne peut être réalisée que sur un patrimoine inventorié et évalué de façon régulière. Toutefois, de nombreuses autres méthodes d'évaluation et de gestion, telles que VSC, VAQOA, la méthode départementale ou même des méthodes internes développées par certains gestionnaires sont compatibles avec l'analyse de risque. Les tableaux suivants reprennent les aléas et vulnérabilités à modifier dans le cas d'autres gestionnaires.

Nota : On utilise dans cette analyse les sous-notes IQOA, en se concentrant sur le type ou l'origine possible des désordres. Si la méthode de cotation utilisée est différente d'IQOA, il faut utiliser la note correspondant à l'état apparent de l'ouvrage (indice d'état par exemple pour la méthode départementale). Les désordres à prendre en compte sont explicités nommément dans le texte pour pouvoir être utilisables avec d'autres méthodes de cotation et éventuellement se rapporter à des rapports de visite ou d'inspection. Au cas où l'information n'est pas disponible, il est possible de prendre la note d'état apparent globale de l'ouvrage, moyennant une perte de pertinence conservatrice des résultats.

Vulnérabilité 1 : affouillement

V ₁₅	Présence de désordres sensibilisant la voûte à l'affouillement	bon état	0
		état moyen	8
		mauvais état	15
V ₁₈	Présence de désordres sensibilisant les murs en aile et en retour à l'affouillement	bon état	0
		état moyen	4
		mauvais état	8

Tableau 28 : Évaluation alternative de la vulnérabilité « affouillement »

Vulnérabilité 2 : mouvements des fondations

V ₂₂	Présence de désordres sensibilisant l'ouvrage au mouvement des fondations	bon état	0
		état moyen	8
		mauvais état	15

Tableau 29 : Évaluation alternative de la vulnérabilité « mouvements des fondations »

Vulnérabilité 4 : charges d'exploitation

				Désordres dus aux surcharges	Désordres dus au mauvais fonctionnement du drainage ou de l'étanchéité	Désordres dus à une circulation parasite d'eau dans la structure
V₄₅	État de l'ouvrage	bon état	0	+3	+2	+5
		état moyen	5			
		mauvais état	10			

Tableau 30 : Évaluation alternative de la vulnérabilité « surcharges »

Vulnérabilité 6 : rupture des murs en aile ou des murs en retour

V₆₁	Altération générale des murs	bon état	0
		état moyen	4
		mauvais état	8

Tableau 31 : Évaluation alternative de la vulnérabilité « rupture des murs en aile »

L'importance du trafic

Niveau de trafic	réseau de faible ampleur	1
	réseau secondaire	3
	réseau structurant	5

Tableau 32 : Évaluation alternative de l'importance du trafic

Valeur patrimoniale de l'ouvrage

La valeur patrimoniale est à adapter à la répartition en surface des ponts en maçonnerie sur le réseau correspondant, afin de conserver un critère discriminant.

Annexe 2 - Extrait de la feuille de calcul

Les cases grisées sont à remplir par la personne en charge de l'analyse simplifiée. Le niveau de risque est ensuite calculé de façon automatique pour chaque ouvrage. Le niveau de risque de chaque scénario est également disponible. Il est ensuite possible de faire un export pour avoir un récapitulatif de tous les risques sur chaque ouvrage étudié.

		Ouvrage A	
		identifiant national	
		présence d'un cours d'eau	oui
		circulation sur l'ouvrage	oui
		circulation routière sous l'ouvrage	oui
		circulation fluviale sous l'ouvrag	oui
		risque très fort	
		Affouillement	
		Aléas	
		a11	rivière fluviale
			2
		a12	graves, cailloux, galets
			1,6
		a13	débouché réduit de plus de 40%
			6
		a14	largeur comprise entre 2 et 4m
			2,5
		a15	fûts circulaires ou carrés ou absence de biais
			1
		a16	oui
			1,3
		a18	graves, cailloux, galets
			0,4
			10,52
			A1
			fort
		Vulnérabilités	
		v11	absence de données
			15
		v12	fondation non surveillée depuis 7 à 10 ans
			7
		v13	présence de protection
			1
		v14	présence de protection
			1
		v15	1 ou 2
			0
		v16	pas de contact avec l'eau
			0
		v17	fondation non surveillée depuis 7 à 10 ans
			7
		v18	1 ou 2
			0
			V11
			24
			moyen
			0
			V12
			faible

Fragilisation de la structure due à l'eau		Fragilisation de la structure due à l'eau	
Drainage sur l'ouvrage	v71	Absent ou défaillant	2
Étanchéité de l'ouvrage	v72	Absente ou défaillante	2
Fragilisation avérée de l'ouvrage par présence et circulation parasite d'eau	v73	1 ou 2	0
FA : altération des matériaux		globale	2
		V7	6
			fort
Conséquences		Conséquences	
Importance voie portée	csq1	itinéraire très stratégique	4
FA : importance particulière		non	0
Niveau de trafic	csq2	> 20 000 VI / l	5
		R11 : affouillement voûte	fort
		R12 : affouillement murs	moyen
		R2 : mouvement des fondations	fort
		R3 : crues	faible
		R4 : surcharges	fort
		R51 : chocs sur les parapets	faible
		R52 : chocs sur la voûte	faible
		R53 : chocs sur les piles	faible
		R6 : rupture du mur	faible



Bibliographie

- [1] Sétra, Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) - Fascicule 2 - Généralités sur la surveillance, p. 60.
- [2] Sétra, Maîtrise des risques - Application aux ouvrages d'art, 2013, p. 92.
- [3] Sétra, Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes, 2010.
- [4] Cerema, Analyse de risques des ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie Terre armée®, 2014.
- [5] Cerema, Analyse des risques appliquée aux buses métalliques, 2015.
- [6] Cerema, Analyse de risques appliquée aux tranchées couvertes et aux tunnels creusés avec parements rapportés, 2016.
- [7] Cerema, Analyse des risques appliquée aux murs en béton armé avec semelle, 2018.
- [8] Cerema, Analyse de risques appliquée aux ponts en site affouillable, 2019.
- [9] Cerema, Analyse de risques des murs en maçonnerie, 2020.
- [10] Sétra, Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) - Fascicule 0 - Dispositions générales applicables à tous les ouvrages, 2010, p. 28.
- [11] Sétra, Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) - Fascicule 3 - Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde, 2010, p. 36.
- [12] Sétra, Instruction technique du 19 octobre 1979 pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) - 2^{ème} partie : dispositions particulières. Fascicule 30 - Ponts et viaducs en maçonnerie, SETRA Référence : F80094 éd., 1995, p. 43.
- [13] Sétra, IQOA (Image Qualité Ouvrages d'Art) - Ponts en maçonnerie - Catalogue des désordres, 1996, p. 89.
- [14] Sétra, Les ponts en maçonnerie : constitution et stabilité, Sétra Référence : F8209, 1982.
- [15] IFSTTAR et CEREMA, « Auscultation des ouvrages d'art » IFSTTAR, 2015. [En ligne].
Available : <http://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/> [2018].
- [16] J.-P. Levillain, « L'art du diagnostic de comportement et d'état applicable aux ouvrages d'art en maçonnerie » Travaux, n° 1911, Décembre 2014.
- [17] STRRES, Réparation et renforcement des maçonneries : généralités et préparation des travaux, 2016.
- [18] STRRES, Réparation et renforcement des maçonneries : réparation et renforcement structuraux, 2016.
- [19] STRRES, Réparation et renforcement des maçonneries : réparation non-structurale, 2016.
- [20] Sétra, Cours d'eau et ponts - Guide technique, Sétra Référence : F0721, 2007, p. 172.
- [21] Sétra, Elargissement des ponts en maçonnerie, Sétra Référence : F0127, 2001, p. 168.



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 ».

Appareillage : disposition des pierres dans un mur, appelé aussi opus.

Conséquences : les conséquences comptabilisent les dommages directs 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.

Diagnostic : étude complète d'analyse et de synthèse d'un ouvrage, qui doit être réalisée par un spécialiste en maçonnerie. Le diagnostic permet de statuer sur la pérennité de l'ouvrage et la nécessité de réparations adaptées.

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

Pré-diagnostic : étude réalisée à la suite de l'inspection détaillée. Le pré-diagnostic peut être suffisant pour considérer qu'un ouvrage est non-critique.

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

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.



© 2021 - Cerema

Cerema - Climat & territoires de demain

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L.122-4 du code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et L.335-3 du CPI.

Coordination et suivi d'édition › Cerema Infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia.

Mise en page › Graph'Imprim : 9-11 rue Sinclair 94000 Créteil

Illustration couverture › © Cerema

Juin 2021

ISBN : 978-2-37180-454-8

ISSN : 2276-0164

Téléchargement Gratuit

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25 avenue François Mitterrand

CS 92 803

69674 Bron Cedex

Pour commander nos ouvrages › www.cerema.fr

Pour toute correspondance › bventes@cerema.fr

www.cerema.fr › Nos publications

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, savoir-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 ponts en maçonnerie

L'objectif de ce guide est de présenter la déclinaison de la méthodologie d'analyse des risques sur les ponts en maçonnerie. Ce guide opérationnel présente non seulement la méthodologie mais également les facteurs à prendre en compte pour évaluer le niveau de risque de chaque ouvrage ainsi que leur évaluation. Quelques pistes permettant de guider le gestionnaire une fois l'analyse réalisée sont également abordées en fin d'ouvrage.

Sur le même thème

Analyse des risques appliquée aux viaducs à travées indépendantes en poutres précontraintes (VIPP), Sétra, 2010

Analyse des risques appliquée aux ouvrages en remblai renforcé relevant de la technologie Terre armée®, Cerema, 2014

Analyse des risques appliquée aux buses métalliques, Cerema, 2015

Analyse des risques appliquée aux tranchées couvertes et aux tunnels creusés, Cerema, 2015

Analyse de risques des murs en maçonnerie, Cerema, 2020

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Téléchargement gratuit
ISSN : 2276-0164
ISBN : 978-2-37180-454-8

