

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



كلية العلوم و التكنولوجيا

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil



N° d'ordre : M...../GC/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Année universitaire : 2020/2021

Filière : Travaux Public

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

Vulnérabilité des ponts face aux inondations

Présenté par :

Mr. DJEDDOU Mohammed

Mr. MANZOUL Arbi

Soutenu publiquement le 24/06/2021 devant le jury composé de :

Mr. BOUHALOUFA Ahmed	MAA	Université de Mostaganem	Président
Mr. SARDOU Miloud	MCA	Université de Mostaganem	Rapporteur
Mme. HADJIJ Ilhem	MAA	Université de Mostaganem	Examinatrice
Mr. ZELMAT Yassine	MAA	Université de Mostaganem	Examinateur

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, le Dieu le tout puissant de nous avoir gardé en bonne santé afin de finaliser ce projet de fin d'étude.

Nous remercions très sincèrement à notre promoteur Dr. SARDOU Miloud, pour son aide, conseils et remarques, et qui nous a permis d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions aussi aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions tous les enseignants au sein de département génie civil qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions nos chers parents de nous avoir aidés durant plusieurs années d'études.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés pour la réalisation de ce travail.

Dédicace

Ce travail est dédié à :

A nous parents qui représentent pour nous l'exemple du courage et de volonté.

A nos familles

A tous nous amis.

A nous enseignants

A toute la promotion Voie et Ouvrages d'Art (2020/2021)

Résumé

Les inondations constituent un risque majeur du monde contemporain. Elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en termes de victimes. L'Algérie est confrontée aux phénomènes des crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Notre territoire caractérisé par un régime pluviométrique est très variable, qui passe de la sécheresse à des pluies torrentielles engendrant des crues dont l'élévation des niveaux des eaux dans les oueds dépassent parfois les tabliers des ponts; offrant des spectacles impressionnants. Ces crues provoquent des phénomènes qui ont pour effet la déstabilisation des fondations et comme conséquences la ruine des ouvrages et l'isolement des communautés. Le but de notre travail est de mettre en lumière la vulnérabilité des ponts face au phénomène d'inondation avec une prise en compte certains cas Algériens. L'étude a été basée sur une recherche bibliographique sur différents aspects ; à savoir les inondations entant que risque et phénomène naturel, ainsi que, sur le comportement des ponts en situations des crues.

ملخص

تشكل الفيضانات خطراً كبيراً في العالم المعاصر. بحيث يحتلون المرتبة الأولى بين الكوارث الطبيعية في العالم من حيث الضحايا. تواجه الجزائر ظاهرة الفيضانات والسيول بشكل أكثر حدة من الزلازل. هذه الظواهر تسبب أضراراً بشرية ومادية جسيمة. تتميز الجزائر بنظام هطول أمطار متغيرة بدرجة كبيرة، بحيث تتراوح من الجفاف إلى الأمطار الغزيرة التي تسبب فيضانات قد يتجاوز ارتفاع منسوب المياه في الوديان أحياناً سطح الجسور. تتسبب هذه الفيضانات في حدوث ظواهر تؤدي إلى زعزعة استقرار الأساسات، ونتيجة لذلك ينتج خراب الهياكل وعزل المجتمعات. الهدف من عملنا هو تسليط الضوء على ضعف الجسور أمام ظاهرة الفيضانات، مع الأخذ بعين الاعتبار بعض الحالات الجزائرية. استندت الدراسة على بحث وثائقي في جوانب مختلفة: وهي الفيضانات كخطر وظاهرة طبيعية، وكذلك على تأثير الجسور في حالات الفيضانات.

Mots clés : ponts, inondations, risque majeur, crues, affinements, alias et enjeux.

Table des matières

Remerciements	II
Dédicace.....	III
Résumé.....	IV
Table des matières.....	V
Table des figures.....	IX
Introduction générale.....	11
I. Notions générales sur le risque d'inondation	14
Introduction.....	14
I.1 Généralités sur les risques.....	14
I.1.1 Le risque majeur	14
I.1.2 Le risque d'inondation.....	15
I.1.3 L'aléa inondation	16
I.1.4 La vulnérabilité.....	17
I.1.5 Les enjeux.....	17
I.1.6 L'inondation.....	17
I.1.7 La crue.....	17
I.2 Généralités sur les cours d'eau	18
I.2.1 Lits du cours d'eau	18
I.2.2 La rive.....	19
I.2.3 Ripisylve.....	19
I.3 Genèse des inondations	20
I.3.1 Les causes	20
I.4 Les types d'inondations	21
I.4.1 Les inondations brutales ou crues et laves torrentielles	21
I.4.2 Inondation de plaine	21
I.4.3 Inondation en secteur urbain	22
I.4.4 Inondation par submersion marine	23
Conclusion.....	23

II. Risque des ponts en situation de crue	25
Introduction.....	25
II.1 Généralités sur les ponts	25
II.1.1 Définition	25
II.1.2 Eléments constitutifs d'un pont.....	25
II.1.3 Classification des ponts.....	26
II.1.3.1 Classification suivant le fonctionnement mécanique.....	26
II.1.3.2 Classification suivant la fonction	26
II.1.3.3 Classification suivant la voie considérée	27
II.1.3.4 Classification suivant la mobilité	27
II.2 Les risques des ponts.....	27
II.2.1 L'affouillement.....	27
II.2.2 Types d'affouillements	28
II.2.2.1 L'affouillement général.....	28
II.2.2.2 L'affouillement local.....	29
II.2.2.3 Affouillement de contraction.....	30
II.2.3 Facteurs d'aléa.....	30
II.2.3.1 Les conditions d'écoulement.....	30
II.2.3.2 La nature du fond du lit	31
II.2.3.3 Dimensionnement du débouché hydraulique	31
II.2.3.4 Obstacles (locaux) à l'écoulement.....	31
II.2.3.5 L'évolution du lit	32
II.2.3.6 Phénomène d'embâcles.....	32
II.2.4 Vulnérabilité des ponts face aux crues.....	33
II.2.4.1 Vulnérabilité des fondations	33
II.2.4.2 Sensibilité des appuis (piles et culées hors fondations) à une déstabilisation de leur fondation.....	33
II.2.4.3 Sensibilité du tablier aux dénivellations, basculement ou déchaussement partiel d'appui en fonction du type d'ouvrage.....	33
II.2.5 Évaluation des enjeux.....	34
II.2.5.1 Importance de la voie portée	34
II.2.5.2 Niveau de trafic.....	34
II.2.5.3 Conséquences sur le niveau de service	34

II.2.5.4	Potentielles victimes directes associées à l’effondrement de l’ouvrage	34
II.2.6	Conséquences de l’affouillement des fondations	34
II.2.6.1	Réduction de la force portante des fondations	35
II.2.6.2	Disparition des enrochements.....	35
II.2.6.3	Abrasions et érosions des matériaux.....	35
II.2.6.4	Formations de cavités	35
Conclusion.....		36
III.	Vulnérabilité des ponts face aux inondations : cas algériens.....	38
Introduction.....		38
III.1	Les inondations de Béchar.....	38
III.1.1	L’inondation de 18 et 19 octobre 2007.....	38
III.1.1.1	Les dommages d’inondation d’octobre 2007.....	39
III.1.2	Les inondations du 10 octobre 2008.....	39
III.1.2.1	Les causes d’inondation d’oued Béchar d’octobre 2008.....	41
III.1.2.2	Les conséquences d’inondation d’oued Béchar d’octobre 2008.....	42
III.2	Les inondations de Ghardaïa du 01 octobre 2008.....	43
III.2.1	Comparaison entre l’état de la vallée avant et après la crue.....	44
III.2.2	Dégradation des infrastructures.....	45
III.3	L’inondation du 27 novembre 1927.....	46
III.3.1	Les dégâts causés dans l’ouest algérien.....	46
III.3.2	Les dégâts causés dans la wilaya de Mascara.....	48
Conclusion.....		49
IV.	Gestion du risque des ponts.....	51
Introduction.....		51
IV.1	Mesures de surveillance.....	51
IV.2	Dispositifs de protection des appuis.....	52
IV.2.1	Protections des piles.....	52
IV.2.1.1	Tapis d’enrochements.....	52
IV.2.1.2	Rideaux de palplanches, murs et parois moulées.....	53
IV.2.1.3	Structures additionnelles placées en amont des piles (ou pilots).....	54
IV.2.2	Protection des berges et culées.....	54

IV.2.2.1	Consolidations locales par enrochements ou parois de protection	54
IV.2.2.2	Digues et murs guide-eaux.....	55
IV.2.3	Modification des conditions hydrauliques et protections à distance.....	56
IV.2.3.1	Création d'ouvrages de décharge	56
IV.2.3.2	Épis	56
IV.2.3.3	Seuils et perrés.....	57
	Conclusion.....	57
	Conclusion générale	58
	Bibliographie	59
	Annexe.....	61

Table des figures

Figure I.1: schéma des composants du risque majeur	15
Figure I.2: schéma du risque d'inondation	16
Figure I.3: Représentation schématique des lits mineur, moyen et majeur	18
Figure I.4: Représentation schématique de la rive d'un cours d'eau.....	19
Figure I.5: Les crues torrentielles.....	21
Figure I.6: Inondation de plaine	22
Figure I.7: Inondations en secteur urbain	22
Figure I.8: Inondations par submersion marine.....	23
Figure II.1: Composantes d'un pont.....	26
Figure II.2: (a) Illustration d'affouillement au pied d'une pile de pont, (b) Affouillement autour d'une pile	28
Figure II.3: L'affouillement général (a) Schémas du phénomène d'affouillement général (b) Exemple d'affouillement général du pont Wilson à Tours, 1978 (Cerema 2019).....	29
Figure II.4: Exemple d'affouillement local : (a) l'écoulement autour d'une pile cylindrique; (b) l'effondrement du pont sur la rivière Saint-Étienne, 2007 (Source : Cerema 2019).....	30
Figure II.5: (a) Affouillement d'une culée en saillie d'un pont, (b) Effondrement d'une pile de pont par affouillement de sa fondation	32
Figure II.6: Désordre à la base des piles du pont sur Oued Allala (Ténès-Algérie) sous l'effet de l'abrasion	35
Figure III.1: Les dégâts au niveau des ponts de la ville de Béchar, crue d'octobre 2008 (source : Halilou 2011).....	40
Figure III.2: L'engorgement au niveau du pont la Chouffane (source : Halilou 2011).....	41
Figure III.3: L'exploitation illicite du sable de l'oued (source : Halilou 2011).....	42
Figure III.4: Détérioration des ponts du centre ville (source : Halilou 2011).....	43
Figure III.5: État de la vallée avant et après la crue (source : Benzahaf et Salem, 2010) .	44
Figure III.6: Dégâts causés sur les ponts le long de la vallée (source : Benzahaf et Salem, 2010)	45
Figure III.7: Les dégâts causés par les crues de novembre 1927 dans le centre et l'ouest Algérien : (a) et (b) la destruction du pont du Chélif par la crue, (c) Pont de oued Harbil détruit à l'est de la commune de Damous, (Tipaza), (d) affouillement des piles de pont	

sur oued Messelmoun (Tipaza), (e) destruction du pont sur oued Mentrache, commune de Béni Haoua (Chlef) (Source : photos d'archives).....	47
Figure III.8: Les dégâts enregistrés dans la wilaya de Mascara suite aux crues de 1927 : (a) pont de la plaine d'El Habra pendant la crue avant sa destruction (b) le pont de la plaine d'El Habra détruit après la crue, (c) la destruction d'un pont à Bouhnifia, (d) le reste de la culée rive gauche du pont de Hacine, (e, f) destruction du pont d'El Guetna sur oued El Hammam (Source : photos d'archives).....	48
Figure IV.1: Disposition d'un tapis d'encrochements autour d'une pile de pont (Source : Cerema 2019).....	52
Figure IV.2: Technique de batardeau de micropieux jointifs injecté mise en œuvre sur pour le renforcement d'appuis de plusieurs ouvrages réunionnais vis-à-vis du risque affouillement (Source : Cerema 2019)	53
Figure IV.3: Radier béton mis à nu au droit de la travée du pont (Source : Cerema 2019)	54
Figure IV.4: Protection d'une culée par paroi moulée surmontée d'une couche d'encrochements liés disposée sur la pente de berge (Source : Cerema 2019)	55
Figure IV.5: Murs guide-eaux (Source: Cerema 2019)	56

Introduction générale

Les inondations constituent un risque majeur du monde contemporain. Elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20000 victimes par an (Simona et Cedric, 2007). À l'instar du reste du monde, la région méditerranéenne a connu de multiples inondations qui deviennent une menace de plus en plus redoutable. Les précipitations y dépassent souvent 200 millimètres en 24 heures (Ducrocq, 2006), et parfois en moins de six heures.

L'Algérie est confrontée aux phénomènes des crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Les exemples de Bab El Oued – Alger en 2001, de Sidi Bel Abbes en 2006, de Ghardaïa en 2008 et El Bayadh en 2001 (Djebali, 2015).

La crue est un phénomène naturel qui correspond à une élévation du niveau des eaux. Elle est susceptible de présenter des risques lorsque le débit et le volume d'eau sont tels qu'il y a débordement par rapport au lieu d'écoulement habituel. On parle des inondations lorsque les eaux se répandent dans les zones d'expansion des crues, qui correspondent au lit majeur du cours d'eau, souvent largement urbanisées (Ledoux, 2006).

Dans le domaine de la gestion des risques, les probabilités d'occurrence des phénomènes naturels sont appelés des aléas ; étudier les aléas c'est chercher à caractériser ces phénomènes selon les principaux paramètres suivants : leur fréquence de survenance, intensité destructrice et leur étendue. En matière d'inondation, leur intensité s'exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant. Ces paramètres sont fournis, avec une précision plus ou moins grande, pour l'ensemble de la zone inondable par une crue de fréquence donnée (Ledoux, 2006).

Dans notre pays et plus particulièrement dans les zones arides et semi arides, le régime pluviométrique est très variable, il passe de la sécheresse à des pluies torrentielles engendrant des crues dont l'élévation des niveaux des eaux dans les oueds dépassent parfois les tabliers des ponts; offrant des spectacles impressionnants. Ces crues provoquent des phénomènes d'affouillement qui ont pour effet la

déstabilisation des fondations et comme conséquences la ruine des ouvrages et l'isolement des communautés.

Un pont signifié tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation. La conception de ce dernier doit satisfaire un certain nombre d'exigences puisqu'il est destiné à offrir un service d'usagers. On distingue les exigences fonctionnelles qui sont les caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement, et les exigences naturelles qui sont l'ensemble des éléments de son environnement influents sur sa conception. Les fondations d'un ouvrage d'art comportent des aléas sérieux, pour cela on doit faire une étude particulièrement attentive, car la qualité des fondations sert essentiellement pour la bonne tenue et la pérennité de l'ouvrage (Aït Taleb et Benniche, 2015).

Notre étude est fondée d'une part, sur une recherche bibliographique sur le risque d'inondation, et d'autre part, sur les risques de ponts face à ce phénomène naturel. Cette étude est divisée principalement en quatre chapitres :

Chapitre 01: intitulé notions générales sur le risque d'inondation, ce chapitre présente des généralités sur la notion des risques et leur composants essentiels. L'inondation comme phénomène naturel a été abordée avec une présentation éléments générateurs de ce risque, ses causes, ses modalités de survenance et de déroulement, en plus aux notions liées aux cours d'eau.

Chapitre 02: intitulé risques des ponts en situations des crues. Il aborde des connaissances fondamentales sur les ponts, ensuite il montre les différents risques probables que les ponts peuvent subir, avec une focalisation sur le risque d'affouillement.

Chapitre 03: risques de ponts en Algérie. Dans ce chapitre on procède à l'étude de l'effet des inondations sur les ponts avec un constat de certains événements survenus en Algérie et dont les données sont disponibles.

Chapitre 04: intitulé gestion des risques de pont, ce chapitre montre les différentes mesures de surveillance et dispositifs de protection à suivre pour protéger les ponts contre les effets des crues et inondations.

Chapitre 1

Notions générales sur le risque d'inondation

Notions générales sur le risque d'inondation

Introduction

Le risque n'a pas le même niveau d'une région à une autre, ce dernier peut être influencé par le type d'aléa et le degré de vulnérabilité des enjeux. Les inondations ne provoquent pas de catastrophes si les zones inondables n'étaient pas exploitées par l'homme.

Ce chapitre présente des généralités sur la notion des risques et leur composant essentiel. L'inondation comme phénomène naturel a été abordée avec une présentation de sa genèse, sa typologie, en plus aux notions liées aux cours d'eau.

I.1 Généralités sur les risques

I.1.1 Le risque majeur

Un risque majeur est la confrontation d'un aléa et d'un enjeu (Fig. I.1). Le risque majeur peut être défini comme la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre. Les types des risques auxquels les personnes peuvent être exposées sont de différentes catégories:

Risques naturels: Ils englobent les tremblements de terre, les **inondations**, les incendies, les tempêtes, les ouragans, les tornades, les cyclones, les raz de marée, les tsunamis, les avalanches, les éboulements, les mouvements de terrain, les éruptions volcaniques, etc.

Risques technologiques: d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques et les ruptures de barrage. Les risques de transports des personnes ou matières dangereuses varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident (transport de matières premières, de produits dangereux, d'endommagement de pipe-lines, etc).

Le risque majeur sont caractérisés par :

- Une faible fréquence : Les sociétés peuvent être d'autant plus enclins à ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;
- Une énorme gravité : Nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

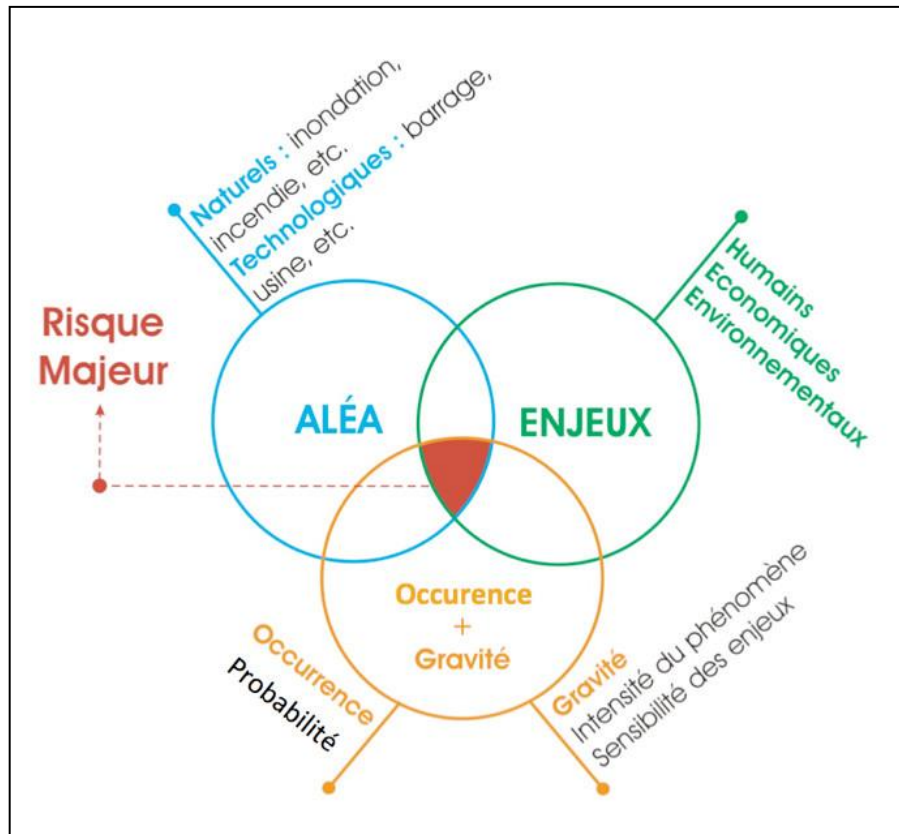


Figure 0.1: schéma des composants du risque majeur¹

I.1.2 Le risque d'inondation

Le risque inondation est défini comme la co-occurrence d'un aléa hydrographique et d'une vulnérabilité en un point géographique donné (Bourrelier 1997). Cette vision qui propose d'analyser le risque comme croisement d'un aléa, d'une vulnérabilité et d'une exposition vise à l'interdiction d'urbanisation des zones à risques.

Les principaux risques naturels liés à l'eau sont les inondations et les submersions marines, mais également l'érosion et ses manifestations violentes (mouvements de terrain), ainsi que la sécheresse (en savoir plus sur l'érosion, la sécheresse ou les inondations). Les risques dits technologiques peuvent parfois accentuer les

¹ <https://www.cypres.org/Default/presentation-des-risques-majeurs.aspx>

conséquences des risques naturels : c'est par exemple le cas d'une rupture de digue générant une inondation.

Une augmentation du risque d'inondation peut être due à un accroissement des enjeux ou une augmentation de l'aléa. Par exemple, l'urbanisation est fréquemment responsable d'une croissance du risque pour deux raisons :

- La construction d'habitations en plaine alluviale accroît les enjeux.
- L'implantation de bâtiments, parkings, de routes... imperméabilise une partie du bassin versant et entraîne un accroissement du ruissellement, une augmentation du débit de pointe et une réduction du temps de concentration dont il résulte une augmentation de l'aléa et une réduction du temps disponible pour faire face (Fig. I.2).

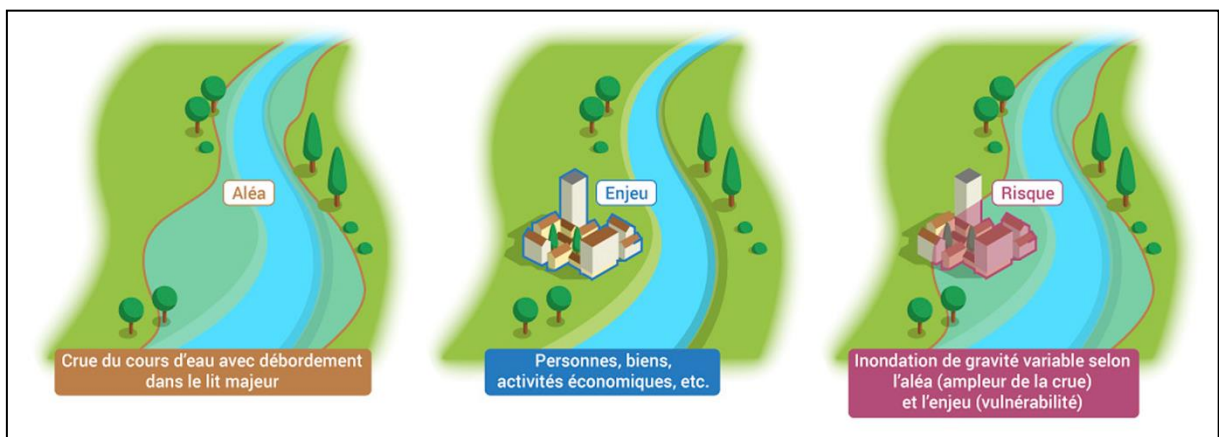


Figure 0.2: schéma du risque d'inondation²

I.1.3 L'aléa inondation

Une inondation, au sens d'aléa, est liée au phénomène physique considéré. Il dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique. Il peut être quantifié sur une parcelle (avec une précision plus au moins bonne) grâce aux variables hydrologiques classiquement utilisées que sont la profondeur d'eau et la durée d'inondation, associée à une période de retour. Sur cette dimension probabiliste de l'aléa traduit la notion de fréquence ou de période moyenne de retour (Gilard, 1998).

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

- La période de retour des crues ;

² <https://www.eaufrance.fr/>

- La hauteur et la durée de submersion ;
- La vitesse d'écoulement ;
- La torrencialité du cours d'eau.

I.1.4 La vulnérabilité

La vulnérabilité traduit la fragilité d'un enjeu (bâtiment) et sa capacité à surmonter la crise provoquée par l'aléa (inondation). Elle dépend :

- des enjeux exposés,
- de leur résistance face à l'aléa,
- et de leur résilience (capacité de l'enjeu à récupérer un fonctionnement normal suite à une inondation).

La vulnérabilité d'un pont au risque inondation se mesure donc à l'importance des conséquences des agressions que vont subir le pont et ce qu'il contient, lorsqu'il est partiellement ou totalement immergé³.

I.1.5 Les enjeux

L'enjeu correspond à l'exposition des personnes, biens, systèmes, ou autres éléments présents dans les zones d'aléas. Ils sont ainsi soumis à des pertes potentielles. Malgré la présence d'enjeux, il est possible de limiter l'impact de l'aléa sur les enjeux en diminuant la vulnérabilité des personnes et des biens⁴.

I.1.6 L'inondation

Une inondation est la submersion par des eaux douces ou salées d'une zone généralement émergée. Cette submersion peut se faire lentement ou brutalement et se répéter de manière régulière ou bien être plus anecdotique⁵.

I.1.7 La crue

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent

³ <https://www.sdea.fr/>

⁴ <https://www.sdea.fr/>

⁵ <https://www.futura-sciences.com/>

considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines (Salomon, 1997).

I.2 Généralités sur les cours d'eau

I.2.1 Lits du cours d'eau

Les cours d'eau se caractérisent en général par l'existence de lit mineur, de lit moyen et de lit majeur (Fig. 1.3).

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques.

1. **Lit mineur**, partie contenant les crues non débordantes.
2. **Lit moyen**, contenant les crues débordantes les plus fréquentes. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve;
3. **Lit majeur** : contenant les crues plus rares. Il comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres.

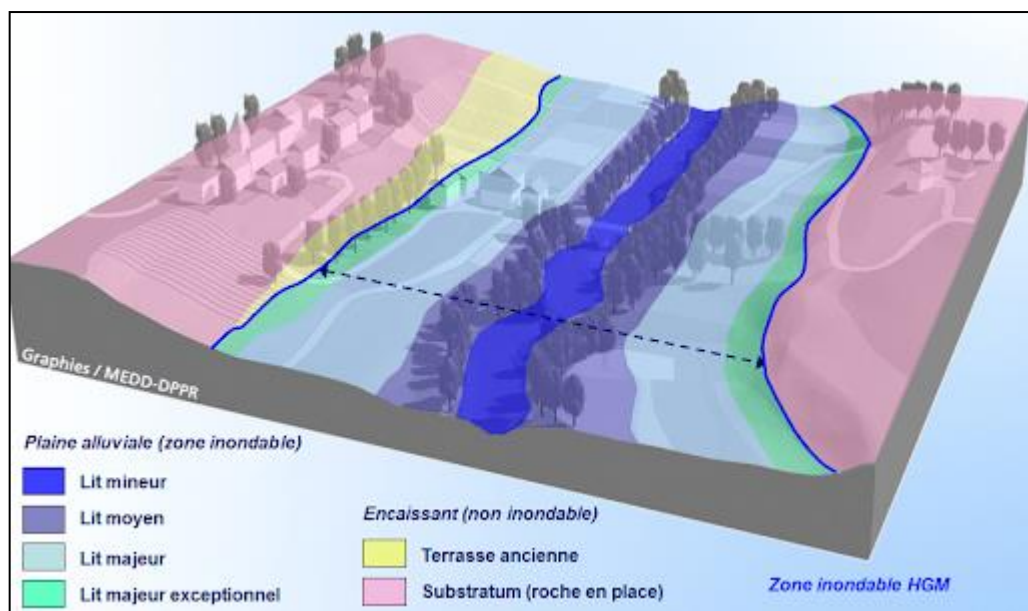


Figure 0.3: Représentation schématique des lits mineur, moyen et majeur⁶

⁶ <http://www.vaucluse.gouv.fr/>

1.2.2 La rive

La rive est la bande de terre qui borde un cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres, à partir de la ligne des hautes eaux⁷.

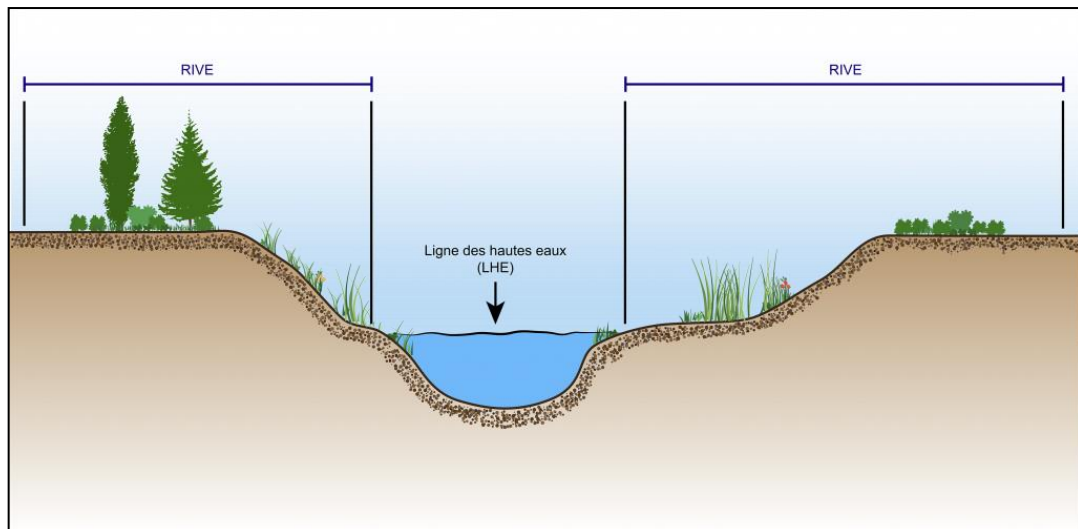


Figure 0.4: Représentation schématique de la rive d'un cours d'eau⁸

1.2.3 Ripisylve

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Ce mot vient de "ripa" qui veut dire rive et de "sylva" qui veut dire forêt (Merabet, 2006). Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique:

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant ;
- Un écrêtement des crues pour l'aval.
- Alluvions et substratum
- Une rivière coule généralement sur ses alluvions. Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Les alluvions

⁷ <https://www.bandesriveraines.quebec/>

⁸ <https://www.bandesriveraines.quebec/les-definitions/>

recouvrent le substratum rocheux formé d'une roche dure ou bien d'une roche plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...) (Degoutte, 2012).

I.3 Genèse des inondations

I.3.1 Les causes

Une inondation peut être due à :

- la crue d'un cours d'eau, c'est-à-dire une élévation de la hauteur ou du débit de l'eau ; le cours d'eau sort de son lit et envahit les terrains environnants ;
- des pluies intenses, entraînant un ruissellement de surface important qui peut saturer le réseau d'eaux pluviales. Les pluies intenses peuvent entraîner des crues torrentielles qui transportent des matériaux ;
- la submersion marine, pouvant être due à une houle importante, une tempête, un cyclone, un tsunami ;
- la remontée d'une nappe phréatique, à cause de pluies importantes, sur de longues périodes. Cela concerne des terrains bas et mal drainés ;
- la rupture d'un ouvrage (barrage, digue, etc.).
- Les facteurs aggravants
- Déboisement, modification des écoulements agricoles, suppression des haies, imperméabilisation des sols (routes, parkings).
- Construction des obstacles à la circulation des eaux dans les zones d'écoulement
- L'urbanisation et le développement des réseaux d'infrastructures sans tenir compte de leur vulnérabilité.
- L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau sans respecter leur fonctionnement global. Ces aménagements peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel.
- La formation et la rupture d'embâcles : les matériaux flottants transportés par le courant s'accumulent en amont des passages étroits. La rupture éventuelle de ces embâcles provoque une onde puissante et dangereuse en aval.
- La défaillance des dispositifs de protection : Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs) est limité. Leur utilisation peut parfois exposer davantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée.

I.4 Les types d'inondations

I.4.1 Les inondations brutales ou crues et laves torrentielles

Les crues torrentielles sont des inondations brutales qui sont dues à d'intenses précipitations sur un bassin réduit. Elles charrient en grande quantité des matériaux divers (sédiments, bois mort, voitures, etc.) qui colmatent le lit du cours d'eau et peuvent former des barrages appelés embâcles. Lorsqu'elles cèdent, ces embâcles libèrent brutalement une grande quantité d'eau qui peut occasionner des dégâts très importants. Ces crues torrentielles peuvent former des laves torrentielles qui sont des écoulements mêlant l'eau et les matériaux de toutes tailles et atteignant des densités capables de transporter des blocs en quasi-flottaison. Outre des dégâts matériels qui peuvent être très importants, ces crues peuvent aussi faire des victimes⁹.



Figure 0.5: Les crues torrentielles

I.4.2 Inondation de plaine

Les inondations de plaine se produisent lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. La rivière occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. Après une ou plusieurs années pluvieuses, il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation spontanée se produise : il s'agit d'inondation par remontée de nappe phréatique. Ce phénomène concerne particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines¹⁰ (Fig. I.6).

⁹ <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

¹⁰ <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>



Figure 0.6: Inondation de plaine

I.4.3 Inondation en secteur urbain

Ce type d'inondation est provoqué par les précipitations tombant sur l'agglomération, et (ou) sur les bassins périphériques naturels ou ruraux de faible taille dont les ruissellements empruntent un réseau hydrographique naturel (ou artificiel) à débit non permanent ou à débit permanent très faible et sont ensuite évacués par le système d'assainissement de l'agglomération, ou par la voirie. Il ne s'agit donc pas d'inondation due au débordement d'un cours d'eau permanent traversant l'agglomération et dans lequel se rejettent les réseaux pluviaux¹¹.



Figure 0.7: Inondations en secteur urbain

¹¹ <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

I.4.4 Inondation par submersion marine

La submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères. Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux¹².

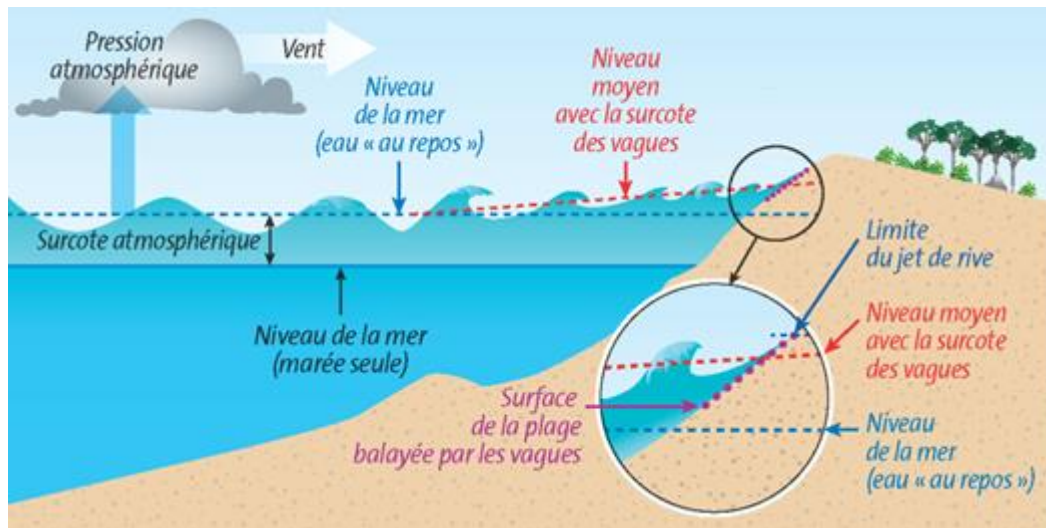


Figure 0.8: Inondations par submersion marine¹³

Conclusion

L'inondation est un aléa naturel prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elle se manifestera. Les facteurs de formation des inondations sont multiples en particulier la pluie. Par conséquent, la prévision de cet aléa consiste principalement en une observation continue des précipitations.

L'inondation est souvent qualifiée de risque naturel de lourdes conséquences (pertes humaines, sociales, économiques et environnementales). La capacité à gérer l'impact de l'inondation varie d'un pays, et d'une région à l'autre. En somme, il est primordial de s'intéresser aux procédés de protection contre les inondations.

¹² <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

¹³ <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

Chapitre 2

Risque des ponts en situation de crue

Risque des ponts en situation de crue

Introduction

Les actions accidentelles agissant sur la structure d'un pont peuvent être de différentes natures : aléas naturels tels que le séisme et les glissements, pression hydrodynamique de l'eau sur les piles des ponts franchissant les rivières et chocs des véhicules ou des bateaux.

Dans ce chapitre, nous allons mettre en lumière l'action mécanique de l'eau sur les ponts, à savoir les phénomènes d'affouillement et d'abrasion qui se produisent sur le périmètre et contre les parois des appuis intermédiaires des ponts (piles) franchissant des rivières ou des oueds.

I.5 Généralités sur les ponts

I.5.1 Définition

Un pont est un ouvrage destiné à mettre en communication deux points séparés par un obstacle ou permettant le passage sans croisement à niveau de deux courants de circulation. En technique, un pont est un ouvrage lancé ou jeté pour permettre le franchissement d'un obstacle naturel ou artificiel : vallée, rivière, canal de navigation, canal d'irrigation, une dépression, une zone d'inondation, une zone marécageuse, un lac, un bras de mer et d'autres voies de communication¹⁴.

I.5.2 Eléments constitutifs d'un pont

Le pont est constitué essentiellement de deux parties principales :

- Le tablier : C'est la partie horizontale du pont qui supporte directement les charges roulantes (fig. 2.1).
- Les appuis : Ils transmettent les charges du tablier vers les fondations. On distingue les appuis intermédiaires qui sont les piles et les appuis de rive qui sont les culées.

¹⁴ <https://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-generalites-sur-le-pont-1122.html>

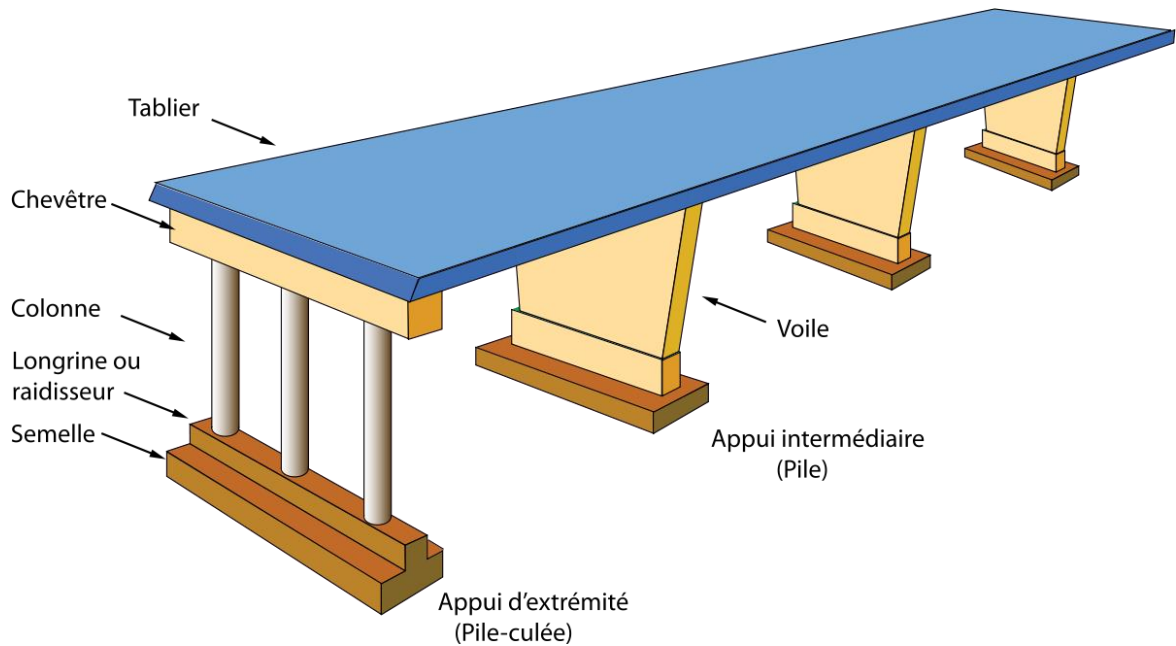


Figure 0.1: Composantes d'un pont¹⁵

I.5.3 Classification des ponts

Selon Aït Taleb et Benniche (2015), les ponts sont classés suivant plusieurs critères :

I.5.3.1 Classification suivant le fonctionnement mécanique

Les ponts poutres: on trouve dans cette catégorie les ponts à poutres sous chaussée, les ponts à poutres latérales, les ponts dalle, les ponts en caisson, etc.

Les ponts en arc: se sont tous les ponts dont les réactions d'appui comportent une Composante horizontale. On classe dans cette catégorie les ponts en arc, les ponts à béquilles obliques ou droites, les portiques ouverts et les cadres fermés.

Les ponts à câbles: se sont tous les ponts portés par des câbles. Dans cette catégorie, figurent les ponts à haubans et les ponts suspendus.

I.5.3.2 Classification suivant la fonction

Les ponts routes: Ce sont les ponts qui portent une route lui permettant ainsi de franchir un obstacle.

¹⁵ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_\(pont\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_(pont))

Les ponts rails: Ce sont les ponts qui portent un chemin de fer qui lui permet de franchir un obstacle.

Les ponts rails/routes: Ce sont les ponts qui portent une route et un chemin de fer à la fois.

Les passerelles: Ce sont des ouvrages réservés uniquement à la circulation des piétons.

Les ouvrages hydrauliques: Ce sont les ouvrages destinés à faire passer un cours d'eau.

I.5.3.3 Classification suivant la voie considérée

Passage supérieur si c'est la voie franchie qui est considérée.

Passage inférieur si c'est la voie portée qui est considérée

I.5.3.4 Classification suivant la mobilité

Les ponts fixes

Les ponts levants: Ce sont les ponts dont l'axe de rotation est horizontal.

Les ponts tournants: Ce sont les ponts dont l'axe de rotation est vertical. Cette énumération de critère que nous venons de faire n'est pas exhaustive. On trouve ainsi d'autres critères tels que le mode d'exécution, la forme du tablier, etc

I.6 Les risques des ponts

I.6.1 L'affouillement

Le dictionnaire Larousse définit l'affouillement de la manière suivante : « Action de creusement due aux remous et aux tourbillons engendrés dans un courant fluvial ou marin butant sur un obstacle naturel (rive concave des méandres) ou artificiel (pile de pont, jetée), ou à l'activité des animaux benthiques »

L'affouillement est un phénomène qui touche l'ensemble des ouvrages hydrauliques, avec plus ou moins d'intensité selon la morphologie du cours d'eau et le type d'ouvrage. Ces affouillements peuvent mettre à nu les fondations des ouvrages et finissent par les déstabiliser, voire les effondrer. Le phénomène d'affouillement est

largement amplifié en **période de crue**, notamment du fait de l'augmentation de la vitesse de l'eau. La création ou l'importante aggravation du phénomène lors d'une crue peut mener à la rupture inattendue de l'ouvrage (Cerema 2019).

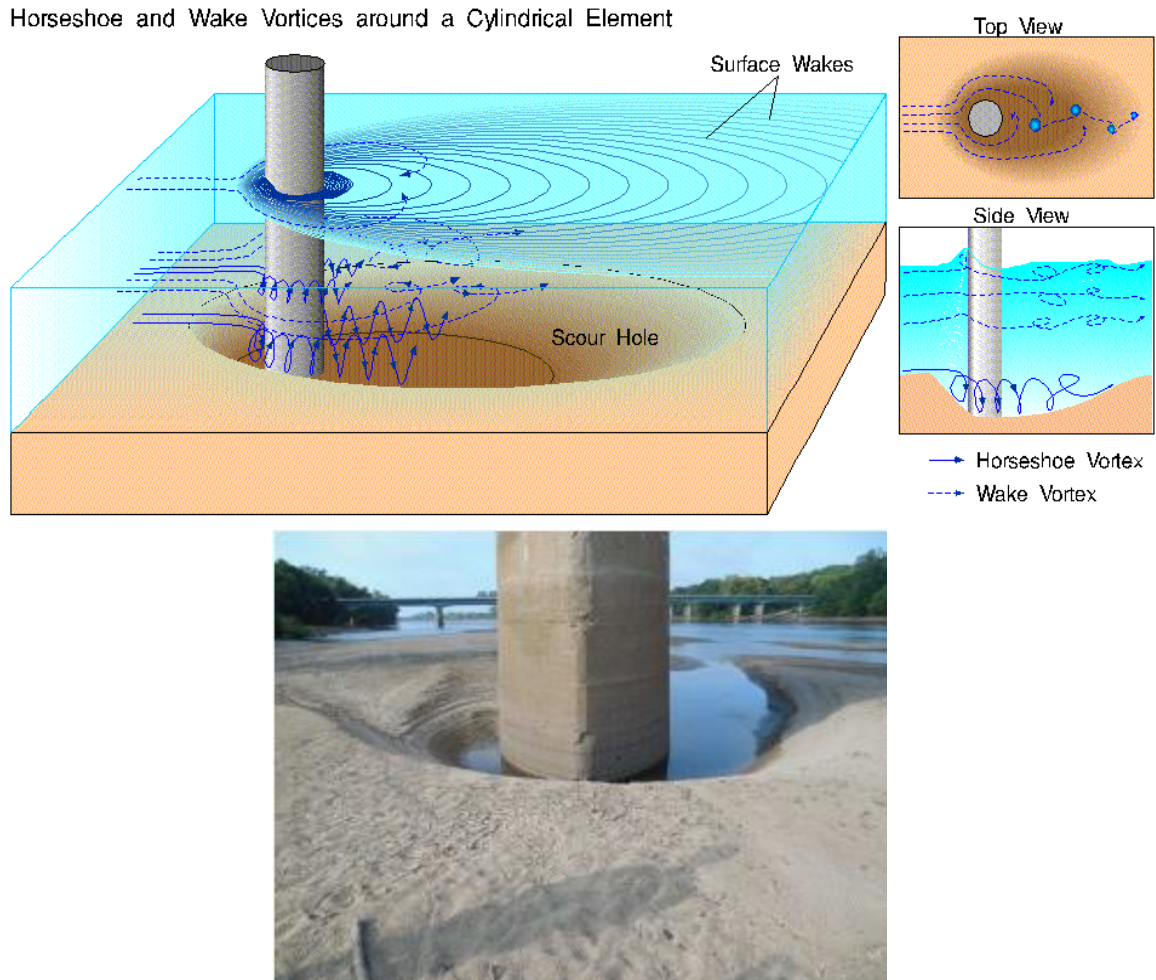


Figure 0.2: (a) Illustration d'affouillement au pied d'une pile de pont¹⁶, (b) Affouillement autour d'une pile¹⁷

1.6.2 Types d'affouillements

1.6.2.1 L'affouillement général

Ce type d'affouillement est indépendant de la présence d'une structure dans le cours d'eau et correspond à l'évolution naturelle du lit par dégradation. Cette évolution peut survenir rapidement suite à une grande crue, ou bien s'étendre sur plusieurs années. L'activité humaine, telle que la modification du cours d'eau ou la construction de barrages, amplifie ce type d'affouillement (Boudia 2018).

¹⁶ <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD1011/bei/beiere/groupe2/node/137>

¹⁷ <https://www.usgs.gov/>

La profondeur d'affouillement est fonction de la granulométrie des sédiments, du débit et de la hauteur d'eau et peut varier entre quelques dizaines de centimètres et plusieurs mètres. L'affouillement général peut provoquer la ruine de toute fondation non protégée ou dont l'encastrement dans le sol est insuffisant.

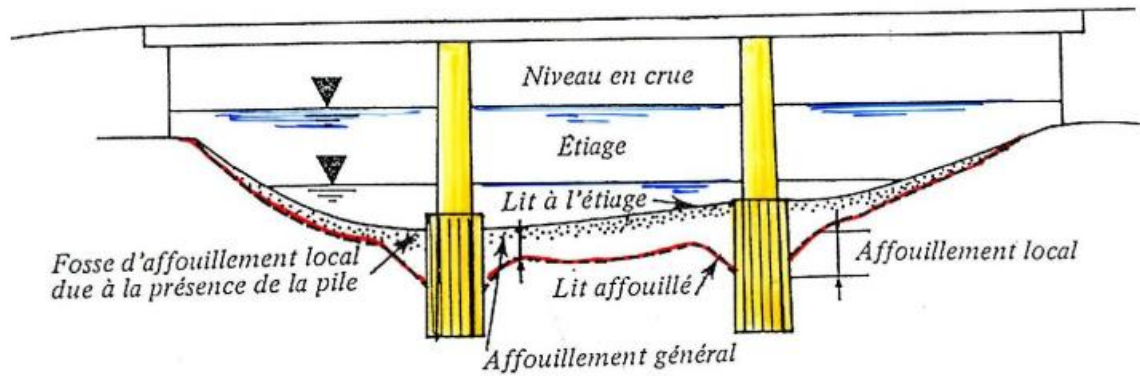


Figure 0.3: L'affouillement général (a) Schémas du phénomène d'affouillement général (b) Exemple d'affouillement général du pont Wilson à Tours, 1978 (Cerema 2019)

1.6.2.2 L'affouillement local

Ce type d'affouillement résulte directement de la présence de piles ou culées dans un écoulement hydraulique. Ces obstacles engendrent un changement brusque de l'écoulement: En amont de la pile, l'écoulement est redirigé vers le lit (downflow) engendrant ainsi une érosion localisée autour de la pile. Cela donne naissance, en pied de pile, à des tourbillons en fer à cheval (horseshoe vortex) qui vont accentuer l'affouillement local. Sur les cotés de la pile, le décollement de la couche limite de la paroi donne naissance à des tourbillons de sillage (wake vortex) (Boudia 2018).

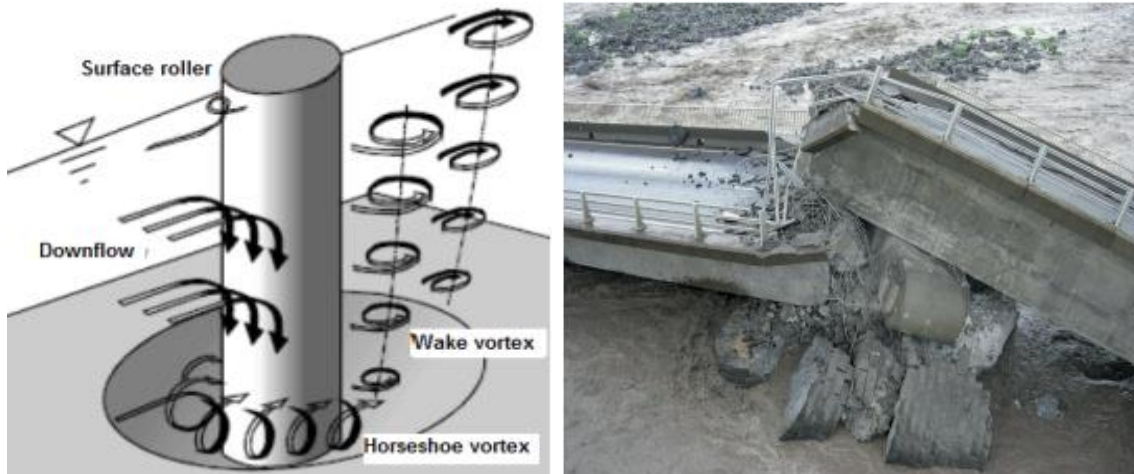


Figure 0.4: Exemple d'affouillement local : (a) l'écoulement autour d'une pile cylindrique; (b) l'effondrement du pont sur la rivière Saint-Étienne, 2007 (Source : Cerema 2019)

I.6.2.3 Affouillement de contraction

Ce type d'affouillement est dû au rétrécissement de la largeur du cours d'eau, soit naturellement, soit à cause de la présence d'un ouvrage d'art. Cette contraction engendre une augmentation de la vitesse d'écoulement et par conséquent une force érosive plus importante. Les sédiments de la zone de contraction sont transportés entraînant ainsi un abaissement local du lit du cours d'eau.

I.6.3 Facteurs d'aléa

I.6.3.1 Les conditions d'écoulement

L'affouillement est fortement lié à la vitesse d'écoulement de l'eau ou courant. A ce stade d'analyse sommaire préalable, ce critère est scindé en trois grandes catégories :

- Les rivières fluviales : rivières de plaines, rivières aménagées ou navigables, canaux, etc ;
- Les rivières torrentielles : caractérisées par des fortes crues, brutales, dues aux orages (cas des rivières du pourtour méditerranéen). Lors de ces événements, ces cours d'eau deviennent alors très érosifs pour l'ouvrage ;
- Les torrents de montagne : ce sont les cours d'eau de montagne à fort courant et à forte pente.

I.6.3.2 La nature du fond du lit

Seuls les matériaux alluvionnaires de type granulaires tels que les graviers et sables de toutes granulométries sont en théorie affouillables. A contrario, les terrains durs rocheux, marneux et plus généralement présentant une cohésion significative, ne sont pas susceptibles d'être affouillés.

I.6.3.3 Dimensionnement du débouché hydraulique

Le débouché hydraulique correspond à la capacité de l'ouvrage à laisser le courant passer. Il s'agit ici de savoir si la présence du pont réduit l'ouverture naturelle du lit de manière significative ou non. Ce critère, qui intègre la qualité d'entretien des berges (cas d'embâcles coincés pouvant impacter le passage libre de l'eau) est déterminant, car il est souvent l'une des causes principales des affouillements.

I.6.3.4 Obstacles (locaux) à l'écoulement

Les obstacles locaux à l'écoulement, concernent tous les appuis situés dans le lit majeur, donc susceptibles d'être immergés en période de crue :

- Largeur de la partie de l'appui faisant obstacle à l'écoulement : La largeur de l'obstacle à l'écoulement est un facteur essentiel du développement de l'affouillement local.
- Forme de la partie de l'appui faisant obstacle à l'écoulement qui influe à double titre : D'une part, il est reconnu qu'une forme arrondie ou profilée des appuis à leur extrémité amont favorise un bon écoulement de l'eau et minimise donc l'affouillement local. D'autre part, vis-à-vis du risque d'affouillement, la dimension prépondérante réside dans l'épaisseur qui fait obstacle à l'écoulement, mesurée perpendiculairement au courant.
- L'orientation de l'écoulement peut varier selon la hauteur d'eau. Ainsi, un écoulement bien orienté en période de basses eaux peut ne plus l'être autant en période de crue. Ce critère nécessite donc une connaissance à la fois de la géométrie de chaque pile et de l'orientation de l'écoulement de la rivière à différents régimes.

- Les culées d'un pont désignent ses appuis d'extrémité. Si la culée empiète sur le lit majeur du cours d'eau, ce qui entraîne un raccourcissement de la largeur du lit, alors elle est considérée en saillie. Le paramètre de la « culée en saillie » est important car il engendre fréquemment un affouillement de la semelle de fondation de la culée. Si elles ne constituent pas une gêne à l'écoulement en période normale ou de basses eaux, les culées en saillie peuvent ainsi constituer un obstacle très important lorsque le cours d'eau est en crue (Fig. II.5).



Figure 0.5: (a) Affouillement d'une culée en saillie d'un pont, (b) Effondrement d'une pile de pont par affouillement de sa fondation¹⁸

1.6.3.5 L'évolution du lit

Il s'agit ici de savoir si l'aspect ou la constitution du lit se trouvent modifiés après des crues ou selon les saisons. L'évolution du lit peut aussi avoir une cause artificielle : aménagements ou extraction de matériaux. Sont visées à la fois une évolution 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.

1.6.3.6 Phénomène d'embâcles

La présence d'embâcles (flottants bloqués par les appuis en rivières) peut conduire à une aggravation du maître-couple de la pile, favorisant localement le développement de tourbillons et donc potentiellement les phénomènes d'affouillement.

¹⁸ https://twitter.com/aqc_fr/status/861846835790524416?lang=hu

I.6.4 Vulnérabilité des ponts face aux crues

La vulnérabilité d'un ouvrage vis-à-vis de l'aléa affouillement résulte d'un mécanisme d'endommagement en chaîne. Les fondations des appuis sont les premiers éléments de défaillance. Selon le niveau de mouvement de la fondation, il peut alors advenir en chaîne :

- Des désordres sur les appuis (piles et culées hors fondation) : basculement partiel ou complet éventuellement accéléré par l'effet de la poussée hydrodynamique du courant, rupture, etc. ;
- Une mise en torsion ou effondrement du tablier si la pile bascule ou rompt, augmentation conséquente des contraintes de flexion en cas de dénivellation d'appui, sauf dans le cas de structures de tablier très souples ou de travées isostatiques.

I.6.4.1 Vulnérabilité des fondations

- Période de construction (ouvrage, ou appuis si plus anciens)
- Type et profondeur des fondations
- Actions de surveillance des appuis de l'ouvrage

I.6.4.2 Sensibilité des appuis (piles et culées hors fondations) à une déstabilisation de leur fondation

- Matériau constitutif et état des appuis (y compris éléments de protection éventuels) : Il paraît vraisemblable qu'un ouvrage dont un ou plusieurs appuis se trouvent déjà en situation de fragilité du fait de l'existence de phénomènes d'affouillement avérés ou pour une autre raison, présente un plus grand risque.
- Forme de l'obstacle à l'écoulement

I.6.4.3 Sensibilité du tablier aux dénivellations, basculement ou déchaussement partiel d'appui en fonction du type d'ouvrage

Dans le cadre de l'analyse sommaire préalable, seuls sont distingués les ponts-cadres et les buses en béton. En effet, ces ouvrages se caractérisent par le fait qu'ils

possèdent un radier général qui les rend moins sensibles à l'affouillement que les autres types d'ouvrages.

I.6.5 Évaluation des enjeux

I.6.5.1 Importance de la voie portée

Ce premier critère représente la valeur stratégique de l'itinéraire porté par l'ouvrage. Il relève de la hiérarchisation du réseau routier national et conduit à distinguer.

I.6.5.2 Niveau de trafic

Ce critère traduit les conséquences socio-économiques d'un effondrement de l'ouvrage. Celles-ci sont évaluées par le biais de l'importance du trafic supporté par l'ouvrage qui est un moyen simple de quantifier le surcoût qu'engendrerait sa fermeture.

I.6.5.3 Conséquences sur le niveau de service

Ce critère prend en compte l'implantation de l'ouvrage dans le réseau routier et l'impact, en termes de report de trafic, qu'aurait sa fermeture vis-à-vis des usagers. Le gestionnaire a alors le choix entre trois cas : déviation facile, difficile ou impossible. Intervient en outre, en fonction de la longueur de la brèche franchie, la possibilité ou non de mettre en place un pont de secours vis-à-vis d'une situation de crise.

I.6.5.4 Potentielles victimes directes associées à l'effondrement de l'ouvrage

Ce critère tient compte de l'éventuelle présence d'une barrière physique interdisant l'accès à l'ouvrage en cas de crue, ainsi que des inspections systématiques éventuellement prévues (ou pas) suite à chaque épisode de crue important sur des ouvrages présumés vulnérables.

I.6.6 Conséquences de l'affouillement des fondations

Les conséquences de l'affouillement des fondations de ponts sont des fois très lourdes et ont une répercussion immédiate sur la stabilité de l'ouvrage. Les principales conséquences sont les suivantes :

I.6.6.1 Réduction de la force portante des fondations

La diminution de l'encastrement de la fondation, dû à l'abaissement du fond du lit, entraîne une réduction de la force portante de la fondation concernée. Dans le cas des fondations profondes, l'affouillement général ou local des alluvions provoque une réduction de la force portante des pieux par diminution du frottement latéral.

I.6.6.2 Disparition des enrochements

Lors de crue, des fosses sont formées à l'aval des fondations entraînant un raidissement des talus de protection par enrochement et le glissement de ces enrochements.

I.6.6.3 Abrasions et érosions des matériaux

Les sédiments charriés par la crue entrent en frottement et en chocs avec les appuis et fondations de ponts. Ceci entraîne l'abrasion des parties immergées (massif de fondation, protections en enrochements...), particulièrement lorsqu'aucune protection n'est prévue (enrochements, palplanches...).

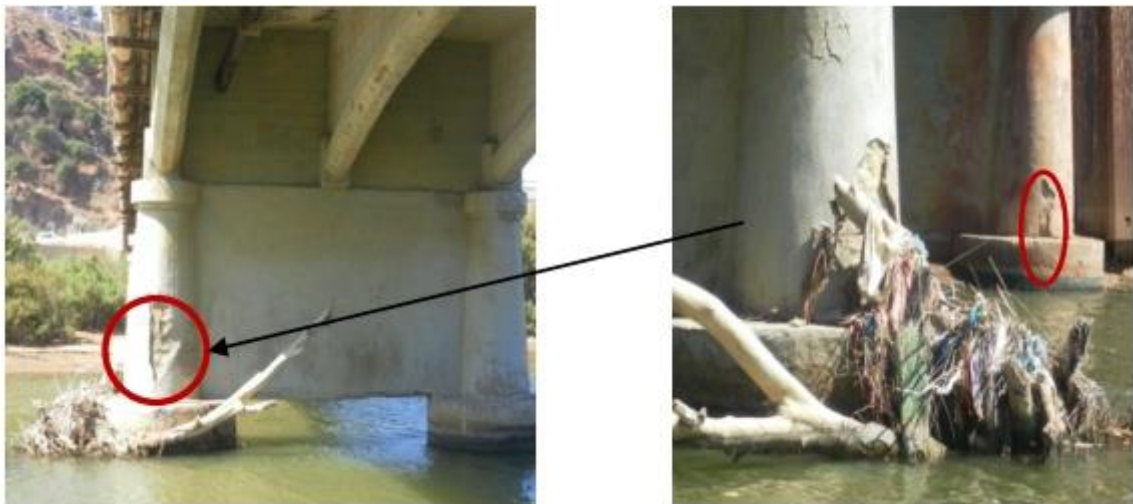


Figure 0.6: Désordre à la base des piles du pont sur Oued Allala (Ténès-Algérie) sous l'effet de l'abrasion

I.6.6.4 Formations de cavités

Les écoulements d'eau entraînent les particules du sol et du massif de fondation. Ces écoulements se propagent à l'interface entre le sol et le massif de fondation et arrachent des sédiments. Ainsi, des cavités sous les massifs de fondation sont créées.

Lorsque les enrochements de protection ont disparu, les affouillements locaux provoquent également des cavités dans les sols au pourtour de l'appui.

Dans les ponts dont les fondations sont en maçonnerie, des cavités se développent dans les zones soumises directement aux actions de l'eau (dans le massif de fondation même). En effet, au contact de ces zones, notamment les moins compacts, l'eau se charge de chaux et dissout le mortier laissant la place aux cavités.

Conclusion

Ce chapitre a présenté la vulnérabilité des ponts face aux crues. Nous avons montré l'effet abrasif sur les piles et leurs fondations en situation des crues, où les cours d'eau charrient des sédiments. L'affouillement provoqué par les crues a été abordé en détail, et d'où la nécessité de les protéger par l'ancrage de rideaux. Il est à noter que, la prise en compte de l'affouillement est nécessaire. Dans tous les cas, le fait de ne pas étudier plus précisément certains ouvrages (par exemple ceux présentant des enjeux très faibles) doit être pleinement assumé par le gestionnaire en fonction de sa connaissance du contexte et des moyens dont il dispose (notion de « risque accepté »).

Chapitre 3

Vulnérabilité des ponts face aux inondations : cas algériens

Vulnérabilité des ponts face aux inondations : cas algériens

Introduction

Dans ce présent chapitre on procède à l'étude de l'effet des crues et inondations sur les ponts en Algérie. Une prise en compte de trois événements survenus dans différentes régions de l'Algérie. L'objectif de ce chapitre est de vérifier la vulnérabilité des ponts qui ont subi des crues dans le passé, à travers un constat des différents endommagements enregistrés.

I.7 Les inondations de Béchar

I.7.1 L'inondation de 18 et 19 octobre 2007

Les journées du 18-19 octobre 2007, une pluie torrentielle s'est abattue sur la région sud-ouest du pays, notamment sur la wilaya de Béchar. La ville de Béchar et ses environs a connu 27 mm de pluie, sous forme de fortes averses.

De points de vue régionaux, tous les oueds et Chaaba ont connu très fortes crues l'oued Ain Safra a emporté le pont reliant d'Ain Safra (W. Naâma) et Béchar. Ce qui engendré l'isolement des autres wilayas de Béchar, d'Adrar et Tindouf, des wilayas du nord. Le même scénario a été causé par les dégâts occasionnés au chemin de fer.

En ce qui concerne la ville de Béchar, deux personnes ont été noyées. L'oued Béchar qui traverse la ville, a inondé une partie des quartiers Mer Niger et Béchar-Djedid en particulier la zone mitoyenne à berge droite de l'oued et une école et des habitations sur la berge droite de l'oued sur le secteur de Debdaba cette crue a endommagé les collecteurs du réseau d'assainissement.

Toutes les Chaaba et les affluents d'oued Béchar ont connu de fortes crues sauf oued El Faidja ce qui a occasionné des dégâts sur les petits ponts situés sur la route nationale RN°06 et la nouvelle rocade, sur les digues d'eau et l'activité d'élevage (Halilou 2011).

I.7.1.1 Les dommages d'inondation d'octobre 2007

- Endommagements des petits ponts sur la route nationale RN°06 et la nouvelle rocade,
- Dégâts importants au niveau de la voie ferrée
- Endommagements du collecteur D 400mm, au niveau du pont Mirassoli,
- Détérioration totale du regard de visite du collecteur principal D 600mm, au niveau du pont Mirassoli,
- Détérioration des regards de visite du collecteur principal D 400mm, au niveau du pont Mirassoli,
- Détérioration de la traversée du réseau d'assainissement de Hai Nour D 200mm,
- Détérioration de la traversée du collecteur des eaux usées D 300mm, au niveau du lit de l'Oued, à Ouakda,
- Endommagements de la traversée du collecteur des eaux usées D 300mm, au niveau du pont Oueld Ba Zaid,
- Dégâts importants d'une partie du collecteur principale qui relie le tronçon P7 et P8, au niveau du pont Oueld Ba Zaid.

I.7.2 Les inondations du 10 octobre 2008

La plus grande inondation de toute l'histoire de la région est celle du 10 octobre 2008, où la montée était exceptionnelle des eaux de l'oued Béchar. La hauteur maximale était entre 5,50 et 6 m, avec un débit estimé à 950m³/sec.

Même selon les dégâts causés par cette dernière, c'est l'inondation la plus catastrophique du point de vue humaine, animale et socio-économique.

La perturbation atmosphérique qui a sévi du mercredi 08 au vendredi 10 octobre 2008 a provoqué un changement dans le temps caractérisé par une baisse de la température et de fortes chutes de pluie.

Ces précipitations ont commencé le mercredi 08 octobre 2008 vers 19h00 pour se terminer le vendredi 10 octobre 2008 vers 08h30. Elles sont intensifiées le 09 octobre à 7h20 et le 10 octobre à 1h35, une hauteur de 84,6 mm d'eau a été recueillie durant ce laps de temps, correspondant à une intensité moyenne de 4,47 mm/heure.



Figure 0.1: Les dégâts au niveau des ponts de la ville de Béchar, crue d'octobre 2008
(source : Halilou 2011)

I.7.2.1 Les causes d'inondation d'oued Béchar d'octobre 2008

En Octobre 2008, la région de Béchar a subit des quantités considérables des pluies torrentielles qui ont dépassé la moyenne annuelle où a été recueillie durant cette période environ 90 mm, Alors que la moyenne annuelle enregistrée dans la région est de 100 mm, ce qui a entraîné des très grande inondations.

En plus, les facteurs qui ont aggravé le degré de cette inondation sont les précipitations considérables dans les régions frontières avec Béchar surtout celles du nord comme Naâma et EL Bayadh et le Maroc qui a leur tour alimentent le bassin versant de l'oued Béchar.

✚ Le rétrécissement du lit d'oued

Le développement urbain et la construction illégale sur les deux côtés (bordures) de l'oued ont provoqué un rétrécissement et des engorgements surtout dans certains endroits, qui ont conduit à l'obstruction et l'emprisonnement des eaux de la crue et donc inondé les zones environnantes qui l'entourent par exemple haï El Guettara.

Le rétrécissement du lit d'oued avec les berges artificielles a provoqué l'immersion des quartiers voisine comme se produit au niveau du pont Oueld Ba Zaid et le quartier El fath et le pont de la Chouffane.



Figure 0.2: L'engorgement au niveau du pont la Chouffane (source : Halilou 2011)

✚ Les virages tronqués

Les virages tronqués d'une manière artificielle sans études techniques et la dissimulation du béton le long de l'oued conduisent le débit d'eau à augmenter dans l'oued, ce qui augmente la chance d'exposer la région au risque d'inondations par exemple : du haï El Nour qui a été complètement inondé par les eaux débordées de l'oued.

Des autres facteurs indirects qui aggravent le risque d'inondation de la ville de Béchar comme :

- L'exploitation illicite du sable de l'oued résulte à une destruction de sa structure,
- L'élimination des palmiers et les parcelles agricoles dans certains endroits dans la ville qui maintiennent la cohésion du sol.



Figure 0.3: L'exploitation illicite du sable de l'oued (source : Halilou 2011)

I.7.2.2 Les conséquences d'inondation d'oued Béchar d'octobre 2008

Trente-six heures de pluies torrentielles sans interruption ont suffi pour transformer la capitale de la Saoura et sa périphérie en gigantesques torrents de boue, cela a incité les autorités locales pour créer une cellule de crise installée à la wilaya pour prévenir et faire un diagnostic des dégâts causés par ce phénomène nous citerons celles enregistrées dans la ville de Béchar comme suit :

- Tous les réseaux (AEP, Assainissement, Eaux pluviales) ont connu des importants dégâts, où on a enregistré une coupure d’eaux potable dans certain quartier (Debdaba, Hai Nour)
- Le réseau d’assainissement a connu généralement un grand blocage dû à la vase et un débordement des eaux usées dans certains quartiers.
- En plus, on a enregistré au niveau du lit de l’oued une détérioration du réseau et la destruction de la majorité des équipements (regards, les berges artificielles....etc.).
- On note ici que le reste des autres secteurs ont aussi subit des dégâts avec des degrés moins importants, on cite comme exemple la coupure des liaisons téléphoniques, le déracinement des palmiers et l’emporté de quelques animaux du jardin public riverain à l’oued.



Figure 0.4: Détérioration des ponts du centre ville (source : Halilou 2011)

I.8 Les inondations de Ghardaïa du 01 octobre 2008

Le 1^{er} octobre 2008, des quantités importantes de pluies torrentielles sont tombées qui ont dépassé sa moyenne annuelle. La quantité de pluie qui est tombée était de 60 mm, sachant que la valeur annuelle atteint généralement 50 mm, ce qui a conduit à la survenance de très grosses crues.

L’accentuation de la force des inondations qui ont frappé la région de la vallée du M'zab à Ghardaïa, étaient les quantités très importantes de pluie tombées dans certains wilayas, comme la wilaya de Laghouat, Djelfa et El-Bayadh, ce qui a entraîné

l'écoulement de nombreuses vallées au nord. Ces dernières, à leur tour se jetaient dans le bassin de la vallée du M'zab, dont le plus important est l'oued El-Adera. Les débits des crues torrentiels ont atteint $900\text{m}^3/\text{sec}$, avec un total d'environ 30 millions de m^3 dans l'ensemble des villes de la plaine de la vallée du M'zab, faisant d'importants dégâts humains et matériels (Benzahaf et Salem, 2010).

I.8.1 Comparaison entre l'état de la vallée avant et après la crue

Afin de montrer les pertes causées par l'inondation et ses effets sur les activités locales, nous avons comparé, à l'aide d'images satellites et de photos aériennes, l'état de la vallée avant et après l'inondation pour aider à révéler les différents changements survenus dans la vallée de M'zab.

On note l'élargissement du cours de la vallée de sorte que sa largeur est devenue d'environ 41m après qu'elle était de 25m avant la crue, c'est-à-dire qu'il s'est élargi de 16m, ce qui a entraîné la dégradation des terres agricoles adjacentes et l'érosion le sol comme indiqué par la flèche.



Figure 0.5: État de la vallée avant et après la crue (source : Benzahaf et Salem, 2010)

1.8.2 Dégradation des infrastructures

L'interruption des lignes de transports terrestres a également accru l'isolement des citoyens à l'intérieur des villes, tandis qu'à l'extérieur des villes, les fortes pluies et torrents torrentiels ont provoqué le confinement d'un grand nombre de voyageurs venant de l'extérieur de la wilaya, et certains se sont noyés à cause de leur tentative de couper les vallées. La circulation a été presque complètement paralysée à cause des dommages causés à certains ponts.



Figure 0.6: Dégâts causés sur les ponts le long de la vallée (source : Benzahaf et Salem, 2010)

I.9 L'inondation du 27 novembre 1927

Une partie importante de l'Oranie a été inondée dont plus de 17 communes ont subi des crues. La ville de Mohammadia et celle de Mostaganem ont subi les graves dégâts. Les autres sites de la région ont été affectés à des degrés différents.

L'année de 1927 constitue un exemple particulier sur la torrencialité des pluies dans la région. Pendant les journées du 24, 25 et 26 novembre 1927, après une longue période de sécheresse. Les habitants se sont bien trouvés en présence de précipitations d'une importance absolument imprévue et d'une étendue également sans précédent depuis l'occupation de l'Algérie (DTPCFM 1928). La pluviométrie maximale en 3 jours a atteint presque la moitié de la tranche annuelle moyenne (tableau 4.1). La pluviométrie enregistrée durant la nuit du 25 au 26 dans plusieurs stations a été près du 1/3 de la moyenne annuelle. A El Hachem (Mascara), le pluviomètre enregistre 128mm, la crue de l'oued Hadda a atteint trois mètres. A Tiaret, le pluviomètre a enregistré 76mm. A Saïda, durant le mois de novembre 200mm de pluie a été enregistré. Suite à une pluviométrie importante, en courte durée plusieurs oueds ont subi des crues importantes; à Mascara et dans la commune de Bou-Henni l'eau a atteint dans certains endroits 90cm de hauteur. Le débit de l'oued Hammam dans la commune de Hacine a atteint 3000m³ et une vitesse de 5m/s. Dans la commune d'El Hachem la crue de l'oued Haddad a atteint 3mètre de hauteur. A Relizane, oued Mina a subi une crue de 10mètres de hauteur inondant une bonne partie de la plaine (Sardou 2016).

I.9.1 Les dégâts causés dans l'ouest algérien

La wilaya de Relizane a compté plusieurs ponts détruits. Des routes ont été affaissées à Oued Rhiou, Sidi M'Hammed Ben Ali et Kalaa. A l'est de la région, oued Chlef a subi des crues importantes (fig. 3.7). Sur la route de Chlef à Ténès, la voie a été bouleversée sur près de 11km, et quatre ponts ont été emportés (Sardou 2016).

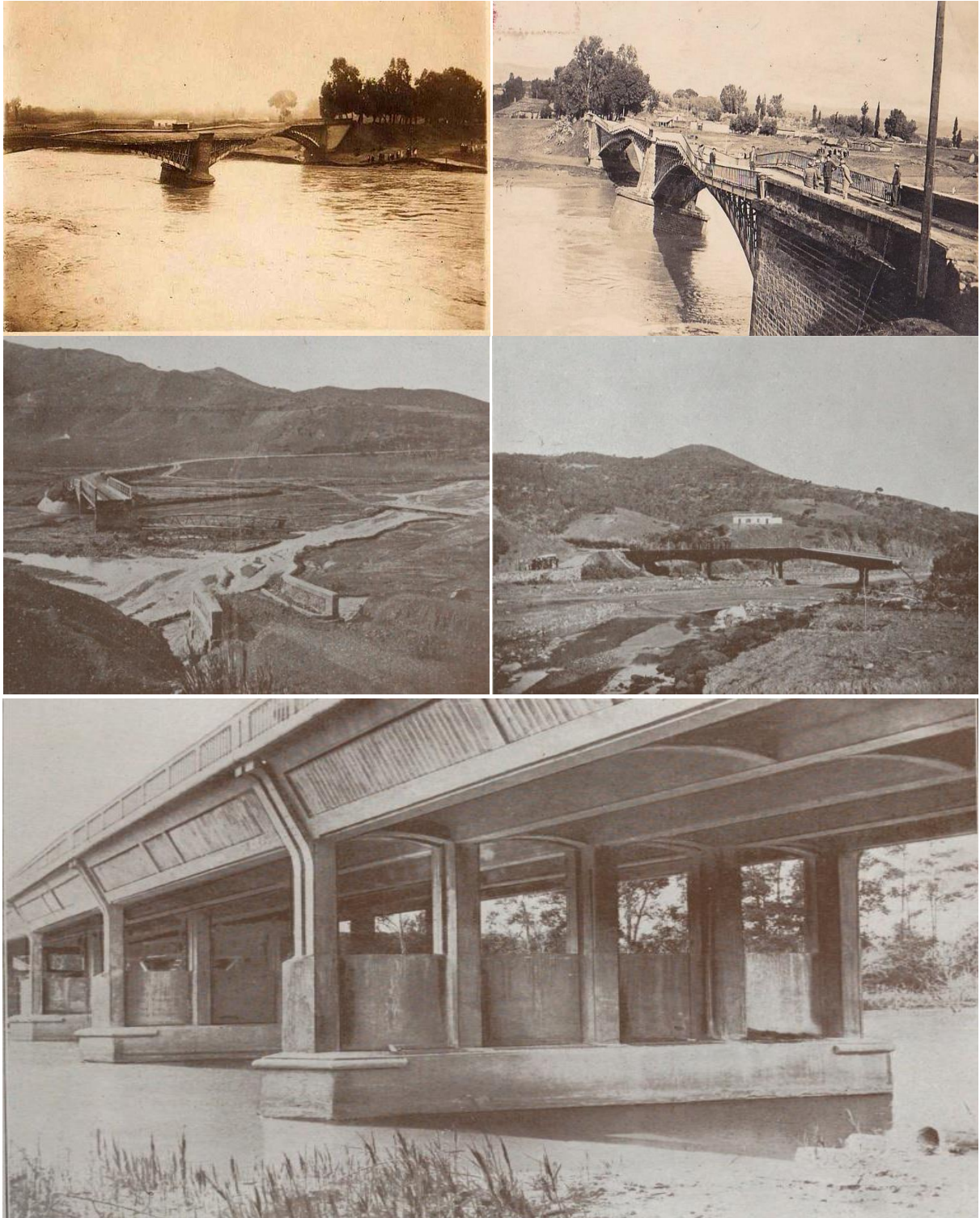


Figure 0.7: Les dégâts causés par les crues de novembre 1927 dans le centre et l'ouest Algérien : (a) et (b) la destruction du pont du Chélif par la crue, (c) Pont de oued Harbil détruit à l'est de la commune de Damous, (Tipaza), (d) affouillement des piles de pont sur oued Messelmoun (Tipaza), (e) destruction du pont sur oued Mentrache, commune de Béni Haoua (Chlef) (Source : photos d'archives).

1.9.2 Les dégâts causés dans la wilaya de Mascara

Le bassin versant de l'oued El Hammam a subi de graves dégâts, la majorité des ponts ont été détruits; le pont de Hacine, le pont des Trois rivières entre Mascara et Sidi-Bel Abbès, le pont du chemin entre Sfisef et Bouhnifia et le pont de la Guetna. Le réseau ferroviaire a été gravement endommagé. A Hacine, plusieurs ponts ont été détruits par oued El Hammam où la hauteur des eaux a atteint 2,5m dans les maisons. À Bouhanifia, plusieurs maisons ont été effondrées et la destruction de plusieurs ponts (Sardou 2016).



Figure 0.8: Les dégâts enregistrés dans la wilaya de Mascara suite aux crues de 1927 : (a) pont de la plaine d'El Habra pendant la crue avant sa destruction (b) le pont de la plaine d'El Habra détruit après la crue, (c) la destruction d'un pont à Bouhnifia, (d) le reste de la culée rive gauche du pont de Hacine, (e, f) destruction du pont d'El Guetna sur oued El Hammam (Source : photos d'archives).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré la vulnérabilité des ponts face au risque d'inondation. Plusieurs cas ont été abordés dans différentes régions du pays. Le constat fait a montré clairement que les ouvrages construits dans le passé ou ceux nouvellement construits ne sont pas à l'abri des effets des crues, ce qui nécessite une prise en charge des risques de ponts en situation des crues.

Chapitre 4
Gestion du risque des ponts

Gestion du risque des ponts

Introduction

Ce chapitre montre les différentes mesures de surveillance et dispositifs de protection à suivre pour protéger les ponts contre les effets des crues. Ces procédés et techniques diffèrent selon l'état de l'ouvrage et selon son l'environnement.

I.10 Mesures de surveillance

Les inspections des fondations des ouvrages franchissant des cours d'eau doivent être préconisées de manière systématique : quel que soit le type de sols sur lequel tout ouvrage est fondé et quelles qu'aient été les précautions constructives prises au niveau des appuis, des inspections régulières et détaillées des fondations des ouvrages sont ainsi à conduire, avec un maximum de 5 ans entre deux visites.

Plusieurs actions peuvent êtes menées dans le cadre de la surveillance d'un ouvrage d'art en site aquatique à savoir:

- La surveillance continue des fondations : observation superficielle, mais régulière, qui doit être intensifiée au moment des crues pour en relever les paramètres (cotes des lignes d'eau de part et d'autre de l'ouvrage, étendue du plan d'eau, direction des courants, etc.), puis, à la décrue, consigner les changements importants. D'autres événements (embâcles, augmentation momentanée du trafic poids lourds ou passage de convois exceptionnels, choc de bateau) doivent également s'inscrire dans cette démarche ;
- La visite annuelle de l'ouvrage à organiser en période de basses eaux pour faciliter autant que possible l'accès à ses fondations ;
- L'inspection détaillée périodique qui relève de la compétence d'une équipe spécialisée en fondations et ouvrages d'art, avec recours éventuel à une visite subaquatique et/ou un relevé bathymétrique au droit de l'ouvrage et plus particulièrement autour de ses appuis. La fréquence de ces inspections peut être augmentée par le gestionnaire, en fonction de l'état de la structure et des risques évalués ;

- L’inspection détaillée exceptionnelle des fondations, rendue nécessaire soit par l’observation de faits anormaux non élucidés lors des inspections périodiques, soit dans le cadre de modifications prévues des conditions hydrauliques ou de service de l’ouvrage, soit encore dans le souci de compléter les investigations par des moyens techniques spéciaux (dégarnissage, forages, mise à sec, etc.).

I.11 Dispositifs de protection des appuis

I.11.1 Protections des piles

I.11.1.1 Tapis d’enrochements

Les tapis d’enrochements sont les dispositifs de protection contre les affouillements locaux de piles les plus couramment employés, en raison de leur faible coût et de leur facilité de mise en œuvre. Ils s’avèrent, à l’expérience, très efficaces. En outre moyennant des inspections régulières, ils jouent un rôle d’alerte.

Pour éviter tout affouillement autour d’une pile circulaire, les dimensions du tapis à envisager sont, en plan, de l’ordre de trois fois le diamètre de la pile, ce qui correspond à l’emprise totale de la fosse d’affouillement. En épaisseur, il est suggéré de prendre la plus grande des deux valeurs suivantes : la dimension de la pile ou le triple du diamètre des enrochements (Fig. 4.1).

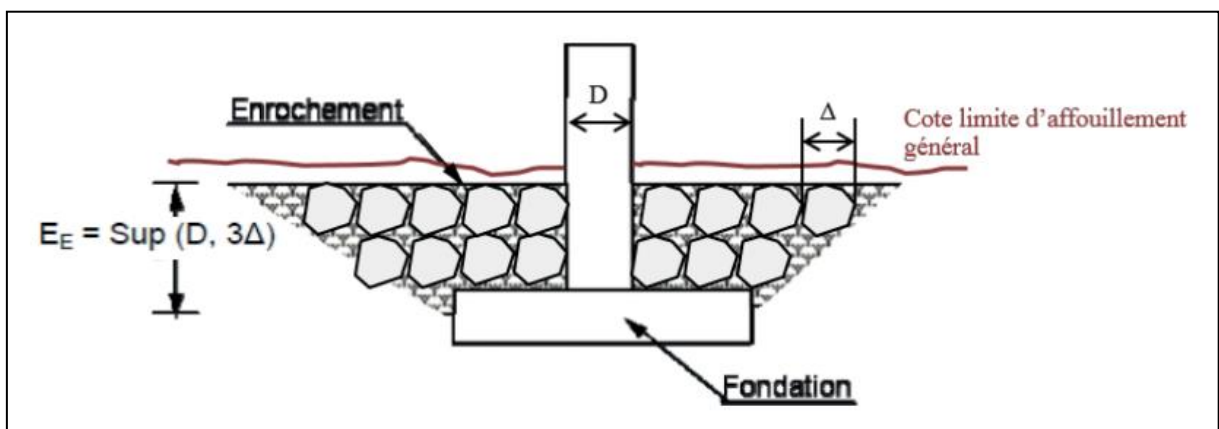


Figure 0.1: Disposition d’un tapis d’enrochements autour d’une pile de pont (Source : Cerema 2019)

I.11.1.2 Rideaux de palplanches, murs et parois moulées

La réalisation de rideaux de palplanches ou de murs en maçonnerie ou en béton permet également de protéger contre l'affouillement les appuis des ouvrages ou les berges des cours d'eau ou des canaux de navigation.

Les profils doivent être ancrés au-delà des profondeurs affouillables. En outre, dans le cas des palplanches, le niveau de recépage est à caler sous le niveau moyen des fonds. Ce type de protection peut également s'accompagner de la mise en œuvre d'enrochements au droit des piles.

En fonction des conditions géotechniques du site, le batardeau de palplanches peut éventuellement être remplacé par un batardeau constitué de micropieux jointifs scellés par du ciment et formant une barrière étanche autour des matériaux d'assise de la pile. Ces derniers sont ensuite renforcés par injection de coulis de ciment (Fig. 4.2).

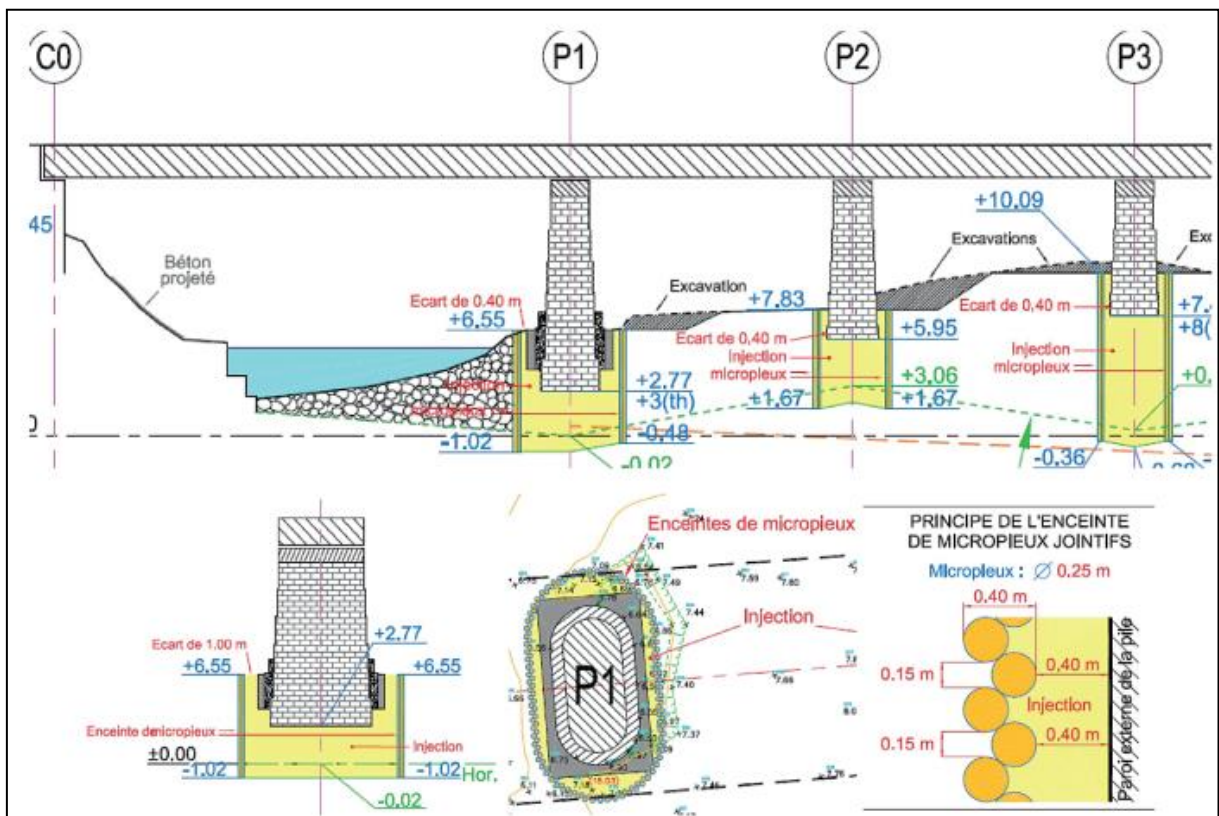


Figure 0.2: Technique de batardeau de micropieux jointifs injecté mise en œuvre sur pour le renforcement d'appuis de plusieurs ouvrages réunionnais vis-à-vis du risque affouillement (Source : Cerema 2019)

I.11.1.3 Structures additionnelles placées en amont des piles (ou pilots)

Le principe de la protection d'une pile par des îlots en amont consiste à briser le courant incident pour affaiblir le tourbillon générateur de l'érosion. Il a été observé que ce dispositif permet de réduire de 50 % les affouillements. Toutefois, le nombre de paramètres nécessaires à la conception d'un tel dispositif est important (5 paramètres, tel que présenté sur la Figure (4.3) et il n'existe actuellement aucune loi générale pour son élaboration.



Figure 0.3: Radier béton mis à nu au droit de la travée du pont (Source : Cerema 2019)

I.11.2 Protection des berges et culées

La présence des piles et culées en saillie d'un ouvrage, par effet de contraction de la surface d'écoulement, peut conduire à une augmentation significative de la vitesse du cours d'eau et par conséquent de son pouvoir d'érosion.

Dans ce cadre, il convient d'apporter une attention particulière à la stabilité des berges à l'amont et à l'aval de l'ouvrage. Pour éviter que l'érosion des berges ne mette en péril l'ouvrage et ses remblais, celles-ci devront éventuellement être consolidées.

I.11.2.1 Consolidations locales par enrochements ou parois de protection

Un revêtement en enrochement est de nature à s'adapter aux déformations des berges et aux affouillements (Fig. 4.4). Pour recevoir des enrochements, la pente des berges doit être inférieure à 3 de base pour 2 de haut (pente limite pour la sécurité au glissement). En cas de doute, il convient d'effectuer un calcul de stabilité avec hypothèse d'une décrue rapide.

La taille des enrochements à prévoir est fonction de leur masse volumique, de la géométrie de la berge et de la vitesse du courant au voisinage de l'enrochement (généralement supérieure à la vitesse moyenne dans la section d'écoulement dans les coudes). Il est préférable d'adopter une protection avec une blocométrie des enrochements étalée, pour une meilleure imbrication des blocs. Dans le cas d'enrochements libres, l'épaisseur de la couche sera prise égale à deux fois le diamètre de l'enrochement préconisé. Cette épaisseur peut être réduite dans le cas d'enrochements liés, ainsi que dans le cas de Gabions ou de matelas Reno.



Figure 0.4: Protection d'une culée par paroi moulée surmontée d'une couche d'enrochements liés disposée sur la pente de berge (Source : Cerema 2019)

I.11.2.2 Dignes et murs guide-eaux

Les murs guide-eaux peuvent être constitués par deux digues de forme arrondie, placées en amont des culées et s'y raccordant. Leur but est d'obliger l'écoulement à utiliser toute la section disponible en évitant les décollements. Les vitesses, et par conséquent les risques d'érosion, sont diminués dans la section rétrécie. Ces dispositifs présentent par ailleurs l'avantage de concentrer sans dommage dans le lit mineur une partie du débit du champ d'inondation.

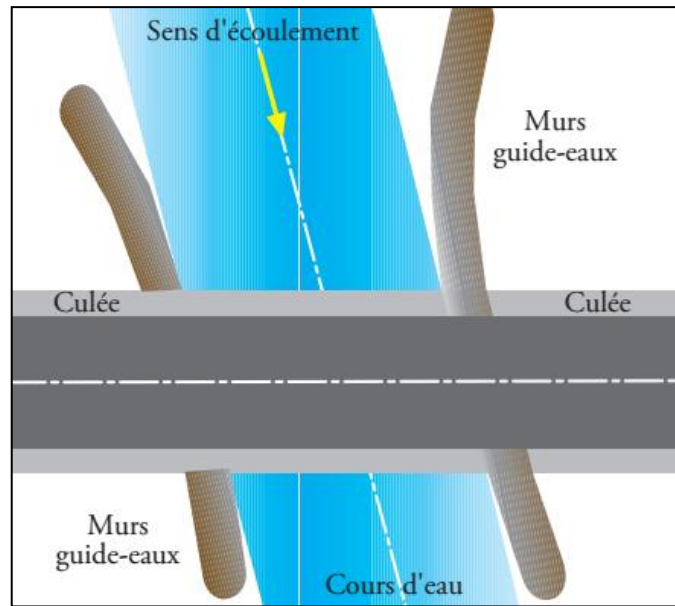


Figure 0.5: Murs guide-eaux (Source: Cerema 2019)

I.11.3 Modification des conditions hydrauliques et protections à distance

I.11.3.1 Création d'ouvrages de décharge

Une alternative à la consolidation des berges peut consister au contraire à augmenter l'ouverture de l'ouvrage pour rendre sa liberté à la rivière. Cela suppose notamment de percer le ou les remblais d'accès par la réalisation d'ouvrages de décharge (buses ou cadres).

I.11.3.2 Épis

Les épis sont des structures « anti-hydrauliques » implantées en travers du lit pour gêner l'écoulement fluvial : soit pour détourner le courant de sa trajectoire naturelle, soit pour perturber le transit alluvial, en obligeant la charge grossière à se déposer (pour reconstituer une berge érodée par exemple).

Les épis peuvent être associés à des protections longitudinales si la configuration du profil en travers le nécessite. Ils représentent des obstacles à l'écoulement normal et sont, par là même, fragiles, d'autant plus qu'ils doivent également résister aux propres perturbations qu'ils provoquent. Ce sont donc, en principe, des ouvrages réputés déformables et de durée de vie limitée.

I.11.3.3 Seuils et perrés

Pour les cours d'eau qui présentent une tendance prévisible à l'abaissement du profil en long du fond du lit mineur, la mise en place de seuils en enrochements libres ou liés au béton en aval des appuis des ouvrages peut permettre, par la réduction locale de la pente et des vitesses d'écoulement, de stabiliser ce profil en long dans le périmètre de l'ouvrage.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les procédures de protection des ponts contre les aléas probables suite aux effets des crues et inondations. Une focalisation a été faite sur les mesures de surveillance et sur les différents dispositifs de protection des appuis. Il s'est avéré que ces procédures de protection demeurent primordiales pour assurer la sécurité de l'ouvrage.

Conclusion générale

Le but de notre travail est de mettre en lumière la vulnérabilité des ponts face au phénomène d'inondation avec une prise en compte certains cas Algériens. L'étude a été basée sur une recherche bibliographique sur différents aspects ; à savoir les inondations entant que risque et phénomène naturel, ainsi que, sur le comportement des ponts en situations des crues. Plusieurs sources d'informations ont été exploitées afin de donner des exemples concrets sur la thématique de recherche.

L'étude a montré les effets négatifs des crues sur les ponts à court terme à travers l'effondrement immédiats des ouvrages, et aussi les effets à long terme, tel que l'aléa affouillement. De nombreux ponts franchissant des rivières peuvent êtres fortement endommagés suite aux différents phénomènes tels que l'affouillement, ce qui peuvent mettre à nu les fondations et déstabiliser l'ouvrage. Nous avons pu montrer que, les crues amplifient ce phénomène, auquel beaucoup de ponts existants sont sensibles.

De ce fait, il s'est avéré que, la bonne gestion d'un patrimoine d'ouvrages d'art vulnérables aux crues et inondations repose sur des actions de surveillance tout au long de leur durée d'utilisation, diagnostiqués, et faire l'objet d'un entretien régulier. C'est pour cela qu'il est nécessaire des mettre en place des méthodes d'analyse des risques des ponts, de manière à permettre au gestionnaire de mieux appréhender ces risques, particulièrement vis-à-vis de la sécurité des usagers de la route.

Bibliographie

- Aït Taleb R, Benniche F (2015)** Etude des fondations d'un pont cas de l'ouvrage d'art du PK 8+612 de Douar Belgaide-el Kerma, sur la deuxième rocade du sud d'Oran. Mémoire de master, Université de Bejaia, 128 p.
- Benzahaf D, Salem K (2010)** Etude de l'impact de la vallée du M'zab sur son environnement, wilaya de Ghardaïa. Mémoire d'ingénieur, Université d'Oran, 129 p.
- Boudia N (2018)** Vulnérabilité des ouvrages d'art au risque d'affouillement des fondations. Vibrations. Thèse de doctorat. Université Paris Est, 193 p.
- Bourrelie P-H (1997)**, La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation, Paris. La Documentation Française, 702 p.
- Cerema**, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (2019) Analyse de risque des ponts en site affouillable. Guide méthodologique, Collection : Références. 96 p.
- Degoutte (2012)** Diagnostic, aménagement et gestion des rivières ; Hydraulique et morphologie fluviales appliquées, éditions Lavoisier, p 57.
- Djebali K (2015)** Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (W. Ain Defla). Mémoire de master, ENSH, 112 p.
- Ducrocq V (2006)** Crues rapides dans le midi de la France. Pour la sci., 51, 82-85
- Gilard O (1998)** Les bases techniques de la méthode Inondabilité, édition du Cemagref, 1998, 207 p.
- Halilou M A (2011)** Historique et impact des inondations de l'oued Béchar dans la ville de Béchar. Mémoire d'ingénieur, Université d'Oran, 97 p.
- Ledoux (2006)** La gestion du risque inondation, édition tec et doc.
- Merabet A (2006)** Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbès contre les inondations, Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes de Sidi Bel Abbès.
- Salomon J-N (1997)** L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaire de Bordeaux, Collection « Scieteren », France, 135 p.

Sardou M (2016) contribution a la cartographie du risque d'inondation en Algérie : cas de l'ouest algérien. Thèse de doctorat, université de Mostaganem, 143 p.

Simona N, Cedric L (2007) Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). Dans : 1^{ères} Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains, 6-9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p

Sites web

<http://www.prime.net/>

<https://www.cypres.org/Default/presentation-des-risques-majeurs.aspx>

<https://www.eaufrance.fr/>

<https://www.sdea.fr/>

<https://www.futura-sciences.com/>

<http://www.vaucluse.gouv.fr/>

<https://www.bandedriveraines.quebec/>

<http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

<https://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-generalites-sur-le-pont-1122.html>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_\(pont\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_(pont))

<http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD1011/bei/beiere/groupe2/node/137>

<https://www.usgs.gov/>

https://twitter.com/aqc_fr/status/861846835790524416?lang=hu

Annexe

Terminologie du pont

Tablier : C'est le platelage (dalle) où circulent les véhicules ;

Poutres principales (maîtresse) : Ce sont les poutres de pont dans le sens de la circulation ;

Entretoises : Ce sont des poutres transversales d'un pont, c'est à dire perpendiculaires aux poutres principales et ont pour rôle d'éviter le basculement ;

Longrines ou longerons : Ce sont des poutres longitudinales qui s'appuient sur l'entretoise ;

Contreventements : Ce sont des poutres diagonales servant à reprendre les efforts verticaux dus à la charge permanente, au train de charge et les efforts horizontaux dus au freinage, à la variation de la température et les transmettent à la fondation ;

Culées : Appuis extrêmes du pont dont le rôle est de retenir les terres et de transmettre les charges à la semelle dans le bon sol ;

Piles : Appuis intermédiaire du pont ;

Appuis : Ce sont les supports sur lesquels repose le tablier ;

Appareils d'appuis : Ce sont des éléments du pont placés entre le tablier et les appuis, dont le rôle est de transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitations, routières ou ferroviaires, et de permettre des mouvements de rotation ou de translation ;

Joint de dilatation : Ouverture (espace) servant à la dilatation de la structure ;

Dos d'âne : Bosse en béton armé permettant la diminution de la vitesse du véhicule ;

Dalle flottante : C'est une dalle de transition construite avant d'accéder sur le pont pour éviter les affaissements devant le pont ;

Travée : C'est la partie du pont située entre deux appuis successifs ;

Portée : C'est la distance entre axe de deux appuis successifs ;

Ouverture : C'est la distance entre nu de deux appuis ;

Gabarit : C'est la section géométrique nécessaire pour le passage qu'il faut laisser au-dessus et en dessous du pont. Elle est de 5 m ;

Voûte : Pont en maçonnerie en forme d'un arc ;

Lit mineur : Largeur du niveau des plus basses des eaux (P.B.E), le niveau le plus connu ;

Affouillement : C'est l'érosion sous-marine ;

Pieux : Colonne en béton ou en métal servant à reporter les efforts du pont sur le bon sol;

Couche de revêtement : La dernière couche posée sur notre pont-route ;

Garde-corps : C'est un dispositif de sécurité bordant les ouvrages (ponts) sur sa longueur essentiellement pour assurer la sécurité des circulations.