

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

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



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/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Année universitaire : 2021 / 2022

Filière : Travaux publics

Spécialité : Voie et ouvrage d'art

### *Thème*

**Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta  
(Mostaganem) face aux inondations**

Présenté par:

Mlle. BENRABAH Fairouz

Mlle. AMARA Ikram

***Soutenu publiquement le 07/07/2022 devant le jury composé de :***

|                    |     |                          |              |
|--------------------|-----|--------------------------|--------------|
| Mr. ZELMAT Yassine | MAA | Université de Mostaganem | Président    |
| Mme. Hadjij Ilhem  | MCB | Université de Mostaganem | Examinatrice |
| Mr. SARDOU Miloud  | MCA | Université de Mostaganem | Encadrant    |



## 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 travaux publics (2021/2022)*

# Résumé

Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus dévastatrices. Le territoire algérien est exposé aux phénomènes de crues fréquentes, qui causent souvent des dégâts humains et matériels importants. Le régime pluviométrique en Algérie est irrégulier, allant de la sécheresse aux pluies abondantes. Les inondations sont causées par la montée des eaux dans les oueds, qui affectent les agglomérations, endommagent les biens, détruisent les structures, et isolent les communautés. Le but de ce travail est de mettre en évidence la vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face au risque d'inondation tout en prenant en considération quelques cas algériens. L'étude s'est appuyée sur une recherche bibliographique sur l'inondation en tant que risque naturel et son effet sur les biens.

**Mots clés :** Inondations, vulnérabilité, Hchachta, Mostaganem, Algérie

## Abstract

Floods are among the most devastating natural disasters. Algerian territory is exposed to frequent flooding phenomena, which often cause significant human and material damage. The rainfall pattern in Algeria is irregular, ranging from drought to heavy rains. Floods are caused by rising waters in wadis, which affect agglomerations, damage houses, destroy structures, and isolate communities. The aim of this work is to highlight the vulnerability of agglomerations to the risk of flooding while taking into consideration some Algerian cases. The study was based on a literature search on flooding as a natural hazard and its effect on agglomerations.

**Keywords:** Floods, vulnerability, Hchachta, Mostaganem, Algeria.

## ملخص

تعد الفيضانات من أكثر الكوارث الطبيعية تدميراً. المجال الجزائري معرض لظواهر الفيضانات المتكررة والتي تسبب في كثير من الأحيان أضرار بشرية ومادية كبيرة. نظام هطول الأمطار في الجزائر غير منتظم حيث يتراوح من الجفاف إلى الأمطار الغزيرة. تنتج الفيضانات جراء ارتفاع منسوب المياه في الوديان، مما يؤثر على التجمعات السكانية، ويتلف الممتلكات، ويدمر المباني، ويعزل التجمعات. الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على قابلية تعرض التجمعات السكانية لخطر الفيضانات مع الأخذ في الاعتبار بعض الحالات الجزائرية. اعتمدت الدراسة على بحث ببيوغرافي عن الفيضانات كخطر طبيعي وتأثيرها على التجمعات السكانية.

الكلمات المفتاحية: فيضانات، هشاشة، حشاشة، مستغانم، الجزائر

# Table des matières

|  |            |
|--|------------|
| <b>Remerciements</b> .....   | <b>III</b> |
| <b>Dédicace</b> .....  | <b>IV</b>  |
| <b>Résumé</b> .....  | <b>V</b>   |
| <b>Abstract</b> .....  | <b>V</b>   |
| ملخص .....   | <b>V</b>   |
| <b>Table des matières</b> .....  | <b>VI</b>  |
| <b>Table des figures</b> .....   | <b>IX</b>  |
| <b>Introduction générale</b> .....   | <b>11</b>  |
| <b>I. Notions générales sur les inondations</b> .....                          | <b>14</b>  |
| Introduction .....   | 14         |
| I.1 Définitions .....  | 14         |
| I.1.1 Aléa .....   | 14         |
| I.1.2 Vulnérabilité.....   | 15         |
| I.1.3 Les enjeux : .....   | 16         |
| I.1.4 Le risque d'inondation.....  | 16         |
| I.2 Types d'inondations .....  | 17         |
| I.2.1 Inondations de plaine .....  | 17         |
| I.2.2 Inondations par remontées des nappes phréatiques.....                    | 17         |
| I.2.3 Inondations par crues torrentielles .....                                | 18         |
| I.2.4 Inondations par ruissellement en secteur urbain.....                     | 19         |
| I.2.5 Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle .....                     | 19         |
| I.2.6 Inondations marines .....  | 20         |
| I.3 Les caractéristiques de l'aléa inondation .....                            | 21         |
| I.4 Les facteurs augmentant les effets des inondations .....                   | 21         |
| a) L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables..... | 21         |
| b) La diminution des champs d'expansion des crues.....                         | 21         |
| c) L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau .....                       | 22         |
| d) La défaillance des dispositifs de protection .....                          | 22         |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| e)          | L'utilisation ou l'occupation des sols Sur les pentes des bassins versants ..... | 22        |
| I.5         | Genèse des inondations .....   | 23        |
|             | Les causes :.....  | 23        |
| I.6         | Les conséquences des inondations.....  | 24        |
|             | Conclusion.....  | 25        |
| <b>II.</b>  | <b>Les Infrastructures hydrauliques et l'aléa d'inondation .....</b>             | <b>27</b> |
|             | Introduction .....   | 27        |
| II.1        | Définition .....   | 27        |
| II.2        | Types de barrages hydrauliques .....   | 28        |
| II.2.1      | Le Barrage-voûte.....  | 28        |
| II.2.2      | Le barrage-poids .....   | 29        |
| II.2.3      | Le barrage hydraulique à contreforts .....                                       | 30        |
| II.2.4      | La digue.....  | 31        |
| II.3        | Les différents types de canaux d'évacuation .....                                | 31        |
| II.3.1      | Le canal de d'évacuation direct.....   | 32        |
| II.3.2      | Le canal d'évacuation court .....  | 33        |
| II.3.3      | Le canal d'évacuation long .....   | 33        |
| II.4        | La vulnérabilité face aux inondations .....                                      | 34        |
| II.4.1      | Le risque de rupture des barrages.....   | 34        |
| II.4.2      | Mécanismes de rupture des barrages .....   | 34        |
| •           | Rupture instantanée ou graduelle .....   | 34        |
| •           | Rupture par renard.....  | 35        |
| •           | Rupture par glissement .....   | 36        |
| •           | Rupture par surverse.....  | 36        |
| •           | Rupture de petit barrage d'accumulation.....                                     | 37        |
|             | Conclusion.....  | 37        |
| <b>III.</b> | <b>Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face aux inondations.....</b>    | <b>40</b> |
|             | Introduction .....   | 40        |
| III.1       | Les inondations d'Oran .....   | 40        |
| III.2       | L'inondation du 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa) .....                          | 41        |
| III.2.1     | L'inondation de Béchar .....   | 42        |
| III.3       | L'inondation d'Adrar .....   | 44        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| III.4      | L'inondation du 08/09/2015 à Djelfa.....   | 45        |
| III.5      | Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face aux inondations.....                             | 46        |
| III.5.1    | Présentation de l'agglomération de Hchachta .....  | 47        |
|            | Géographie.....  | 47        |
|            | Historique.....  | 48        |
|            | Démographie.....   | 49        |
| III.5.2    | Les inondations historiques .....  | 49        |
| a.         | Les inondations de janvier 2014.....   | 49        |
| b.         | Les inondations de janvier 2017 .....  | 49        |
| c.         | Les inondations de février 2018 .....  | 51        |
|            | Conclusion.....  | 51        |
| <b>IV.</b> | <b>Prévention et protection contre les inondations .....</b>                                       | <b>53</b> |
|            | Introduction .....   | 53        |
| IV.1       | Aperçu .....   | 53        |
| IV.2       | Les mesures de prévention contre les inondations.....  | 54        |
| IV.2.1     | Moyens de réponse humaine aux dangers des inondations et aux<br>catastrophes qui en découlent..... | 54        |
| IV.2.2     | Risques et aménagement du territoire - Réduction de la vulnérabilité .....                         | 55        |
| IV.2.3     | À quoi sert un Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi) ? .....                              | 56        |
| IV.2.4     | Les objectifs des PPRi .....   | 57        |
| IV.3       | Expériences mondiales pour réduire le risque d'inondations.....                                    | 57        |
| IV.3.1     | L'expérience du gouvernorat Oman de Mascate .....  | 58        |
| IV.3.2     | L'expérience de la République Populaire de la Chine .....  | 59        |
| IV.3.3     | L'expérience de la ville de Tokyo au Japon.....  | 60        |
| IV.4       | QU'est-ce que la protection contre les inondations ? .....   | 62        |
| IV.5       | Surélévation des bâtiments.....  | 66        |
| IV.6       | Les mesures de protection contre les inondations.....  | 66        |
| IV.7       | Caractéristiques du dispositif de lutte contre l'inondation de l'agglomération .                   | 67        |
|            | Conclusion.....  | 68        |
|            | <b>Conclusion générale .....</b>   | <b>69</b> |
|            | <b>Bibliographie .....</b>   | <b>70</b> |

# Table des figures

Figure I.1 : schéma sur l'aléa

Figure I.2 : schéma sur la vulnérabilité

Figure I.3 : schéma sur l'enjeu

Figure I.4 : schéma du risque inondation

Figure I.5 : inondation de plaine, (a) schéma de l'inondation de plaine, (b) l'inondation de plaine de la région SAINT-MARCEL-SUR-AUDE du 15/10/2018

Figure I.6 : Inondations par remontées des nappes phréatiques, (a) schéma de l'inondation par remontées des nappes phréatiques, (b) inondations par remontées des nappes phréatiques de la région Diebolsheim en France du 17/07/2021

Figure I.7 : Inondations par crues torrentielles, (a) schéma de l'inondation par crues torrentielles, (b) inondation par crues torrentielles de la région occitanie dans le Tarn de l'octobre 1999

Figure I.8 : Inondations par ruissellement en secteur urbain, (a) schéma de l'inondation par ruissellement en secteur urbain, (b) inondation par ruissellement en secteur urbain de la région Étreaux en France du juin 2007

Figure I.9 : Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle, (a) schéma de l'inondation par rupture d'ouvrage ou d'embâcle, (b) rupture du barrage de Malpasset de la région Fréjus en France du 02/12/1959

Figure I.10 : schéma de l'inondation marine

Figure I.11 : Schéma sur variables définissant la hauteur de submersion

Figure I.12 : Schéma sur les zones d'expansion de crue

Figure I.13 : schéma sur le bassin versant et son complexe

Figure I.14 : pollution des nappes d'eau souterraines

Figure I.15 : Prévention des dégâts des eaux dus à une rupture de canalisation ou d'une installation à circulation d'eau

Figure II.1 : barrage hydraulique

Figure II.2 : Barrage-voûte, (a) schéma Coupe type d'un barrage-voûte, (b) le Barrage-voûte de Moiry, des Forces Motrices de la Gougra

Figure II.3 : le barrage-poids, (a) schéma de Coupe type d'un barrage poids, (b) Barrage-poids de Grande Dixence

Figure II.4 : Le barrage à contreforts, (a) schéma Coupe type d'un barrage à contreforts, (b) Barrage à contreforts de Lucendro, Aare-Tessin

Figure II.5 : La digue, (a) schéma Coupe type d'une digue, (b) Digue en terre de Göschenalp, des Forces Motrices de Göschenen

Figure II.6 : canaux d'évacuation

Figure II.7 : le canal de d'évacuation

Figure II.8: le canal de d'évacuation court

Figure II.9 : les différents canaux de d'évacuation

Figure II.10 : infrastructure routière

Figure II.11 : route départementale du sud de la France

Figure II.12 : Routes à chaussées séparées

Figure II.13: autoroute

Figure II.14 : route à accès réglementé

Figure II.15 : route nationale

Figure II.16 : Route départementale

Figure II.17 : Route communale

Figure II.18 : infrastructure bâtiment

Figure II.19: bâtiments

Figure II.20 : bâtiment public

Figure II.21 : centre commercial

Figure II.22 : Hôpitaux

Figure II.23 : Hôtels

Figure II.24 : Résidentiels

Figure V.1 : Mise en place de 4 barrages de protection contre les risques d'inondation au Sultanat d'Oman

Figure V.2 : systèmes d'alertes inondations

Figure V.3 : Vue intérieure du réservoir d'eau courante, Le réservoir peut contenir 540 000 tonnes d'eau de crue

Figure V.4 : Le panneau de commande central du bâtiment d'approvisionnement en eau de Zenbukuji, préfecture de Tokyo

Figure V.5 : Avant la mise en place du réservoir, la rivière Kanda débordait des deux côtés, comme sur cette photo prise en septembre 1982

Figure V.6 : Surélévation des bâtiments

# Introduction générale

L'inondation est une submersion temporaire par l'eau, de terres qui ne sont pas submergées en temps normal, quelle qu'en soit l'origine. [1]

L'expression recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eaux intermittents méditerranéens, aux remontées de nappe, aux ruissellements urbains et agricoles ainsi que les submersions marines au-delà des limites du rivage de la mer. [1]

En raison de la révolution industrielle continue et de l'explosion démographique, la demande d'industrialisation et de surfaces habitables ne cesse de croître. Pour soutenir le développement économique, les aménageurs doivent rendre praticables de nouvelles terres et progresser de plus en plus dans le domaine naturel, tout en gardant à l'esprit un autre besoin social, celui de la sécurité des biens et des personnes. Ces deux problèmes ont généré de nombreux conflits d'intérêts, et le résultat est souvent le préjudice du deuxième intérêt plutôt que du premier conflit d'intérêts. [2]

Évidemment, le problème actuel est de savoir comment vivre dans des zones menacées par les inondations. Et comment faire face à ses risques, ou du moins les éviter avec un minimum de pertes [2].

Pour répondre à ces questions. Nous devons d'abord comprendre les inondations, comment elles se forment et quels sont leurs risques afin de pouvoir trouver des solutions pour y faire face comme un phénomène normal [2].

Chapitre 01: intitulé notions générales sur les inondations, ce chapitre aborde des notions générales sur l'inondation comme aléa naturel avec une présentation des éléments générateurs de ce phénomène.

Chapitre 02: intitulé les infrastructures hydrauliques et l'aléa inondation. Il aborde des connaissances essentielles sur les infrastructures hydrauliques, ensuite il montre les différents risques probables sur ces infrastructures.

Chapitre 03: intitulé Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face aux inondations, ce chapitre vise à l'étude de l'effet des inondations sur les agglomérations avec une prise en compte de quelques exemples en Algérie et l'exemple de Hchachta en particulier.

Chapitre 04: intitulé prévention et protection contre les inondations, ce chapitre montre les mesures et les dispositifs de prévention et de protection des bâtiments face aux impacts des inondations.

# **Chapitre 1**

## **Notions générales sur les inondations**

# I. Notions générales sur les inondations

---

## Introduction

Avant d'être considérée comme un risque, l'inondation désigne le phénomène naturel de submersion d'espaces habituellement hors-d' eau. Elle est engendrée par des précipitations intenses et peut se manifester différemment selon s'il s'agit : des crues d'un cours d'eau, de ruissellements de versants, de remontées de nappes... Le risque inondation, lui, peut être abordé comme étant l'exposition d'enjeux humains à ces aléas naturels. [3].

Ce chapitre aborde des notions générales sur l'inondation comme aléa naturel avec une présentation des éléments générateurs, sa typologie, en plus aux notions liées aux cours d'eau.

## I.1 Définitions

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 anecdotique. [4]

### I.1.1 Aléa

Gilard (1998) lie l'inondation au sens d'aléa au phénomène physique. 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. [5]

Les principaux paramètres nécessaires pour évaluer l'aléa sont :

- La période de retour des crues ;
- La vitesse d'écoulement ;
- La torrentialité du cours d'eau



Figure I.1: schéma sur l'aléa <sup>1</sup>

### I.1.2 Vulnérabilité

Vulnérabilité est un des termes les plus difficiles à définir, en matière de gestion des Inondations. Sur le site prim.net, la vulnérabilité est définie comme la plus ou moins grande capacité de l'enjeu à résister à l'aléa. Cependant, il existe de nombreuses autres définitions. [7]

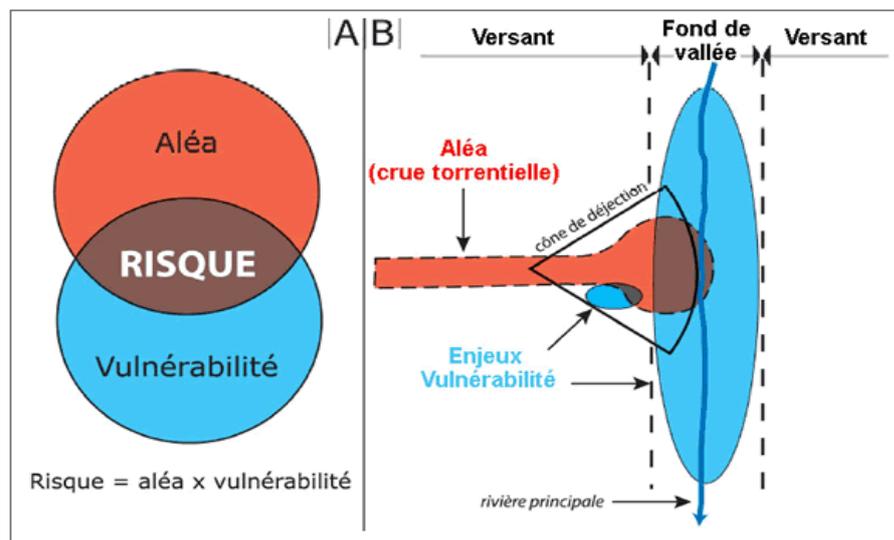


Figure I.2 : schéma sur la vulnérabilité <sup>2</sup>

<sup>1</sup>

<https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>

<sup>2</sup> [https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/0/ressources/images/fig0\\_intro\\_up1.gif](https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/0/ressources/images/fig0_intro_up1.gif)

### I.1.3 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 biens. [7]



Figure I 3 : schéma sur l'enjeu<sup>3</sup>

### I.1.4 Le risque d'inondation

Le risque d'inondation correspond à la confrontation en un même lieu géographique d'un aléa (une inondation potentiellement dangereuse) avec des enjeux (humains, économiques, ou environnementaux) susceptibles de subir des dommages ou des préjudices. [10]



Figure I.4: schéma du risque inondation<sup>4</sup>

<sup>3</sup><https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>

<sup>4</sup><https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>

## I.2 Types d'inondations

En fonction de l'événement créateur de la catastrophe, on peut distinguer plusieurs types d'inondation.

### I.2.1 Inondations de plaine

La rivière sort de son lit lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. [1]

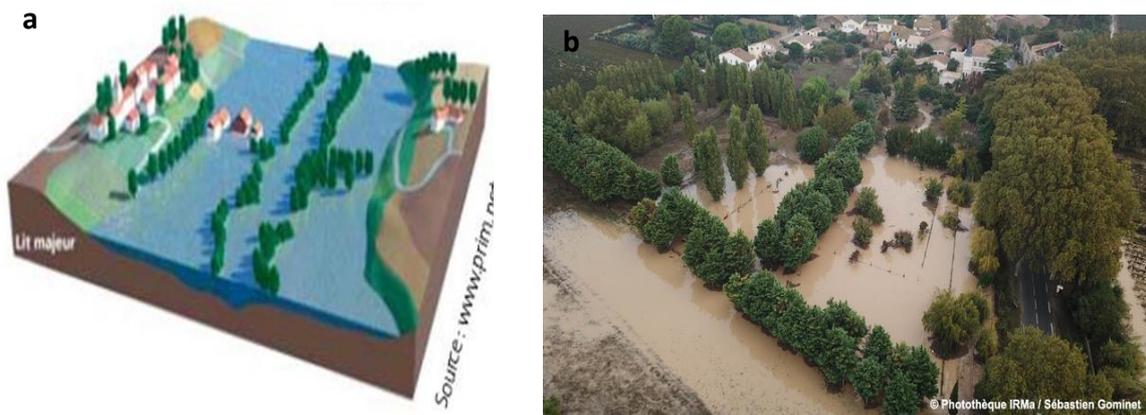


Figure I.5 : inondation de plaine, (a) schéma de l'inondation de plaine, (b) l'inondation de plaine de la région SAINT-MARCEL-SUR-AUDE du 15/10/2018<sup>5</sup> <sup>6</sup>

### I.2.2 Inondations par remontées des nappes phréatiques

Lorsque plusieurs années humides se succèdent, le niveau d'étiage de la nappe peut devenir plus haut chaque année ; la recharge naturelle annuelle de la nappe par les pluies est plus importante que sa vidange vers les exutoires naturels.

Le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol. La zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau au moment de la nappe : c'est l'inondation par remontée de nappe. Ce phénomène très lent peut durer plusieurs mois. [1]

5

[https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/debordement/DT\\_inondation1.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/debordement/DT_inondation1.jpg)

<sup>6</sup> [http://www.irma-grenoble.com/photos/st-marcel-sur-aude/351w001EP\\_inondation-oct-2018/351w023EP.jpg](http://www.irma-grenoble.com/photos/st-marcel-sur-aude/351w001EP_inondation-oct-2018/351w023EP.jpg)



Figure I.6 : Inondations par remontées des nappes phréatiques, (a) schéma de l'inondation par remontées des nappes phréatiques, (b) inondations par remontées des nappes phréatiques de la région Diebolsheim en France du 17/07/2021<sup>7 8</sup>

### I.2.3 Inondations par crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses tombent sur un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, entraînant des crues brutales et violentes dans les torrents et les rivières torrentielles. Le lit du cours d'eau est général rapidement colmaté par des barrages que peuvent former le dépôt de sédiments et des bois morts. Lorsqu'ils cèdent, ces barrages libèrent une énorme vague, qui peut être mortelle. [1]



Figure I.7 : Inondations par crues torrentielles, (a) schéma de l'inondation par crues torrentielles, (b) inondation par crues torrentielles de la région occitanie dans le Tarn du octobre 1999<sup>9 10</sup>

<sup>7</sup> [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/2020\\_remontee15.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg)

<sup>8</sup> [https://cdn-s-www.dna.fr/images/CABE49BA-C2CE-45CB-B373-DE55F96BD198/NW\\_detail/un-batiment-de-la-cite-edf-a-diebolsheim-photo-dna-valerie-wackenheim-1626512242.jpg](https://cdn-s-www.dna.fr/images/CABE49BA-C2CE-45CB-B373-DE55F96BD198/NW_detail/un-batiment-de-la-cite-edf-a-diebolsheim-photo-dna-valerie-wackenheim-1626512242.jpg)

<sup>9</sup> [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/2020\\_remontee15.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg)

### I.2.4 Inondations par ruissellement en secteur urbain

Le ruissellement concentré organisé en rigoles ou ravines parallèles le long de la plus grande pente. Il commence à éroder et peut marquer temporairement sa trace sur le versant.

L'imperméabilisation du sol (bâtiment, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. [1]

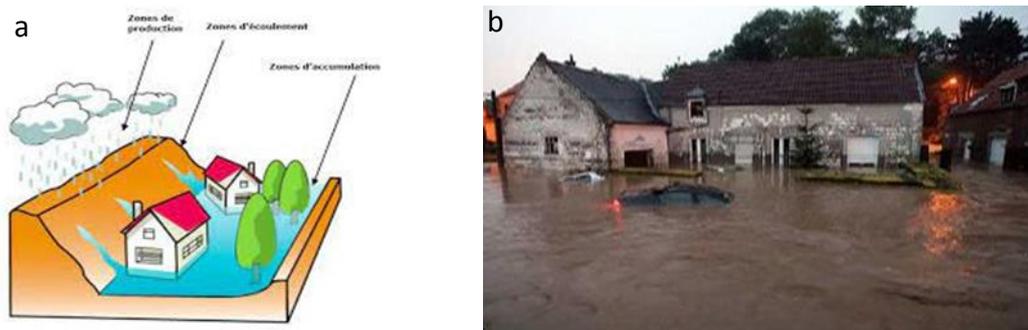


Figure I.8 : Inondations par ruissellement en secteur urbain, (a) schéma de l'inondation par ruissellement en secteur urbain, (b) inondation par ruissellement en secteur urbain de la région Étreux en France du juin 2007 <sup>11 12</sup>

### I.2.5 Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle

Dans le cas des barrages et des rivières, des inondations peuvent survenir soudainement en raison de débordements au-dessus des barrages ou de la rupture des barrages.

Ce phénomène peut être très cruel, et plus le barrage est proche, plus il est destructeur. Par conséquent, le fait qu'il se trouve derrière l'ouvrage de protection pour une taille de niveau de crue donnée augmente le seuil de risque en cas de destruction ou de dépassement de ce dernier. Les zones où il n'y a généralement pas d'eau peuvent être soudainement inondées. [1]

<sup>10</sup> <https://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9900/travaux/optsee/bei/g13/inondat2.gif>

<sup>11</sup> [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/2020\\_remontee15.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg)

<sup>12</sup> [https://www.nord.gouv.fr/var/ezwebin\\_site/storage/images/media/images/etreux-inondation-de-juin-2007-c-ddtm/92743-1-fre-FR/Etreux-inondation-de-juin-2007-C-DDTM.jpg](https://www.nord.gouv.fr/var/ezwebin_site/storage/images/media/images/etreux-inondation-de-juin-2007-c-ddtm/92743-1-fre-FR/Etreux-inondation-de-juin-2007-C-DDTM.jpg)

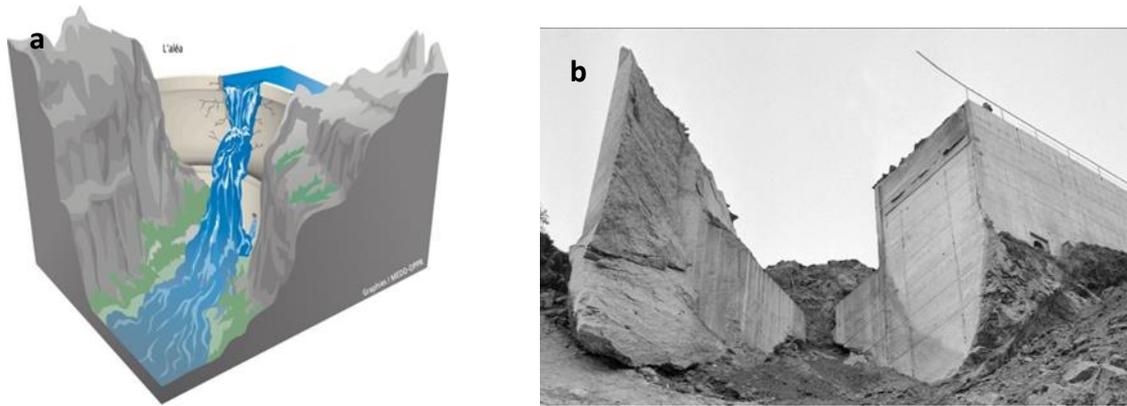


Figure I.9 : Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle, (a) schéma de l'inondation par rupture d'ouvrage ou d'embâcle, (b) rupture du barrage de Malpasset de la région Fréjus en France du 02/12/1959<sup>13 14</sup>

### I.2.6 Inondations marines

Les inondations marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer à l'occasion de conditions météorologique et océaniques défavorables (basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux agissant, au moment d'une pleine mer) ; elles peuvent durer de quelques heures à plusieurs jours.

Trois modes de submersion marine sont distingués :

- Submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel.
- Submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsque, après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote de crête des ouvrages ou du terrain naturel.
- Submersion par rupture du système de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin :

Défaillance d'un ouvrage de protection ou formation de brèche dans cordon naturel, suite à l'attaque de houle (énergie libérée pendant le déferlement), au mauvais entretien d'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, au phénomène de surverse, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc. [1]

<sup>13</sup> [https://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/03/4.2-sch\\_aer\\_alea.jpg](https://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/03/4.2-sch_aer_alea.jpg)

<sup>14</sup> <https://france3>

[regions.francetvinfo.fr/image/oVDLcL3xofOAqZBb7HskPBTdhkl/930x620//filters:format\(webp\)/regions/2020/06/09/5edf8c114be16\\_000\\_app1999100536214-4527193.jpg](https://regions.francetvinfo.fr/image/oVDLcL3xofOAqZBb7HskPBTdhkl/930x620//filters:format(webp)/regions/2020/06/09/5edf8c114be16_000_app1999100536214-4527193.jpg)



Figure I.10 : schéma de l'inondation marine <sup>15</sup>

### I.3 Les caractéristiques de l'aléa inondation

L'aléa inondation est défini par une occurrence et une intensité donnée. Il est souvent caractérisé par : la hauteur de submersion, la vitesse d'écoulement et la durée de submersion. [19]

### I.4 Les facteurs augmentant les effets des inondations

#### a) L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène.

En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité). [19]

#### b) La diminution des champs d'expansion des crues

Consécutives à l'urbanisation et parfois aggravées par l'édification de digues ou de remblais, elles ont pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau. [19]

<sup>15</sup> [https://www.pas-de-calais.gouv.fr/var/ezwebin\\_site/storage/images/media/images/submersion2/152819-1-fre-FR/submersion.png](https://www.pas-de-calais.gouv.fr/var/ezwebin_site/storage/images/media/images/submersion2/152819-1-fre-FR/submersion.png)

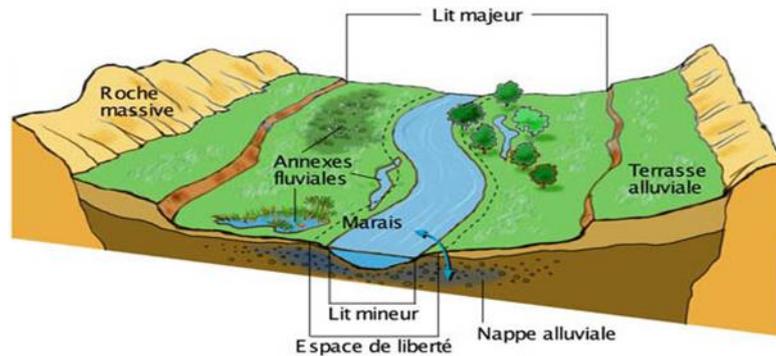


Figure I.12 : Schéma sur les zones d'expansion de crue 16

### c) L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel. [19]

### d) La défaillance des dispositifs de protection

Le rôle des dispositifs de protection (digues, déversoirs) peut être limité. Leur mauvaise utilisation et leur manque d'entretien peuvent parfois exposer davantage la plaine alluviale que si elle n'était pas protégée. [19]

### e) L'utilisation ou l'occupation des sols Sur les pentes des bassins versants

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux. [19]

<sup>16</sup> <https://www.cobahma.fr/images/f.jpg>

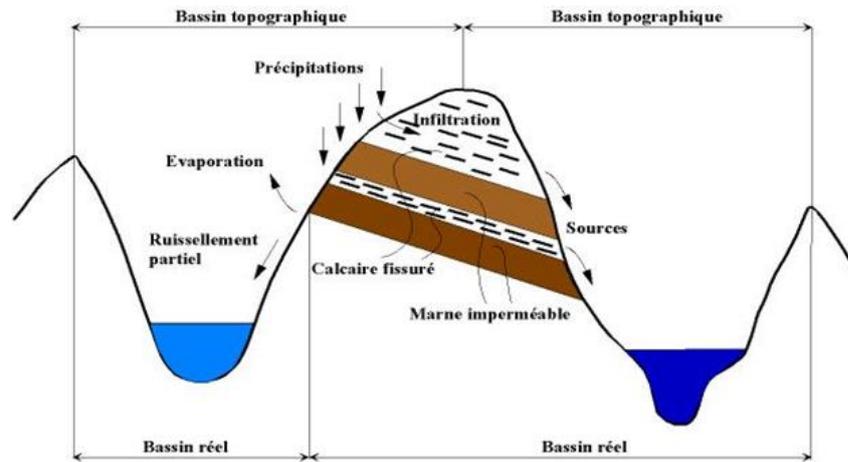


Figure I.13 : schéma sur le bassin versant et son complexe 17

## I.5 Genèse des inondations

### Les causes :

Certaines inondations sont liées à des phénomènes récurrents chaque année comme la mousson, d'autres à des circonstances météorologiques particulières, comme les cyclones ou les orages violents. Elles peuvent également être dues à l'effet simultané de plusieurs phénomènes : c'est souvent le cas des submersions marines provoquées par la combinaison d'une forte houle, de coefficients de marée élevés et parfois même d'une onde de tempête et d'une crue estuarienne. [1]

Toutefois, l'activité humaine aggrave le risque d'inondation. Ainsi, en zone inondable, le développement économique constitue l'un des principaux facteurs aggravants, par augmentation de la vulnérabilité. De plus, les aménagements (activités, voiries, remembrement agricole, déforestation...) modifient les conditions d'écoulement (imperméabilisation et ruissellement), tout en diminuant les champs d'expansion des crues. Sur les cours d'eau, les aménagements (pont, enrochements) et le défaut chronique d'entretien de la part des riverains, aggravent le risque. [1]

L'occupation des zones inondables par des bâtiments et matériaux sensibles à l'eau peut aussi générer, en cas de crue, un transport et un dépôt de produits indésirables, susceptibles de former des barrages, appelés embâcles, voire des pollutions accidentelles. Leur rupture peut engendrer une inondation brutale des zones situées en aval. [1]

<sup>17</sup> <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/figures/figure2.2.jpg>

## I.6 Les conséquences des inondations

Les inondations affectent les personnes, les communications, les biens et les activités mais aussi le milieu naturel (ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2000). Les effets peuvent être directs ou indirects.

Parmi les effets directs on distingue :

- Les dommages aux personnes (morts par noyade, électrocution, personnes blessés, isolées, déplacés) ;
- Les dommages aux biens et aux activités économiques (cultures asphyxiées, bétail noyé, contraction de maladie, détériorations dues à l'eau, à la boue et aux limons véhiculé par les eaux, destruction des habitats, paralysie des services publics,.....) ;
- Les dommages aux ouvrages (ponts, routes, voies ferrées,.....) ;
- Les dommages à l'environnement (dépôt de débris, boues en tous genres, asphyxie de la faune et de la flore,....) (JACQ A., 1990) ; [23]

Parmi les effets indirects on peut citer :

La pollution : les inondations entraînent fréquemment dans leurs sillage des risques de pollution : le fonctionnement des égouts est perturbé, des réseaux d'eaux usées peuvent être mis en charge et déborder, des stations d'épuration peuvent être submergées. L'eau dans son « débordement » emporte tout ce qu'elle trouve sur son passage et le répand sur de très longues et très larges distances : futs de produits chimiques,... (JACQ., 1990) ; [23]

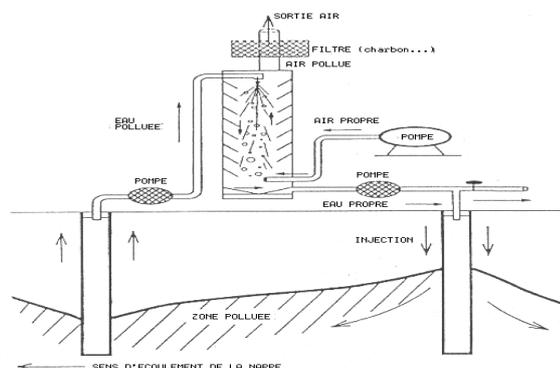


Figure I.14 : pollution des nappes d'eau souterraines 18

<sup>18</sup> <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-sout/desbor17.gif>

Les accidents technologiques : les accidents et incidents dus à une inondation dus ont des conséquences plus ou moins importantes. Ils sont présentés selon le type de dommages générés, à savoir : une pollution des eaux, du sol et/ou de l'air ; un incendie ; des dommages aux installations, un arrachage de cuves des ruptures de canalisations ; des dommages indirects du type chômage technique. [23]



Figure I.15 : Prévention des dégâts des eaux dus à une rupture de canalisation ou d'une installation à circulation d'eau <sup>19</sup>

## Conclusion

En somme, les inondations poseraient de graves dommages matériels et affecterait la vie de milliers de personnes. Les causes des inondations sont variées en particulier la pluie, c'est pour cela la prévision des cet aléa se base sur l'observation continue des précipitations. En effet, la résilience varie d'un pays à l'autre d'où il est essentiel de s'intéresser à l'étude des inondations.

---

<sup>19</sup> [https://agrisur.fr/sites/default/files/prevention\\_degats\\_des\\_eaux.png](https://agrisur.fr/sites/default/files/prevention_degats_des_eaux.png)

# **Chapitre 2**

## **Les Infrastructures hydrauliques et l'aléa d'inondation**

## II. Les Infrastructures hydrauliques et l'aléa d'inondation

---

### Introduction

L'ennemi numéro un des infrastructures hydrauliques et routières c'est l'eau. Ces infrastructures sont souvent au cœur des préoccupations des habitants, notamment en saison des pluies, période durant laquelle les routes sont inondées par l'eau non évacuée. Sous dimensionnement des fossés, entretien difficile à réaliser, les causes de ce fléau sont nombreuses, même si des solutions existent pour résoudre le problème. [1]

Une infrastructure bien entretenue résiste mieux aux changements climatiques. C'est d'autant plus vrai face aux changements graduels des variations de températures et de précipitations, contre lesquels il suit généralement exécuter un entretien régulier et de respecter les cycles normaux de mise à jour ou de modifier les politiques et les procédures d'exploitation et d'entretien. Les phénomènes météorologiques extrêmes, qui constituent les principaux facteurs de vulnérabilité, peuvent mettre l'infrastructure hydraulique à rude épreuve et provoquer des inondations ou polluer l'eau, ou encore endommager le réseau de transport, perturbant ainsi, tant les possibilités d'accès, que la chaîne d'approvisionnement. [2]

La vulnérabilité des réseaux face aux risques dits naturels est généralement abordée à partir des impacts de l'aléa. Les études proposent des diagnostics de vulnérabilité matérielle de l'infrastructure, en intégrant la nature, l'intensité et la fréquence du processus dommageable ainsi que l'exposition et le degré de résistance physique (Renard, 2010 ; Taylor et D'Este, 2007). D'autres travaux s'intéressent aux aspects économiques, à la perte d'exploitation et à la mesure des coûts indirects. [2]

### II.1 Définition

Les infrastructures hydrauliques en question dans cet article désignent des ouvrages à la fois de retenue et de distribution de l'eau de taille variable, disposés à différents niveaux d'un réseau hydraulique, et des dispositifs de mesure pour la planification, la surveillance et le contrôle des pratiques. La construction de ces infrastructures a mis en jeu des savoirs et des experts au sein d'appareils politiques et technocratiques. Elle ne s'est en aucun cas déployée spontanément par sa propre

rationalité. De la même manière, l'électrification de l'Amérique ne s'est pas imposée « naturellement » et Edison a dû mobiliser des hommes et des compétences d'« inventeur-entrepreneur-financier » pour qu'elle prévaille sur le gaz (Hughes, 1979). Il a laborieusement « bâti un système » dont l'infrastructure électrique était l'enjeu crucial et stratégique. Réciproquement, les infrastructures engagent l'ordre social futur (Winner, 2002). Aux États-Unis, les ponts ont été construits avec une hauteur de 2,70 m par Robert Moses pour que les bus des pauvres, majoritairement afro-américains, ne puissent pas emprunter les autoroutes. Bien après sa mort, cette infrastructure continue à limiter la circulation. Nous prenons donc soin dans cet article de considérer la matérialité des infrastructures et ses effets différenciés dans le temps. [1]

## **II.2 Types de barrages hydrauliques**

Un barrage hydraulique sert à retenir l'eau d'un cours d'eau naturel, créant ainsi un lac d'accumulation. Par sa force de chute, l'eau va entraîner une turbine afin de créer de l'électricité. Cette électricité produite par les barrages hydrauliques est renouvelable, c'est donc une énergie propre et inépuisable. Selon les milieux où ils sont installés, les barrages hydroélectriques ne sont pas les mêmes. Découvrez les différents types de barrages qui existent et la façon dont ils fonctionnent. [2]



Figure II.1 : barrage hydraulique <sup>20</sup>

### **II.2.1 Le Barrage-voûte**

Avec sa forme arquée, le barrage-voûte est facilement reconnaissable. Ce design courbé n'est pas dû au hasard. En effet, l'arc bétonné, dont la partie bombée est orientée vers le lac d'accumulation, permet de concentrer la force de poussée de l'eau vers les rives rocheuses du fleuve. Grâce à cela, la puissance est dirigée vers les flancs, où se trouvent les points d'appui du barrage hydraulique.

---

<sup>20</sup> <https://www.monde-du-gecko.com/wp-content/uploads/2019/11/barrage-%C3%A9lectrique.jpg>

Ce type de barrage est particulièrement adapté aux vallées étroites. Sa conception courbée permet de fermer la vallée tout en créant une haute chute d'eau. En France, plusieurs barrages-voûtes sont installés dans différents départements. La topologie des lieux a permis de construire ces barrages hydrauliques en béton, dont les flancs s'appuient sur les parois rocheuses de la vallée. Sans ces solides murs naturels, un barrage-voûte ne peut être construit

Parmi les nombreux barrages-voûtes en France, on peut citer le barrage hydraulique de la Luzège , en Corrèze, dans le Massif Central, qui mesure 44 mètres de haut. Le barrage de Monteynard, en Isère, dans les Alpes, présente lui aussi une forme voûtée, il fait 135 mètres de haut. Le barrage de Pareloup , dans l'Aveyron, sur le plateau du Lévézou, est aussi un exemple de barrage-voûte, avec ses 49 mètres de haut. Celui de Vouglans, dans le Jura, est haut de 103 mètres. Ces différents barrages hydrauliques ont été bâtis dans des milieux totalement différents, offrant divers volumes de retenue. [2]

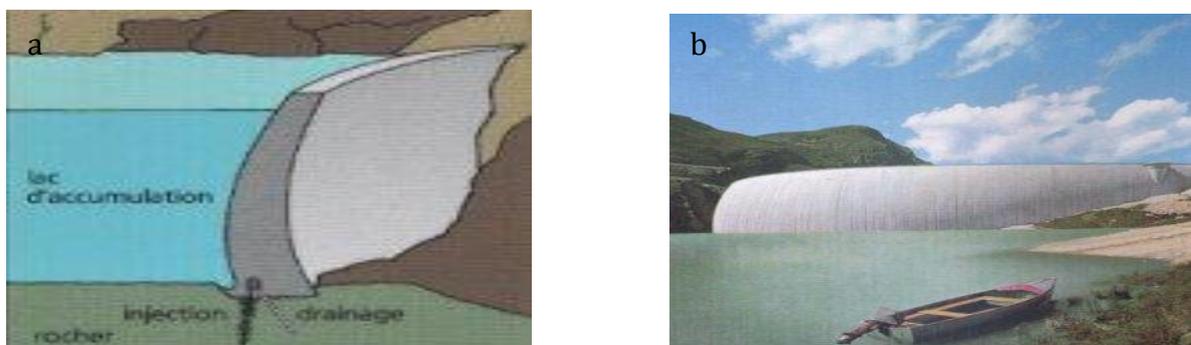


Figure II. 2 : Barrage-voûte, (a) schéma Coupe type d'un barrage-voûte,(b) le Barrage-voûte de Moiry, des Forces Motrices de la Gougra<sup>21</sup>

### II.2.2 Le barrage-poids

En béton ou en pierre, c'est le plus simple et le plus lourd.

Il est vertical par rapport à la retenue et incliné par rapport à la vallée. Il s'appuie uniquement sur le sol.

Ainsi, il oppose toute sa masse à la pression de l'eau. [5]

<sup>21</sup> [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8\\_b.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8_b.jpg)

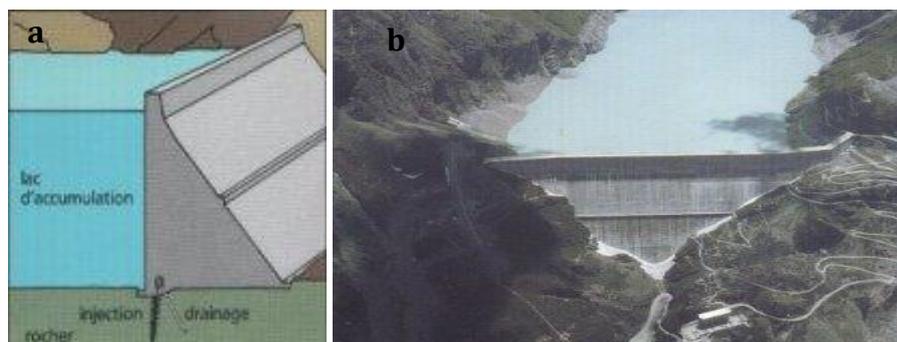


Figure II. 3 : le barrage-poids, (a) schéma de Coupe type d'un barrage poids, (b) Barrage-poids de Grande Dixence <sup>22</sup>

### II.2.3 Le barrage hydraulique à contreforts

Le barrage hydraulique à contreforts est construit en béton armé, c'est le type de barrage qui utilise le moins de béton. De forme triangulaire, il est particulièrement léger, en comparaison avec un barrage-poids ou un modèle à voûtes.

Sa structure se compose d'un mur plat, qui repose sur des contreforts venant soutenir la surface orientée vers le lac d'accumulation. Ces derniers sont situés à l'arrière du barrage et solidement ancrés au sol rocheux, qui doit être d'une extrême robustesse. Les flancs du barrage reposent eux aussi sur la roche. La poussée de l'eau est donc concentrée sur les flancs et le sol.

Parfois, le barrage à contreforts peut être consolidé par des voûtes, on l'appelle alors barrage multi-voûtes. Celles-ci ont pour rôle de résister à la poussée de l'eau, elles sont très utilisées pour les longs barrages. Elles viennent renforcer les contreforts, mais ne se substituent pas à ces piliers indispensables.

Le plus grand barrage de ce type au monde se trouve au Québec, il s'agit du barrage de Daniel-Johnson, qui mesure 1 314 mètres de long. En France, le barrage de Granval, dans le Cantal, dans le Massif Central, est un modèle à contreforts multi-voûtes. Il est long de 376 mètres et mesure 88 mètres de haut. Dans les Alpes, en Savoie, le barrage de Roselend est un autre bel exemple. Haut de 150 mètres, il s'étend sur une longueur de 804 mètres. Le barrage de Pannecière, dans la Nièvre, en Bourgogne-Franche-Comté, est une construction multi-voûtes équipée de 12 contreforts qui soutiennent la structure. [2]

<sup>22</sup> [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8\\_c.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8_c.jpg)



Figure II. 4 : Le barrage à contreforts, (a) schéma Coupe type d'un barrage à contreforts, (b) Barrage à contreforts de Lucendro, Aare-Tessin <sup>23</sup>

### II.2.4 La digue

Contrairement au barrage en béton, la digue a une section verticale beaucoup plus large. En règle générale, elle présente en son centre un noyau étanche, qui est retenu de part et d'autre par des remblais en terre ou en enrochement. Au lieu d'un noyau intérieur, on peut prévoir un revêtement étanche sur la face amont du barrage, en béton ou en asphalte. [8]

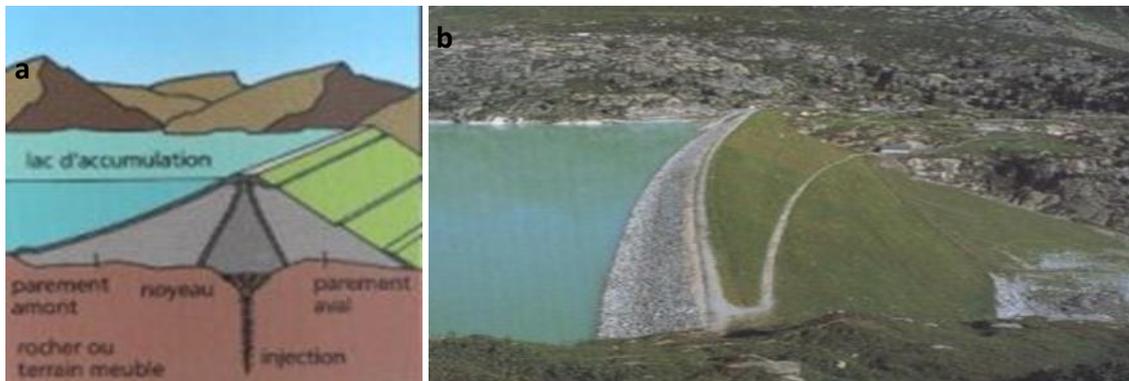


Figure II.5 : La digue, (a) schéma Coupe type d'une digue, (b) Digue en terre de Göschenalp, des Forces Motrices de Göschenen <sup>24</sup>

### II.3 Les différents types de canaux d'évacuation

Un canal d'évacuation est un canal d'écoulement recevant les effluents d'activités diverses telles que l'agriculture et/ou l'aquaculture, ou d'autres industries. Le canal d'évacuation est un passage dans un dispositif de décompression par lequel le fluide est évacué vers l'extérieur du dispositif. Chaque canal d'évacuation est accolé à un canal d'alimentation. Le canal de décharge comprend des canaux partiels de logement qui s'écoulent ensemble pour former le canal d'évacuation. Ce canal d'évacuation s'élargit

<sup>23</sup> [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9\\_a.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9_a.jpg)

<sup>24</sup> [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9\\_d.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9_d.jpg)

progressivement en aval du flux de fluide (liquide ou gaz) et la longueur du canal d'évacuation s'allonge. Les sections d'ouverture des passages de commande et des canaux d'admission et d'évacuation sont munies de sections à faces courbes.

En hydrologie, une décharge est le débit volumétrique de l'eau qui est transportée à travers une section transversale donnée. Toutefois, un hydrologue fluvial étudiant les systèmes fluviaux naturels peut définir la décharge comme un écoulement fluvial, tandis qu'un ingénieur exploitant un système de réservoir peut l'assimiler à un débit sortant, par opposition à un débit entrant.

Un canal dans lequel sont guidés à la fois le fluide de travaux neuf et usagés n'est pas un canal d'alimentation ou d'évacuation au sens strict. [10]



Figure II.6 : canaux d'évacuation <sup>25</sup>

### II.3.1 Le canal de d'évacuation direct



Figure II. 7: le canal d'évacuation <sup>26</sup>

<sup>25</sup> [https://img.freepik.com/photos-gratuite/tuyau-evacuation-eaux-usees-eaux-usees-rejettent-eaux-usees-dans-riviere\\_96336-219.jpg?w=740](https://img.freepik.com/photos-gratuite/tuyau-evacuation-eaux-usees-eaux-usees-rejettent-eaux-usees-dans-riviere_96336-219.jpg?w=740)

<sup>26</sup> <https://thumbs.dreamstime.com/z/tuyau-d-%C3%A9vacuation-d-eaux-d-%C3%A9gout-2204480.jpg>

### II.3.2 Le canal d'évacuation court



Figure II.8 : le canal d'évacuation court <sup>27</sup>

### II.3.3 Le canal d'évacuation long



Figure II.9 : canaux de d'évacuations longues <sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> <https://previews.123rf.com/images/nagydodo/nagydodo1305/nagydodo130500094/19746116-le-canal-d-%C3%A9vacuation-d-eau.jpg>

<sup>28</sup> <https://www.manager-go.com/assets/Uploads/types-de-canaux-de-distribution.png>

## II.4 La vulnérabilité face aux inondations

### II.4.1 Le risque de rupture des barrages

Le risque de rupture brusque et imprévue est aujourd'hui extrêmement faible. La situation de rupture pourrait plutôt venir de l'évolution plus ou moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage. Une rupture progressive laisserait le temps de mettre en place les procédures d'alerte et de secours des populations.

En revanche, une rupture partielle ou totale brusque produirait une onde de submersion très destructrice dont les caractéristiques (hauteur, vitesse, horaire de passage...) ont été étudiées en tout point de la vallée.

Les facteurs menaçant l'ouvrage sont:

- les accidents géologiques dont le poids de l'eau retenue en est parfois la cause (ex. : glissements de terrain),
- la perturbation du fonctionnement de la rivière (crues moins fréquentes surprenant les riverains),
- la libération potentielle de la quantité d'eau retenue.

### II.4.2 Mécanismes de rupture des barrages

#### ➤ Rupture instantanée ou graduelle

La rupture d'un barrage est rarement instantanée. Que cela soit pour un barrage en béton ou bien en remblai, il y a eu généralement la formation d'une brèche dans le barrage, qui s'agrandit progressivement. La libération de l'eau se fait donc de façon graduelle. Ce processus de formation de brèche dans un barrage ou une digue a fait l'objet de plusieurs études pour en étudier la dynamique. Cela reste un processus complexe et en général, on fait l'hypothèse que le volume d'eau est lâché instantanément (c-à-d effacement du barrage).

Cette hypothèse va dans le sens de la sécurité, mais peut induire à majorer le risque hydraulique induit par l'onde de crue, en particulier pour les barrages en remblai (qui sont majoritaires) ; pour des barrages en remblai, on observe que la largeur de la brèche est généralement située dans la fourche  $hb \leq L \leq 3hb$ , où  $hb$  est la hauteur du barrage. Pour ces barrages, le temps nécessaire à former une brèche varie de façon

considérable (de quelques minutes à quelques heures) selon le matériau et la cause de la rupture.

Les spécialistes recommandent de procéder pour le scénario de rupture :

- Pour les barrages-voûtes et barrage-poids : rupture totale et instantanée de tout le barrage ;
- Pour les digues : formation d'une brèche de forme trapézoïdale de base égale deux fois la hauteur d'eau et avec une pente de talus de 1:1 (en veillant que la surface ne soit pas plus grande que la digue elle-même) ;
- Pour les barrages mobiles : rupture totale ou partielle en fonction du type de construction.

#### ➤ **Rupture par renard**

Les ruptures consécutives à une érosion interne (effet renard) sont peu fréquentes. La rupture par effet renard est fréquente lorsque les matériaux constitutifs du barrage ont pour propriétés d'être (a) perméables ou (b) fortement érodables.

Les barrages naturels sont constitués de matériaux hétérogènes ayant été peu compactés en comparaison aux barrages de construction. De ce fait, ces barrages sont souvent poreux, non imperméabilisés et non drainés. Il y a donc présence d'écoulements internes. Ces écoulements peuvent entraîner de l'érosion interne, qui peut aboutir à une rupture par renard.

Des suintements sont souvent observés à la base de nombreux barrages. Mais ces suintements sont rarement assez importants pour provoquer un « renard ».

L'érosion interne peut aussi provoquer un affaissement partiel du barrage, suivi du débordement, de la formation d'une brèche et de la rupture (rupture par surverse). Il y a peu d'exemple de rupture par renard car celle-ci arrive rarement. En 1966, rupture de l'éboulement ayant entraîné la formation du lac Yashinkul sur la rivière Isfayramsay (Centre sud de l'ex URSS) et en 1906 rupture de l'éboulement sur le cache creek (Californie).

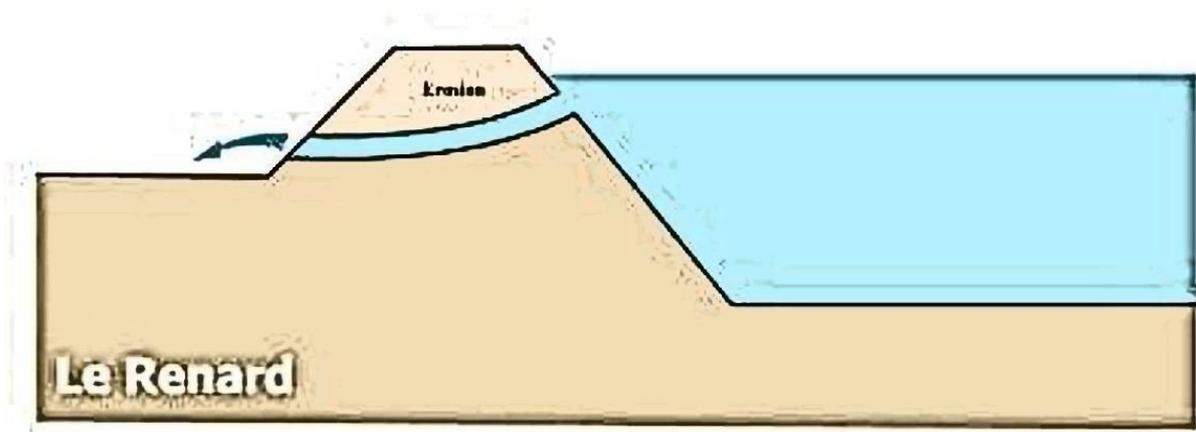


Figure II.1: Rupture par renard

#### ➤ Rupture par glissement

Il existe peu de cas de rupture par glissement des pentes du barrage. Ceci est dû au fait que naturellement les pentes du barrage se sont formées à un état d'équilibre naturel. Les glissements sont observés dans les cas où les pentes du barrage s'avèrent trop raides. Les masses éboulées avec leurs pentes relativement douces sont souvent peu vulnérables au glissement. Un seul cas de glissement semble avoir été identifié, celui du Cerro Condor-Sencca au Pérou sur la rivière Mantaro, bien qu'il soit possible que la rupture fût due à un effet renard.

#### ➤ Rupture par surverse

La surverse est la principale cause de rupture de barrages naturels. Elle représente 92 à 95 % des cas de rupture observés. S'il n'y a pas d'infiltration d'eau dans le barrage, le barrage se remplit jusqu'au déversement. Il y a alors apparition d'un écoulement, sur le parement aval de la masse éboulée. L'écoulement emporte progressivement les matériaux constituant le barrage pour aboutir par érosion régressive à la formation d'une brèche. Une fois la brèche formée, la rupture du barrage et la vidange de la retenue peuvent alors être très rapides. La brèche due à la surverse se forme localement au point le plus bas ou le plus faible de la crête du barrage, puis se développe jusqu'au point bas du barrage, avant de s'élargir jusqu'à une situation d'équilibre (qui n'atteint pas la largeur totale du barrage).

Il est rare que la brèche descende jusqu'au niveau d'origine du cours d'eau car la présence de matériaux grossiers au sein de l'éboulement limite l'incision.

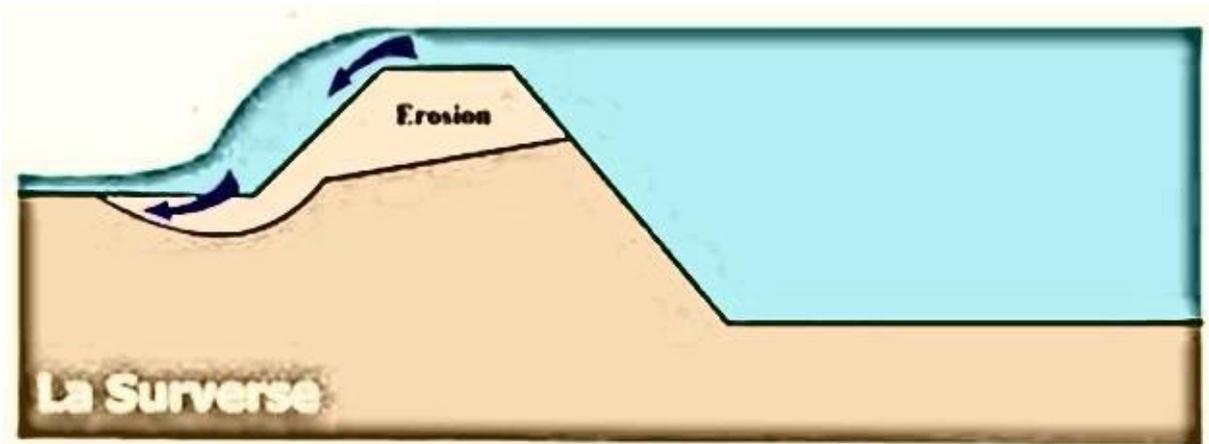


Figure II.2: Rupture par surverse

#### ➤ Rupture de petit barrage d'accumulation

Au cours du XXe d'un grand nombre de barrages ont été équipées pour la production d'électricité. Plus récemment, des petits barrages ont été construits pour la production de neige de culture dans les stations de ski et, dans une moindre mesure, pour assurer l'approvisionnement en eau potable lors des pics de fréquentation touristique. Au cours des prochaines années un accroissement considérable du nombre de petites retenues est prévue et une augmentation du volume de stockage. Les petites retenues peuvent connaître des accidents plus ou moins graves. En 2004-2005, deux ouvrages ont connu une rupture lors de leur mise en eau en France, entraînant une ruine partielle ou totale.

Les ouvrages d'accumulation sont pourtant placés dans un milieu naturel hostile et donc exposés à des contraintes sévères (cycle gel/dégel, vieillissement des bétons, géomembranes, etc.) ainsi qu'à des dangers naturels (mouvement de terrain, avalanche, chute de blocs, etc.). Comme ils sont assez souvent construits l'amont d'enjeux significatifs (typiquement une station de ski), leur rupture peut éventuellement causer des dommages sévères.

### Conclusion

Les barrages sont une infrastructure critique qui sert généralement dans le but principal de retenir l'eau. En contrepartie de ces multiples aspects positifs, les barrages constituent potentiel de destruction énorme. Les dernières statistiques montrent que le taux de rupture des barrages de tout type diminue, en effet ceci peut être expliqué par

les progrès accomplis en matière de conceptions et de surveillance des barrages sans oublier la grande expérience tirée des ruptures antérieures. Toutefois, il est faux de croire qu'avec ces progrès, les civilisations sont à l'abri d'éventuelles ruptures e que la surveillance des barrages est une pratique dépassée et superflue. Il est important par conséquent d'être prêt à réagir face aux conséquences de ces événements très rares.

## **Chapitre 3**

# ***Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta (Mostaganem) face aux inondations***

### **III. Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face aux inondations**

---

#### **Introduction**

Dans ce chapitre, on procède à l'étude de l'effet des inondations sur certaines communes algériennes. Nous allons montrer des événements survenus dans différentes régions de l'Algérie. L'objectif de ce chapitre est de constater la vulnérabilité de communes affectées par des crues dans le passé, à travers un constat de différents endommagements enregistrés avec une concentration sur la commune de Hchachta.

#### **III.1 Les inondations d'Oran**

Dans le bassin des côtiers oranais, les zones les plus touchées par des crues destructives concernent les wilayas d'Oran et Tlemcen .A l'ouest du pays, la crue la plus violente remonte au mois d'Octobre 1948 qui a vu le débordement de l'Oued Tlélat provoquer d'immenses dégâts humains et matériels et la destruction d'une partie du barrage Tlélat.

Le 17 mai 2020 Oran, des pluies torrentielles qui se sont abattues durant la nuit de samedi à dimanche sur la wilaya d'Oran ont atteint par endroits 18 à 35 millimètres provoquant des inondations et des dégâts matériels et causant la mort d'un nourrisson (Figure III.1). Les fortes pluies qui se sont abattues de manière continue dans la nuit de samedi à dimanche à Oran ont enregistré de nombreux accidents, à l'instar de l'effondrement partiel de certaines habitations précaires et l'inondation par la crue de plusieurs axes routiers principaux, places publiques et cités d'habitations. Les unités de la protection civile sont intervenues pour pomper les eaux infiltrées dans les habitations, évacuer la boue charriée par les eaux et secourir des personnes coincées dans plusieurs communes, à Mers El Kebir, Bousfer, Tafraoui, Aïn El Turck et Bir El Djir.

Les pluies ont provoqué également l'effondrement d'un mur à haï Lalla Khadidja dans la commune de Mers El Kébir ayant causé la mort d'un bébé et blessé sa mère. Le corps sans vie du nourrisson a été transféré à la morgue de l'hôpital d'Aïn El Turck et la maman a été évacuée à l'hôpital pour les soins nécessaires.



Figure III.1: Les inondations à Oran

### III.2 L'inondation du 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa)

Les inondations du 3 mai 2021 à Beni Slimane, à 70 km à l'est de Médéa, ont occasionné plusieurs décès et des dégâts à l'infrastructure routière qui relie le chef-lieu de la commune à plusieurs agglomérations urbaines, situées à la périphérie immédiate de la ville. Le gros des dégâts a été enregistré sur le réseau routier communal où de nombreux tronçons ont été fortement dégradés suite aux inondations provoquées par le débordement des oueds Boukraa et Alim qui traversent le chef-lieu de la commune de Beni Slimane (Figure III.3).

Le débordement des eaux des oueds Boukraa et Alim, qui ont atteint par plus d'un mètre de hauteur, a particulièrement affecté des tronçons de la RN 18, notamment l'axe

Beni Slimane–Sidi Lakrouit et Beni Slimane–Souk El Djemaa et les localités de la wilaya, telles que Bouskène, Sidi El Habchi, Souagui, et El Azzizia<sup>29</sup>.



Figure III.2: Les inondations de 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa)<sup>30</sup>

### **III.2.1 L'inondation de Béchar**

En 2008, la furie des eaux de l'oued Béchar (13 km) a emporté les quelques animaux faméliques du jardin public riverain de l'oued et provoqué l'effondrement d'une école primaire au quartier Hai Nour. Pour l'instant, soixante-dix familles ont été évacuées au centre d'accueil des sinistrés créé dans la précipitation au niveau d'une auberge de jeunesse, de l'ex-CFA et de l'école paramédicale alors qu'elles n'étaient la veille que vingt-six. Vingt autres familles du quartier Tinerkouk sont venues se joindre, jeudi aux autres sinistrés, a-t-on appris ce vendredi. Les pluies diluviennes n'ont pas épargné non plus les habitants des communes éloignées d'oued Saoura, car vingt-six familles à Béni Abbès (240 km au sud de Béchar) ont été touchées, cinq familles à Abadla et cinq autres à Béni Ounif ont été évacuées mais à titre préventif, signale-t-on. L'armée est intervenue pour dégager par endroits les axes routiers et faciliter la circulation.

Le commandant de compagnie de la Gendarmerie nationale de Béchar a failli perdre la vie en tentant de porter secours à un autocar en difficulté arrivant d'Abadla au

<sup>29</sup> <https://www.djazairress.com/fr/elwatan/1718504>

<sup>30</sup> <http://lecourrier-dalgerie.com/inondations-de-beni-slimane-a-medea-une-commission-technique-pour-letude-des-risques-menacant-la-ville/>

niveau de l'oued Béchar au sud de la ville. Mais le bilan définitif des inondations n'est pas encore arrêté.

Depuis 1958, affirme-t-on, jamais les eaux de l'oued Béchar n'ont entraîné une aussi importante crue (850 m<sup>3</sup> de débit à la seconde) qui, dans leur furie, se sont infiltrées à l'intérieur des habitations riveraines de l'oued pourtant distantes et détérioré dans leur violence deux ponts séparant le quartier Debdaba au centre-ville. Le pont de la Chouffane emprunté par les passants, a été sérieusement endommagé et menace de s'effondrer.

Des attroupements de dizaines de citoyens touchés par les inondations ont eu lieu devant le siège de la wilaya hier.

Il est à noter que la quantité d'eau tombée au cours des deux jours est de 90 mm alors que la moyenne annuelle enregistrée dans la région est de 100 mm. Mais la persistance du temps pluvieux ce samedi laisse présager une détérioration que la population redoute avec anxiété et avec les conséquences qui pourraient être dramatiques.



Figure III.3: Les constructions affectées par les crues à Béchar

### **III.3 L'inondation d'Adrar**

Le 25 septembre 2018, les pluies qui se sont abattues lundi après-midi sur la ville d'Adrar ont causé l'effondrement partiel de quatre habitations et des pannes à une dizaine de compteurs d'électricité de divers maisons outre l'apparition de plusieurs points noirs dans différents quartiers suite aux eaux pluviales.

Les agents de la protection civile ont dégagé les voies des fortes quantités d'eau afin de faciliter le passage des véhicules et même des piétons. De fortes pluies se sont abattues pendant près de deux heures de temps à Adrar, causant des inondations au niveau des routes et quartiers.



Figure III.4: Les inondations à Adrar en 2018

En août 2012, des maisons effondrées et des personnes sont portées disparues. Des inondations survenues durant la nuit à Timiaouin à l'extrême sud-ouest de la wilaya d'Adrar.

La région de Timiaouin a été déclarée en situation d'urgence par les autorités de la wilaya d'Adrar. Des centaines de maisons ont été détruites par les fortes chutes de pluies, en outre, les interventions ont permis de sauver les dizaines personnes restées au milieu les eaux de pluies à plusieurs endroits de Timiaouin.



Figure III.5: Les inondations d'oued Timiaouin à Adrar en 2012

#### III.4 L'inondation du 08/09/2015 à Djelfa

La wilaya de Djelfa a été soumise à une série d'inondations ces dernières années. L'inondation la plus importante a été celle du 08 septembre 2015, qui a causé deux morts et d'énormes pertes matérielles dont 25 quartiers de la ville ont été inondés<sup>31</sup>.

Durant cet événement, la ville de Djelfa a enregistré de grandes quantités de pluie sur une courte période (53 mm en deux heures), ce qui est équivalent à un tiers du taux annuel de précipitations. Le niveau d'eau de l'oued El Malah a atteint plus de 4,5 m de hauteur et un débit de 340 m<sup>3</sup>/sec. Les eaux de pluies ont inondé un certain nombre d'habitations de la ville de Djelfa en plus de l'érosion des routes ce qui a conduit à la fermeture de certaines axes routiers (Figure III.10).



Figure III.6: Les inondations de Djelfa le 08/09/2015

#### III.10 L'inondation du 02/08/2018 à In Guezzam (Tamanrasset)

<sup>31</sup> <https://www.djelfa.info/ar/mobile/news/djelfa/8999.html>

Les pluies qui se sont abattues à In Guezzam (30,4 mm) située à 400 km au sud de chef-lieu de la wilaya de Tamanrasset, ont causé plus de cinq morts et d'importants dégâts (Figure. III.11a, b)<sup>32</sup>. Plusieurs habitations menaçant ruine ont été endommagés, et les quartiers situés aux bords de l'oued ont été inondés (Figure. III.11 c, d). Les images satellitaires montrent l'étendue des crues (Figure. III.11 e, f).



Figure III.7: L'inondation du 02/08/2018 à In Guezzam (Tamanrasset) (a, b) la ville de Tamanrasset inondée, (c, d) inondations à In Guezzam ; (e, f) images satellitaires de l'étendue de l'inondation à In Guezzam (ASAL 2018)<sup>33</sup>

### III.5 Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta face aux inondations

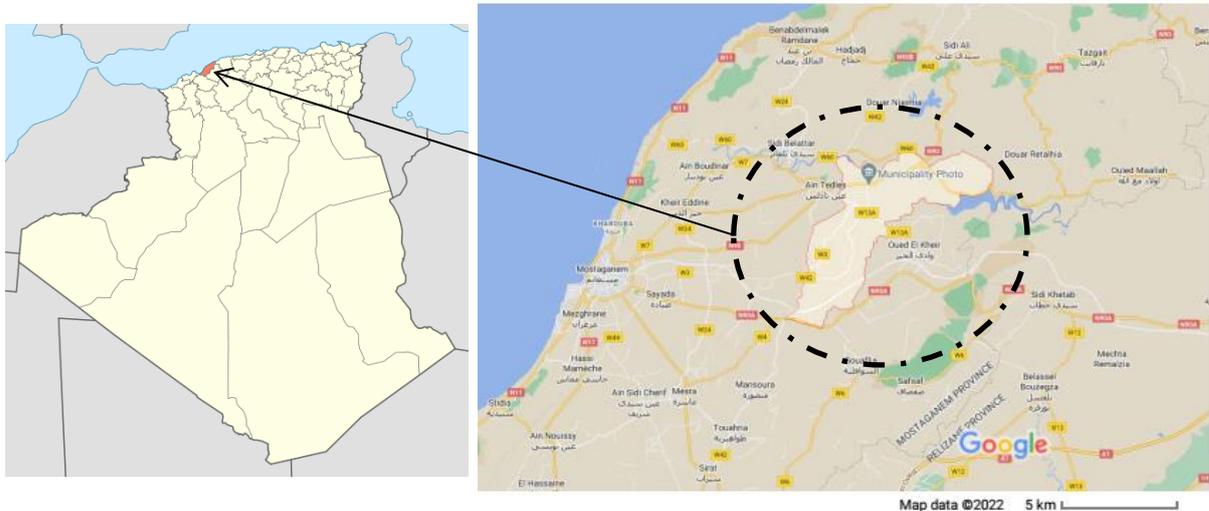
<sup>32</sup> <https://www.liberte-algerie.com/actualite/les-intemperies-font-des-degats-a-in-guezzam-297529>

<sup>33</sup> <https://asal.dz/?p=228>

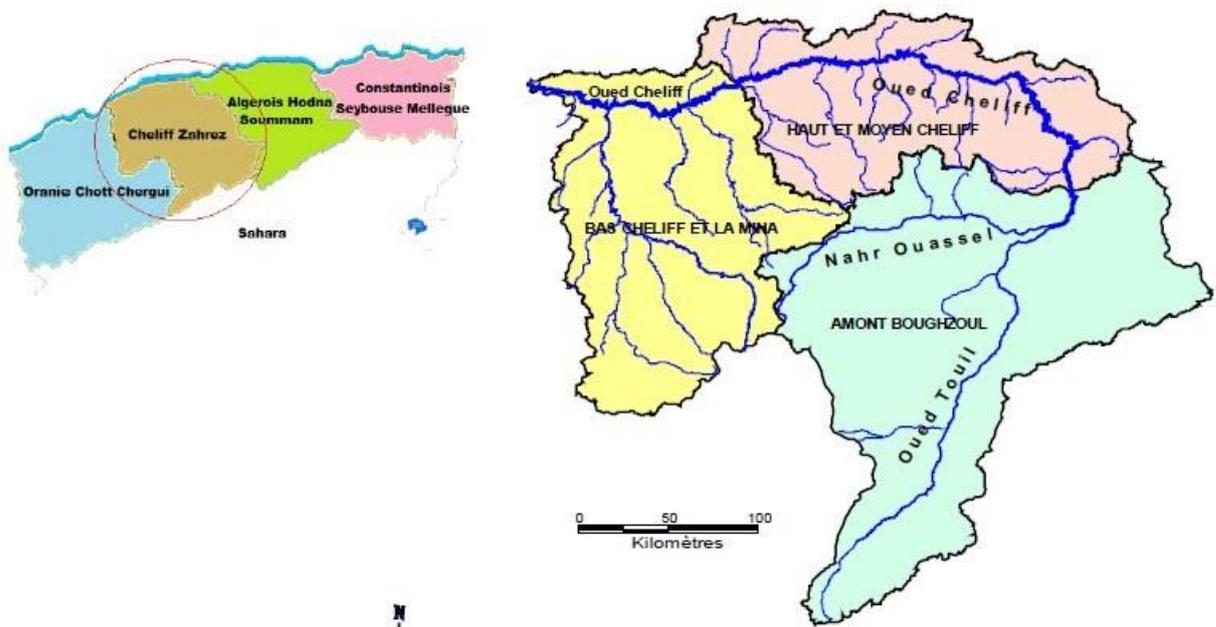
### III.5.1 Présentation de l'agglomération de Hchachta

#### Géographie

Hchachta est une agglomération qui se trouve dans la commune de Sour au nord de la wilaya de Mostaganem.



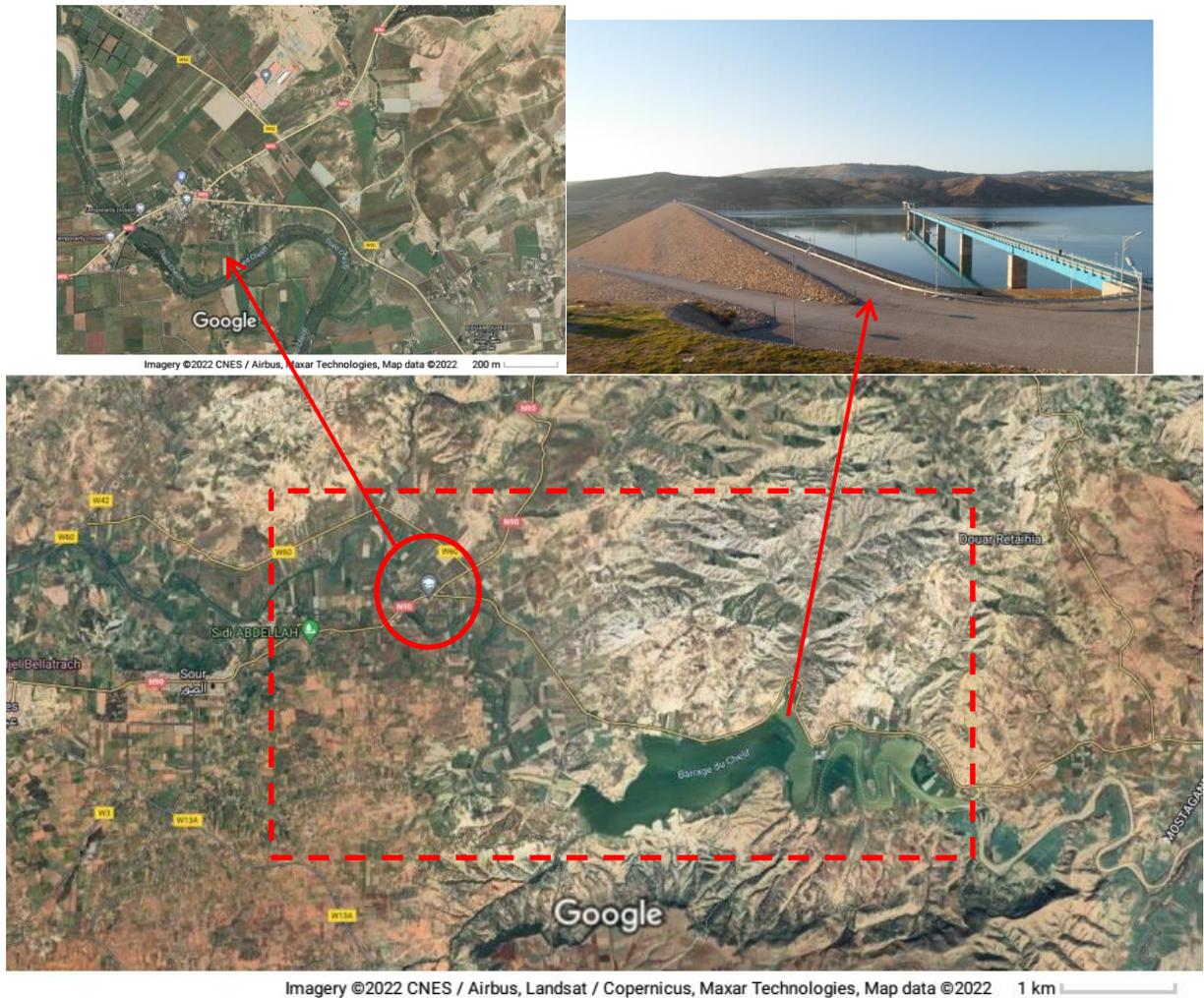
De point de vue naturel l'agglomération de Hchachta se trouve à l'embouchure de oued Chlef qui diverse dans la méditerranée.



Localisation de l'agglomération de Hchachta dans le bassin versant d'oued Chlef<sup>34</sup>

<sup>34</sup> <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2020-v32-n4-rseau05304/1069569ar/>

Cette agglomération se localise en aval du barrage de Chlef ce qui la rend très vulnérable aux débordements des eaux évacuées du barrage suite aux épisodes pluvieuses.



Localisation de l'agglomération de Hchachta par rapport au barrage de Chélif

## Historique

La commune de Sour est une des colonies agricoles constituées en vertu du décret de l'Assemblée nationale française du 19 septembre 1848. Il est constitué sous le nom de Sour el Mitou, sur un territoire de 1747ha<sup>2</sup>, et sera renommé Bellevue<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sour\\_\(Mostaganem\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sour_(Mostaganem))

## **Démographie**

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune de Sour est évaluée à 22 673 habitants contre 20 625 en 1998<sup>36</sup>.

### **III.5.2 Les inondations historiques**

#### **a. Les inondations de janvier 2014**

Au moins 81 interventions ont été enregistrées, dont 21 pour évacuer des eaux qui ont inondé de vieilles maisons à Hchachta. Des vents violents ont affecté deux lignes électriques de moyenne tension. Des accidents de la circulation ont été enregistrés, suite au renversement d'un véhicule à cause des précipitations, faisant deux blessés. La quantité de pluie, enregistrée en 48 heures a atteint 51 millimètres. De plus, la pluviométrie durant le mois de janvier a atteint 91,5 mm<sup>37</sup>.

#### **b. Les inondations de janvier 2017**

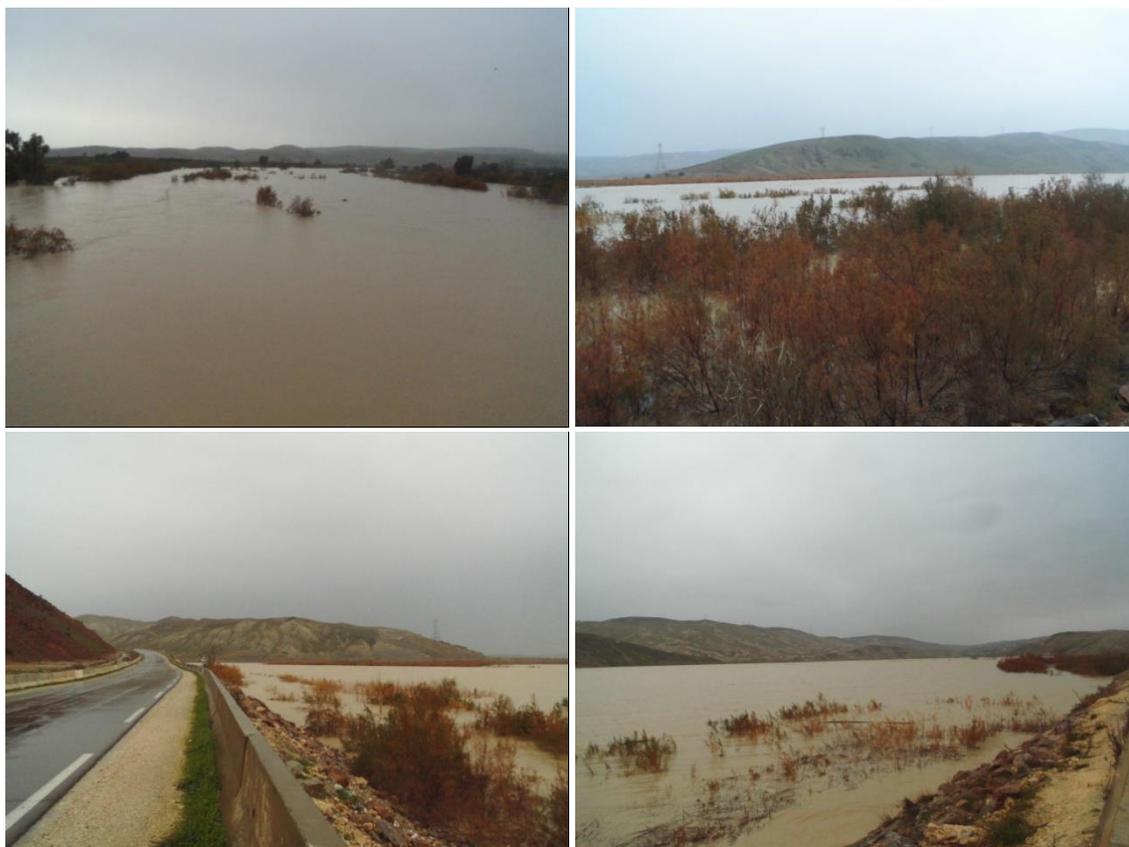
L'épisode pluvieux sur la wilaya de Mostaganem a laissé des traces dues à la violence et l'intensité des précipitations enregistrées en quelques heures seulement. Parmi les conséquences les plus importantes, le lâcher de l'excédent d'eau du barrage du Chélif, qui a eu pour incidence l'inondation des terres en aval et presque à l'embouchure de l'oued en crue. Le village mitoyen du lit de la rivière le plus sinistré est celui de Hchachta Ammour, près de Sour, où quelque 240 familles ont été évacuées de leurs maisons inondées par les eaux pluviales suite au débordement du barrage de Chélif. Des patrouilles d'inspection ont été effectuées sur les abords de l'oued jusqu'à l'embouchure en utilisant des zodiacs d'intervention. Les mêmes services sont intervenus pour secourir huit familles aux douars de Mehaïdia et Ouled Mokhtar à Sour<sup>38</sup>.

---

<sup>36</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sour\\_\(Mostaganem\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sour_(Mostaganem))

<sup>37</sup> <https://www.elwatan.com/edition/actualite/mostaganem-des-degats-apres-de-fortes-pluies-24-01-2014>

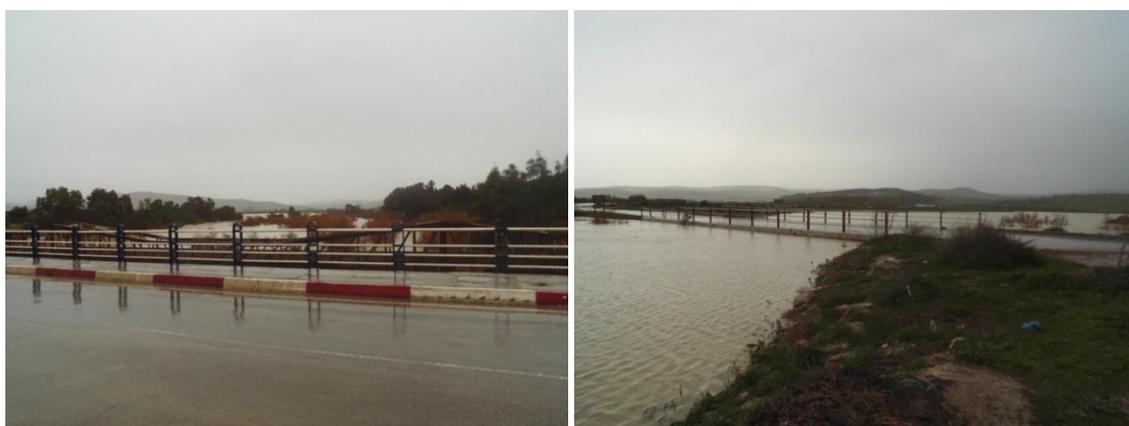
<sup>38</sup> <https://www.algerie360.com/mostaganem-un-lacher-du-barrage-du-cheliff-inonde-la-plaine/>



Débordement d'oued Chlef sur les terrains agricoles et la route

### **Submersion des ponts**

Les ponts ont été également affectés par la crue.





Le niveau des eaux atteint les ponts

### **c. Les inondations de février 2018**

Suite aux dernières pluies qui se sont déversées sur la région au cours des 24 dernières heures, menant à la saturation des rivières, les eaux de l'oued ont débordé sur les routes, ce qui a entraîné une obstruction partielle du trafic routier, ce qui a nécessité l'intervention des services de la protection civile<sup>39</sup>.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons montré la vulnérabilité de certaines communes algériennes face au risque d'inondation. Plusieurs cas ont été abordés dans différentes régions du pays. Le constat fait a montré que les communes algériennes ne sont pas à l'abri des effets des crues, ce qui nécessite une prise en charge de vulnérabilité de ces territoires face aux crues et inondations. L'agglomération de Hchachta illustre l'exposition élevée de nos communes à cet aléa.

---

<sup>39</sup> <https://www.djazair.com/fr/reflexion/50248>

***Chapitre 4***  
***Prévention et protection contre les***  
***inondations***

## IV. Prévention et protection contre les inondations

---

### Introduction

Les inondations sont considérées comme l'une des catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus efficaces dans différentes régions du monde, causant de nombreuses pertes en vies humaines et en biens. Les inondations sont une élévation du niveau d'eau dans les bassins versants et les vallées des rivières, qui entraîne l'inondation des bâtiments, des installations, des routes, etc..., où il n'est pas possible d'empêcher son apparition, mais il est possible de travailler pour limiter ses effets et réduire les pertes qui en résultent en prenant les mesures nécessaires. Il nous est apparu clairement qu'il existe des facteurs naturels et humains qui conduisent à l'apparition et à l'aggravation du phénomène des inondations dans la zone d'étude, dont le plus important est la densité du réseau hydrographique. [1]

### IV.1 Aperçu

La protection et la prévention, peuvent recevoir de multiples définitions parmi lesquelles :

- La protection est l'action ou le fait de soustraire une personne ou un bien aux effets de l'aléa inondation qui pourrait le toucher ;
- La prévention est l'ensemble de mesures destinées à éviter que l'inondation prévisible n'entraîne un dommage aux personnes ou aux biens (une mesure de prévention a pour objet de limiter la vulnérabilité des personnes et des biens).
- Dans la pratique, une même mesure peut relever de l'une ou l'autre notion :
- Une mesure de protection efficace (une digue par exemple) participe à la prévention puisqu'elle évite (jusqu'à un certain point) que l'inondation prévisible n'entraîne de dommage aux personnes ou aux biens ;
- Une mesure de prévention efficace des dommages pour les personnes (zone refuge accessible en toutes circonstances par exemple) les protège du risque de noyade mais ne protège pas le bâtiment et son mobilier ;

- Une mesure de prévention efficace des bâtiments (implantation d'un bâtiment sur une hauteur) est également une mesure de protection. [2]

## **IV.2 Les mesures de prévention contre les inondations**

### **IV.2.1 Moyens de réponse humaine aux dangers des inondations et aux catastrophes qui en découlent**

Différentes manières et moyens de l'homme face aux dangers des inondations et aux catastrophes qui en résultent, selon Pour le temps et le lieu.

Tant que l'homme n'a rien pu faire de tangible pour limiter les inondations ou arrêter leurs effets destructeurs, et tout cela Il faisait pour s'éloigner de la source du danger, le niveau d'inondation le plus élevé, ainsi que les moyens pour l'homme de faire face aux dangers d'inondation diffèrent d'un pays à l'autre selon le degré de progrès technologique qui prévaut, il diffère dans les pays pauvres en développement que dans les pays développés. [3]

Au vu des catastrophes destructrices qui affectent les milieux inondés du fait de leur exposition aux crues, on peut ici Nous résumons quelques-uns des moyens par lesquels nous pouvons l'affronter et réduire son danger, qui sont les suivants :

- Une étude et une parfaite connaissance des principales raisons de la survenue d'inondations dans une zone et de la détermination de leurs sources Et c'est en collectant les données hydro géomorphologiques disponibles sur le fleuve et son bassin pour en tirer profit Y compris dans la détermination de l'imposition de la survenance des inondations. [3]

- Construction de barrages et de réservoirs sur les principaux affluents qui servent à collecter rapidement les eaux de ruissellement des zones d'approvisionnement, ensuite relâché ultérieurement après que le risque d'inondation est passé, ainsi qu'en établissant le barrage à des emplacements pratiques sur les grands fleuves tels que le haut barrage sur le Nil en Égypte et le stocker pour l'eau dans le lac de barrage au sud, ainsi que les barrages des vallées sèches dans les hauts déserts, La Chine construit actuellement le plus grand barrage du monde, pour un coût de 25 milliards de dollars, sur le fleuve Yangtze. Pour conjurer les dangers des inondations et produire de l'électricité. [3]

- Approfondir les canaux d'eau de la rivière et de ses affluents pour augmenter sa capacité à absorber l'excès d'eau entrant à cela, même si cela doit être fait avec beaucoup de précautions en raison des effets négatifs que cela entraîne. [3]

- Faire des canaux supplémentaires dans les zones de la plaine inondable pour accueillir les quantités d'eau en excès afin qu'elles s'étendent dans Parallèle au chenal principal de la rivière. [3]

- Organiser des opérations de construction sur les rives du fleuve qui en coupent des zones, réduisant ainsi sa largeur, tout en précisant les zones propices à la construction et celles qui doivent être laissées. [3]

- Planifier le système pour avertir des dangers potentiels, préparer les moyens de prévention et la rapidité d'évacuation développer des moyens pour étudier la récurrence des crues grâce à des enregistrements complets des crues précédentes être en mesure d'anticiper la survenue d'inondations et le degré de danger potentiel. [3]

#### **IV.2.2 Risques et aménagement du territoire - Réduction de la vulnérabilité**

- **Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRi)**

Les Plans de Prévention des Risques Inondation, établis par l'État, définissent des zones d'interdiction et des zones de prescription, constructibles sous réserve. Ils peuvent imposer d'agir sur l'existant pour réduire la vulnérabilité des biens. [4]

L'objectif est double : la limitation de l'urbanisation en zone inondable (zones déterminées sur la base de la crue de référence, c.a.d. de la crue centennale, ou de la plus forte crue connue) et la préservation des champs d'expansion des crues. [4]

- **PLU et SCOT**

De plus, la prise en compte des risques d'inondation par les collectivités locales dans les projets d'aménagements du territoire est imposée par le Code de l'urbanisme, via les documents d'urbanisme tels que les SCOT et PLU. Les plans locaux d'urbanisme (PLU) permettent notamment de refuser ou d'accepter sous certaines conditions un permis de construire dans des zones inondables. [4]

- **Réduction de la vulnérabilité**

En ce qui concerne les constructions existantes dans des zones à risque, l'adaptation du bâti et des activités permet de réduire leur vulnérabilité : mise en place de batardeaux, aménagement d'espaces refuges, mise hors d'eau des équipements les plus vulnérables...

Des travaux obligatoires pour la réduction de la vulnérabilité des bâtiments en zone inondable sont associés aux PPR inondation dernière génération. Un indicateur de l'Observatoire régional des Risques Naturels permet d'identifier les communes concernées par une obligation de mise en œuvre de mesures de réduction de la vulnérabilité. [4]

Une démarche innovante a été mise en place par le SMAGE des Gardons sur son territoire en vue de la réalisation de diagnostics et de travaux de réduction de la vulnérabilité aux inondations, il s'agit de l'opération ALABRI. [4]

Dans les zones particulièrement exposées, il peut être nécessaire de recourir à la délocalisation des bâtis et activités les plus menacés. En ce qui concerne les terres agricoles, le ressuyage permet de réduire les dégâts suite à des inondations en évacuant l'eau plus rapidement. [4]

#### **IV.2.3 À quoi sert un Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi) ?**

Les PPRi constituent l'un des outils de la mise en œuvre de la politique de l'État en matière de prévention des inondations. Ils mettent en évidence les zones à risques, réglementent l'aménagement et les usages du sol, et définissent des mesures pour réduire la vulnérabilité des enjeux (personnes, biens et activités). Il s'agit d'une servitude d'utilité publique qui s'impose à tous : particuliers, entreprises, collectivités et État. [5]

Le coût élevé des inondations pour la société s'explique principalement par la croissance continue de l'exposition des hommes et de leurs biens au risque, à travers notamment le développement de l'urbanisation dans les zones inondables.

C'est sur ce volet qu'il convient donc d'agir en priorité, en stoppant l'extension de l'implantation humaine dans les zones inondables. [5]

L'occupation des zones inondables par l'homme s'est traduite également par une aggravation de l'intensité des débordements eux-mêmes, du fait de l'impact des activités humaines sur les écoulements : aggravation et accélération des ruissellements sur les pentes des bassins versants, concentration et accélération des écoulements par suppression des possibilités de débordements latéraux des cours d'eau endigués. [5]

Outre leurs impacts sur la sécurité des hommes et de leurs biens, de telles pratiques ont eu des effets préjudiciables dans d'autres domaines : érosion accrue des sols cultivables, perte de capacités d'auto-épuration des cours d'eau, diminution de la recharge des nappes d'eau souterraines, disparition d'écosystèmes et de paysages remarquables ; c'est tout à la fois un patrimoine et des fonctions utiles à la société qui ont été détruits. [5]

#### **IV.2.4 Les objectifs des PPRI**

Les PPRI visent à éviter une aggravation de l'exposition aux inondations des personnes et des biens et à réduire leurs conséquences négatives sur les vies humaines, l'environnement, l'activité économique et le patrimoine culturel. L'atteinte de ces objectifs passe par une connaissance fine des éléments suivants et de leurs interactions :

- L'aléa inondation en tout point du territoire concerné (c'est à dire les niveaux de danger atteints dans l'ensemble de la zone inondable) ;
- Les enjeux soumis à cet aléa et leur vulnérabilité aux inondations ou leur capacité d'expansion de crue. [6]

Les PPRI délimitent les zones exposées au risque d'inondation, y réglementent l'urbanisation en fonction de l'occupation actuelle du territoire et du niveau de danger, et y prévoient des mesures de réduction de vulnérabilité et de sauvegarde des enjeux existants. Les zones suivantes sont définies par un PPRI :

- les zones inconstructibles, où la règle générale est l'interdiction d'implanter de nouvelles constructions, sauf exceptions permises sous conditions ;
- les zones constructibles, où la règle générale est l'autorisation d'implanter de nouvelles constructions dans le respect de prescriptions adaptées au type d'enjeu et au niveau de risque. [6]

### **IV.3 Expériences mondiales pour réduire le risque d'inondations**

### IV.3.1 L'expérience du gouvernorat Oman de Mascate

Plusieurs régions d'Oman ont été ébranlées par de fortes pluies aux risques d'inondation, ce qui a entraîné la montée du niveau de l'eau à la surface de la terre a formé des torrents torrentiels, et des travaux ont été entrepris pour réduire leurs effets et réduire de ses pertes, en réalisant des cartes qui identifient les sites menacés par les inondations en créant une carte qui montrent la classification des zones en trois catégories, y compris les zones à haut risque et à risque moyen et à très dangereux risque, et l'identification des zones dangereuses fait suite à la conduite d'études et de recherches qui améliorent le travail des réseaux de drainage naturels, ajout de réseaux de drainage industriels, amélioration des systèmes d'alerte précoce et établissement de règles Information pour réduire le risque d'inondation 'utilisation de la technologie GIS pour analyser les processus qui se produisent sur les pentes Voies navigables et prévisions Cela nécessite une grande base de données pour cela, et cette technologie est utilisée car elle est capable de Traiter de grandes quantités de données sur le passé, le présent et le futur et les intégrer sur place à des fins de prédictions, En plus de sa capacité à afficher des données sous différentes formes. [7]



Figure V.1 : Mise en place de 4 barrages de protection contre les risques d'inondation au Sultanat d'Oman<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> <https://www.wa-gulf.com/wp-content/uploads/2022/01/04F94D57-61FD-4986-80EC-2C3A3614324A.jpeg>

### **IV.3.2 L'expérience de la République Populaire de la Chine**

Les inondations rapides sont responsables des pertes les plus importantes dans les villes chinoises, ce qui a poussé le gouvernement à mettre des mesures pour le combattre dans le cadre de plans quinquennaux, après avoir identifié les sites à risque qui se sont propagés dans toutes les régions.[3]

En conséquence, un plan de conception modèle pour les systèmes de surveillance et d'annonce des crues a été élaboré en un effort de collaboration entre le ministère des Ressources en eau, le Bureau météorologique, le ministère des Terres et des Ressources et le ministère de logement Et le développement urbain et rural et le ministère de la protection de l'environnement, et a été progressivement mis en œuvre depuis 2005, qui a été nommé dans le programme FFMWSs, ce système comprenait un réseau de stations de mesure qui surveillent les précipitations et les niveaux et le drainage des rivières, et ces stations transmettent automatiquement les données aux stations manuelles, qui font rapport sur L'heure de la crue est approximative, le programme comprend une base de données et des programmes pour sa gestion et des plateformes pour sa collecte, Ce qui permet de fournir ces données sous la forme de systèmes d'informations géographiques sur Internet en plus des informations alertes sonores et visuelles, et si les alertes ne sont pas activées, elles sont automatiquement envoyées via les services de messagerie. À court terme, ce qui conduit à l'activation de plans d'intervention d'urgence qui incluent le déploiement d>alertes dans les zones et les villages, les équipes d'urgence et toutes les personnes touchées, et grâce à ces mesures, les risques d'inondation par la gestion de l'utilisation des terres et la gestion du développement dans les plaines inondables pour atteindre l'arbitrage sur les zones marginales entre les bénéfices du développement et le coût des risques d'inondation, en plus des mesures de restauration règlement qui a été utilisé pour réduire les risques d'inondation.[3]

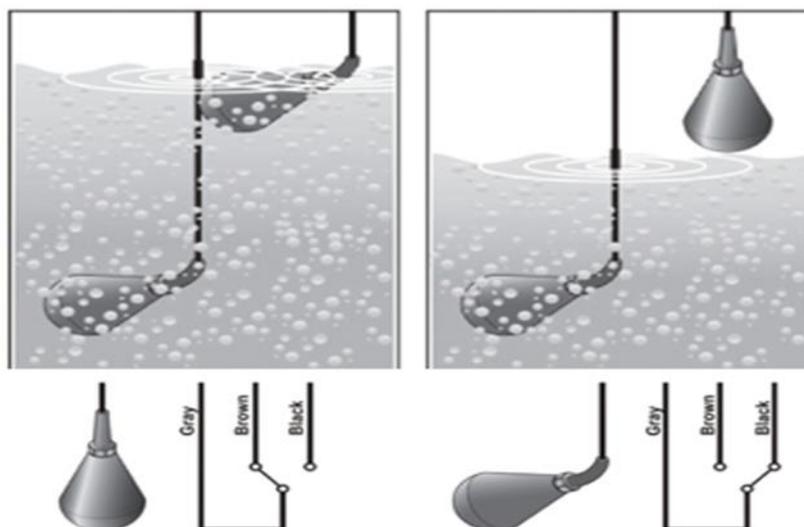


Figure V.2 : systèmes d'alertes inondations 41

### IV.3.3 L'expérience de la ville de Tokyo au Japon

La Ring Road N° 7 fait le tour des 23 quartiers de Tokyo, et juste en dessous d'une section de la route se trouve quarante mètres de lignes de métro, quelque chose qui ressemble à un tunnel géant que les gens ont oublié. Ce « tunnel » s'étend du nord au sud sur une distance de 4,5 km et porte le nom de « Réservoir d'eau jaillissant de la rivière Kanda-Gawa au bas de la rocade n° 7 ». [11]

Les Japonais appelaient la ville "Kanda Josui" la ville d'Edo, et il ne fait aucun doute que les citoyens de notre époque aiment cette rivière, bien que de nombreux habitants des zones basses soient exposés aux inondations lorsque la rivière monte sur ses rives. De temps en temps, et l'idée de construire un réservoir d'eau de précipitation est venu résoudre ce problème. Aujourd'hui, lorsque la rivière monte, l'eau est filtrée et temporairement stockée dans le réservoir. Les ingénieurs ont commencé à puiser l'eau de la rivière vers une partie du réservoir depuis 1997, et depuis cette date, le dessin a été répété trente-six fois jusqu'à présent, réduisant considérablement l'inondation de la rivière au fond. [11]

Des systèmes de réservoirs similaires ont été établis dans de nombreuses régions du Japon, bien que le système de Tokyo soit le premier et le plus impressionnant, et le Japon a récemment enregistré une augmentation constante des pluies torrentielles et de la pluie, ce qui signifie que les réservoirs d'eau en éruption joueront dans un avenir

<sup>41</sup> <https://gsm-domotique.com/wp-content/uploads/2016/05/poireFlygt.jpg>

proche un rôle plus fort et plus important pour sauver la population du Japon des inondations. [11]



Figure V.3 : Vue intérieure du réservoir d'eau courante, Le réservoir peut contenir 540 000 tonnes d'eau de crue <sup>42</sup>



Figure V.4 : Le panneau de commande central du bâtiment d'approvisionnement en eau de Zenbukuji, préfecture de Tokyo <sup>43</sup>

<sup>42</sup> <https://web-japan.org/niponica/images/ar/niponica15/feature03-01.jpg>

<sup>43</sup> <https://web-japan.org/niponica/images/ar/niponica15/feature03-03-thumb.jpg>



Figure V.5 : Avant la mise en place du réservoir, la rivière Kanda débordait des deux côtés, comme sur cette photo prise en septembre 1982 <sup>44</sup>

#### IV.4 QU'est-ce que la protection contre les inondations ?

En termes simples, la protection contre les inondations consiste en toute caractéristique temporaire ou permanente d'un bâtiment ou de ses environs qui réduit le risque de dommages causés par des eaux vives ou stagnantes. Outre des améliorations du drainage du bâtiment (des toits, des fondations et des jardins) et des améliorations des raccordements des services publics (clapets de protection anti-retour et autres), il existe deux stratégies fondamentales de protection contre les inondations :

- **La protection totale contre les inondations :**

Protection totale contre les inondations La protection totale contre les inondations consiste à condamner ou à déplacer toutes les ouvertures dans les murs ou les fondations d'un bâtiment qui sinon pourraient laisser les eaux de crue pénétrer dans un bâtiment. Par exemple, les fenêtres, les portes et d'autres ouvertures situées sous le niveau prévu d'inondation peuvent être condamnées et scellées en permanence. On peut également utiliser tout matériau résistant à l'eau et assez fort (briques, blocs de béton, briques de verre, etc.).

Après avoir été condamnées, les ouvertures ne peuvent plus

---

<sup>44</sup> <https://web-japan.org/niponica/images/ar/niponica15/feature03-02-thumb.jpg>

Servir et cette mesure ne devrait donc être prise que si les fenêtres et les portes ne sont pas requises pour répondre aux exigences du Code national du bâtiment et du Code national de prévention des incendies. [12]

Des revêtements étanches ou des scellants peuvent être appliqués sur les planchers de sous-sol et sur les murs de fondation pour réduire ou éliminer les infiltrations. Les fentes ou les fissures peuvent être remplies avec des scellants et une membrane étanche continue peut recouvrir l'extérieur des fondations. Les membranes peuvent être abîmées lorsque le remblai est mis en place et une installation correcte est donc importante.

Il faut également porter une attention spéciale à toutes les ouvertures servant aux services publics comme l'électricité, le téléphone, le propane, le gaz naturel, les égouts et l'eau, pour empêcher les infiltrations et les fuites dans le bâtiment. Les mesures susmentionnées peuvent être combinées à des barrières temporaires anti-inondation et des portes étanches.

Il est important de savoir que, bien qu'il soit techniquement possible de sceller les ouvertures dans les murs extérieurs ou dans les fondations pour créer une barrière étanche, ce n'est pas toujours une bonne idée parce que d'autres parties des murs ou des fondations du bâtiment peuvent tout de même s'effondrer durant une inondation. L'intégrité structurelle de maisons modernes, même bien construites, peut être menacée si le sol saturé s'étend au-dessus du niveau du plancher du sous-sol ou si le niveau d'inondation dépasse le sommet des fondations. Par conséquent, pour réduire le risque de graves dommages structurels, il faudrait obtenir l'avis d'un expert avant d'installer des fermetures, des scellants et d'autres barrières anti-inondation qui sont intégrés aux murs et aux fondations du bâtiment.

Un expert qualifié peut déterminer si les murs, les fondations et le plancher du sous-sol sont suffisamment forts pour résister au poids de l'eau exerçant une pression sur le bâtiment depuis l'extérieur (dite pression hydrostatique).

Quel que soit le type de fondations, le bâtiment devrait être ancré pour empêcher la flottaison ou le déplacement latéral en cas d'inondation. [12]



Figure V.6 : inondations nos solde plus en plus imperméables 45

- **La protection partielle contre les inondations :**

Lorsqu'on a recours à la protection partielle contre les inondations, il est également important de veiller à ce que tous les éléments structurels (poutres, planchers bruts, charpente, etc.) et les matériaux de finition (revêtements muraux, couvre plancher) qui peuvent être en contact avec les eaux de crue soient résistants aux dommages causés par le mouillage et le séchage (gonflement et fissuration) et puissent être nettoyés après l'inondation. Même les matériaux qui n'entreront pas en contact direct avec les eaux de crue devraient pouvoir résister à la moisissure et à l'humidité.

En général, les matériaux comme le bois non traité, les panneaux de particules, la moquette, les carreaux de liège, le plâtre, le contreplaqué ordinaire, les cloisons sèches de gypse, les planchers lamellaires, le linoléum, les revêtements muraux en vinyle et les carreaux de sol non constitués de céramique devraient être évités.

L'isolant de types natte et matelas comme la laine minérale ou la fibre de verre devrait également être évité parce qu'il retient l'eau et emprisonne tous les contaminants flottant sur l'eau.

Les matériaux de remplacement comprennent entre autres le contreplaqué de catégorie marine, les panneaux de ciment, le béton, les carreaux d'argile vernissés, le bois synthétique (sans éléments ligneux), la pierre naturelle ou artificielle non absorbante ou le placage de pierre avec coulis imperméable, les panneaux muraux d'acier, les carreaux de céramique ou de béton (posés avec du mortier plutôt qu'avec un adhésif), les portes de métal et l'isolant de plastique alvéolaire ou à alvéoles fermés.

---

<sup>45</sup> [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQsyqqP18XiNnbemrOIxR3A-F9Dpn6jl9\\_0NteuVC\\_2bhHVt1LzT0q9tWmtN-CLa6NhSTY&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQsyqqP18XiNnbemrOIxR3A-F9Dpn6jl9_0NteuVC_2bhHVt1LzT0q9tWmtN-CLa6NhSTY&usqp=CAU)

Lorsqu'il recourt à la protection partielle contre les inondations, le propriétaire ou l'occupant devrait également préparer un plan dressant la liste des meubles et des avoirs vulnérables et prédéterminer une stratégie visant à les déplacer rapidement dans un endroit au-dessus du niveau d'inondation.

En outre, des dispositions devraient être prises en vue d'évacuer l'eau (pompage et déshumidification) du sous-sol lorsque l'inondation est terminée. D'autres mesures associées à la protection partielle contre les inondations, y compris des dispositions spéciales concernant les services d'électricité.

Si un bâtiment est susceptible d'être endommagé par des vagues, des glaces flottantes ou des débris durant une inondation, la protection partielle contre les inondations n'est pas une bonne option.

Une autre mise en garde concernant la protection partielle contre les inondations est que, par temps froid, l'eau qui pénètre dans un bâtiment peut geler et prendre de l'expansion, causant d'autres dommages. Par conséquent, la protection partielle contre les inondations peut ne pas constituer la meilleure option si d'autres solutions sont possibles. [12]

- **Aires de séjour souterraines Les sous-sols**

Sont la partie la plus basse d'un bâtiment et ils sont donc plus susceptibles d'être inondés. Dans les premières maisons, les sous-sols n'étaient généralement pas considérés comme des aires de séjour et servaient le plus souvent d'aires d'entreposage. Dans les maisons modernes, les sous-sols sont souvent finis avec des revêtements muraux et des planchers et ils servent de salles de détente, de chambres à coucher ou d'appartements tout équipés.

Les sous-sols finis et leur contenu sont très vulnérables aux dommages causés par les inondations. Afin d'éviter les risques pour la vie et les biens, la protection partielle contre les inondations ne devrait Étude de cas : Le sous-sol de type (Pulvériser et laver). Le sous-sol entièrement fini a dû être mis à nu. En cas de récurrence, le nettoyage devrait être beaucoup plus facile. Le sous-sol reconstruit comprend maintenant des escaliers en métal, des planchers en béton poli et un revêtement mural en mousse isolante recouvert de mortier, et d'un treillis d'acier et d'une couche de béton et de scellant. CBC Calgary, 20 mars 2014 8 pas servir à protéger les aires de séjour souterraines dans des bâtiments qui peuvent être touchés par une inondation soudaine

ou rapide. Bien que la protection totale contre les inondations (ayant recours à des mesures qui rendent un sous-sol étanche pour garder les eaux de crue à l'extérieur) semble être la meilleure option, elle peut être irréalisable. Comme on l'a mentionné précédemment, même si l'eau ne s'écoule pas rapidement, son poids exerçant une pression sur les murs ou sur les fondations d'un bâtiment étanche à l'eau pourrait causer d'importants dommages structurels. [12]

#### **IV.5 Surélévation des bâtiments**

Au cas où la topographie des lieux n'offre pas de position élevée, la surélévation peut être assurée de manière artificielle soit en créant une plateforme à une hauteur suffisante, soit en utilisant des pilotis. Ces mesures d'évitement ont été mises en œuvre par de nombreux groupes humains sur terre. Elles trouvent leur limite dès lors que le niveau de l'eau dépasse la cote de surélévation. [12]



Figure V.7: Surélévation des bâtiments 46

#### **IV.6 Les mesures de protection contre les inondations**

Les mesures Permanentes de protection contre les inondations sont intégrées dans la conception d'un bâtiment ou d'un terrain à bâtir. Elles sont en place de façon permanente et n'exigent pas d'autre intervention de la part des propriétaires ou des occupants au moment d'une inondation. Les sections suivantes en présentent des exemples. Raccordements aux égouts et drainage de lots Les mesures suivantes sont utiles à toute habitation, où qu'elle soit située par rapport aux inondations. Elles cherchent à régler les problèmes associés au drainage du toit, à la plomberie, aux services municipaux et au nivellement du terrain. Elles comprennent ce qui suit :

---

<sup>46</sup> [https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/mediatheque/6/0/7/000071706\\_600x400\\_c.jpg](https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/mediatheque/6/0/7/000071706_600x400_c.jpg)

- Nivellement du terrain et canaux améliorés pour éloigner l'eau des bâtiments.
- Drains de fondation pour éloigner l'eau de surface des fondations.
- Tuyaux de descente pluviale qui ne sont pas reliés aux drains de fondation et qui sont prolongés à l'écart des murs du bâtiment.
- Une pompe de puisard au sous-sol (avec une capacité appropriée et une alimentation électrique d'appoint) reliée à un égout pluvial ou à une décharge de surface à écoulement libre. Éviter de relier la pompe de puisard à l'égout sanitaire.
- Encadrements de soupirail du sous-sol (lorsque le nivellement du site le justifie) pour s'assurer que les appuis de fenêtre sont plus hauts que la surface de terrain adjacente.

Clapets qui empêchent les refoulements (d'un égout municipal ou d'une fosse septique) d'entrer dans le bâtiment. Les refoulements d'égouts peuvent causer d'importants dommages et inconvénients et survenir lorsque les points de rejet des égouts sont inondés et que l'eau est renvoyée par la canalisation d'égout dans un bâtiment. Il est important de se souvenir que des bâtiments peuvent être touchés même s'ils sont situés dans des secteurs où il n'y a pas d'inondation. [12]

#### **IV.7 Caractéristiques du dispositif de lutte contre l'inondation de l'agglomération**

Le dispositif technique mis en place (travaux destinés à mettre le village à l'abri des inondations) intégrait plusieurs aménagements antiérosifs au niveau des versants. Le dispositif fut complété par un autre dispositif de dérivation des eaux.

La première solution était de briser la force du courant et de sédimenter les apports solides par des ouvrages mécaniques au niveau des ravines qui drainent les versants pentus et qui se déversent dans le village. C'est une correction qui comprend une succession de seuils en gabions et/ou en pierres sèches. Ces derniers présentent généralement un déversoir dans leur partie centrale et sont implantés en escalier. Cette disposition permet théoriquement la dissipation de l'énergie des écoulements et conduit progressivement à une modification de la pente du talweg évoluant théoriquement à long terme vers la pente d'équilibre du torrent caractérisé par la disparition de tout phénomène d'arrachement et de dépôt.

L'autre envisageait de détourner les eaux qui dévalent du versant vers des exutoires naturels plus stables en dehors du village, en creusant des canaux perpendiculaires à la pente, ressemblant à des banquettes de dérivation. Ces canaux ont pour objet de collecter, en temps de crue, toutes les eaux qui descendent vers le village et de les conduire vers des exutoires naturels situés hors du village.

En cas des grands orages, pour éviter que les eaux débordent des fossés, le bourrelet aval du fossé est renforcé dans certains endroits par un mur en pierres. Ce renforcement a permis d'accroître la capacité de stockage du système.

Ces deux dispositifs combinés devaient contribuer au ralentissement des écoulements et permettre d'atteindre l'objectif global de réduction du risque d'inondation. [14]

## **Conclusion**

La prévention est un concept destiné à éviter des effets potentiellement nocifs événements dangereux complètement, et si certains risques de catastrophe ne peuvent être éliminés, la prévention vise à réduire des aspects de la vulnérabilité et du potentiel d'exposition aux aléas dans des circonstances où des risques subsistent en conséquence des inondations.

Prévention et protection Il s'agit de mesures et de procédures à long terme qui sont mises en œuvre pour réduire l'incidence des pertes humaines et matérielles causées par les inondations.

## Conclusion générale

Le travail de recherche que nous avons mené sur Vulnérabilité de l'agglomération de Hchachta (Mostaganem) face aux inondations a abouti aux résultats suivants :

- Expliquer la notion du risque inondation en montrant qu'il est un concept combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux. Par conséquent, la maîtrise de sa gestion nécessite obligatoirement la connaissance de deux notions; d'une part la compréhension du fonctionnement de l'aléa et d'autre part la maîtrise de l'occupation du sol.
- Les inondations est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où elle se manifestera.
- Les paramètres concourant à la formation des crues sont nombreux, cependant l'un d'eux est déterminant : la pluie.
- La prévision des inondations consiste donc principalement en une observation continue des précipitations.
- L'amélioration de la connaissance et l'information sur les inondations est nécessaire pour enrichir la stratégie de gestion des risques.
- Les effets des inondations en Algérie se traduisent par une récurrence des catastrophes affectant de nombreuses régions et villes ;
- L'agglomération de Hchachta est un site vulnérable aux inondations ce qui nécessite l'intervention des différents secteurs pour réduire le niveau de cette vulnérabilité et améliorer les mesures de protection

# Bibliographie

## Chapitre 1

- [1] <https://www.gouvernement.fr/risques/inondation>
- [2] <http://jb.henry.free.fr/documents/thes/chapitres/3>.
- [3] <https://bassin-agout.fr/Introduction-a-la-gestion-du-risque-inondation/>
- [4] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/meteorologie-inondation-6305/>
- [5] <https://www.eaufrance.fr/>
- [6] <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>
- [7] <https://www.sdea.fr/>
- [8] [https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/0/ressources/images/fig0\\_intro\\_up1.gif](https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/0/ressources/images/fig0_intro_up1.gif)
- [9] <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>
- [10] <https://www.georisques.gouv.fr/risques/inondations#:~:text=Le%20risque%20inondation%20correspond%20%C3%A0,des%20dommages%20ou%20des%20pr%C3%A9judices>.
- [11] <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=604x10000:format=jpg/path/s80052562558a9877/image/i76b999d7edab7da0/version/1454946439/image.jpg>
- [13] [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/debordement/DT\\_inondation1.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/debordement/DT_inondation1.jpg)
- [14] [http://www.irma-grenoble.com/photos/st-marcel-sur-aude/351w001EP\\_inondation-oct-2018/351w023EP.jpg](http://www.irma-grenoble.com/photos/st-marcel-sur-aude/351w001EP_inondation-oct-2018/351w023EP.jpg)
- [15] [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/2020\\_remontee15.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg)
- [16] [https://cdn-s-www.dna.fr/images/CABE49BA-C2CE-45CB B373-DE55F96BD198/NW\\_detail/un-batiment-de-la-cite-edf-a-diebolsheim-photo-dnavalerie-wackenheim-1626512242.jpg](https://cdn-s-www.dna.fr/images/CABE49BA-C2CE-45CB B373-DE55F96BD198/NW_detail/un-batiment-de-la-cite-edf-a-diebolsheim-photo-dnavalerie-wackenheim-1626512242.jpg)

- [17] [https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers\\_thematiques/inondation/2020\\_remontee15.jpg](https://www.georisques.gouv.fr/sites/default/files/dossiers_thematiques/inondation/2020_remontee15.jpg)
- [18] <https://hmf.enseiht.fr/travaux/CD9900/travaux/optsee/bei/g13/inondat2.gif>
- [19] <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/Risque-inondations-2004.pdf>
- [20] <https://www.cobahma.fr/images/f.jpg>
- [21] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/figures/figure2.2.jpg>
- [22] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/figures/figure2.2.jpg>
- [23] [https://www.spppi-paca.org/\\_depot\\_sppi/\\_depot\\_arko/articles/844/vulnerabilite-et-protection-des-etablissements-industriels-face-au-risque-inondation-dans-le-cadre-d\\_doc.pdf](https://www.spppi-paca.org/_depot_sppi/_depot_arko/articles/844/vulnerabilite-et-protection-des-etablissements-industriels-face-au-risque-inondation-dans-le-cadre-d_doc.pdf)
- [24] <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-sout/desbor17.gif>
- [25] [https://agrisur.fr/sites/default/files/prevention\\_degats\\_des\\_eaux.png](https://agrisur.fr/sites/default/files/prevention_degats_des_eaux.png)

## Chapitre 2

- [1] <https://www.monde-du-gecko.com/wp-content/uploads/2019/11/barrage-%C3%A9lectrique.jpg>
- [2] [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8\\_b.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8_b.jpg)
- [3] <https://www.monde-du-gecko.com/wp-content/uploads/2019/11/barrage-%C3%A9lectrique.jpg>
- [4] [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8\\_b.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8_b.jpg)
- [5] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/les-differentes-formes-de-barrages#:~:text=Le%20barrage%2Dpoids,la%20pression%20de%20l'eau.>
- [6] [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8\\_c.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p8_c.jpg)
- [7] [https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9\\_a.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9_a.jpg)
- [8] <https://www.swissdams.ch/fr/les-barrages/les-differents-types-de-barrages>

- [9][https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9\\_d.jpg](https://www.swissdams.ch/user/pages/03.les-barrages/05.les-differents-types-de-barrages/p9_d.jpg)
- [10]<https://www.aquaportail.com/definition-6122-canal-d- evacuation.html>
- [11][https://img.freepik.com/photos-gratuite/tuyau- evacuation-eaux-usees-eaux-usees-rejettent-eaux-usees-dans-riviere\\_96336-219.jpg?w=740](https://img.freepik.com/photos-gratuite/tuyau- evacuation-eaux-usees-eaux-usees-rejettent-eaux-usees-dans-riviere_96336-219.jpg?w=740)
- [12]<https://blog.hubspot.fr/marketing/canaux-de-distribution>
- [13]<https://thumbs.dreamstime.com/z/tuyau-d-%C3%A9vacuation-d-eaux-d-%C3%A9gout-2204480.jpg>
- [14]<https://previews.123rf.com/images/nagydodo/nagydodo1305/nagydodo130500094/19746116-le-canal-d-%C3%A9vacuation-d-eau.jpg>
- [15]<https://www.manager-go.com/assets/Uploads/types-de-canaux-de-distribution.png>
- [16]<https://www.inspq.qc.ca/securite-prevention-de-la-violence-et-des-traumatismes/prevention-des-traumatismes-non-intentionnels/dossiers/infrastructures-routieres#:~:text=Au%20Qu%20%C3%A9bec%20les%20collisions%20impliquant,et%2034%20403%20bles%20%C3%A9s%20%C3%A9gers.>
- [17]<https://i0.wp.com/leseco.ma/wp-content/uploads/2021/01/Infrastructures-routieres.jpg?fit=1200%2C600&ssl=1>
- [18]<https://www.classicstranieri.com/fr/articles/r/o/u/Route.html>
- [19]<https://www.techno-science.net/illustration/Definition/300px/RouteDeCampagneEnFrance.JPG>
- [20]<https://codedelaroute.io/blog/differents-types-route/>
- [21][https://france3-regions.francetvinfo.fr/image/zcCdeNVvJYrXg\\_t28Q6oPHvB3Sk/1200x900/regions/2022/01/04/61d43a01cc357\\_maxnewsfrfour643670.jpg](https://france3-regions.francetvinfo.fr/image/zcCdeNVvJYrXg_t28Q6oPHvB3Sk/1200x900/regions/2022/01/04/61d43a01cc357_maxnewsfrfour643670.jpg)
- [22] <https://docplayer.fr/docs-images/63/48908052/images/33-0.jpg>
- [23][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/A450\\_Panneaux\\_C107.jpg/300px-A450\\_Panneaux\\_C107.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/A450_Panneaux_C107.jpg/300px-A450_Panneaux_C107.jpg)
- [24]<https://sf2.autoplus.fr/wp-content/uploads/autoplus/2021/07/19- autoroute-nationale-1-adobe-stock-750x410.jpg>
- [25][https://france3-regions.francetvinfo.fr/image/mbsXsqlcQnWZaolTDQaeH00nxyk/1200x900/regions/2020/06/09/5edf223dc6a41\\_argagon.jpg](https://france3-regions.francetvinfo.fr/image/mbsXsqlcQnWZaolTDQaeH00nxyk/1200x900/regions/2020/06/09/5edf223dc6a41_argagon.jpg)

- [26]<https://i1.wp.com/vost-free.com/wp-content/uploads/2021/08/Comment-savoir-si-route-departementale-ou-communale.jpg?fit=960%2C720&ssl=1>
- [27]<https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2022/05/20/139683/sans-infrastructure-intelligente-pas-smart-building>
- [28][https://www.lemoniteur.fr/mediatheque/4/1/0/001042014\\_520x330\\_c.jpg](https://www.lemoniteur.fr/mediatheque/4/1/0/001042014_520x330_c.jpg)
- [29][https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A2timent\\_\(construction\)#:~:text=Un%20b%C3%A2timent%20au%20sens%20commun,fonction%20sociale%2C%20politique%20ou%20culturelle.](https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A2timent_(construction)#:~:text=Un%20b%C3%A2timent%20au%20sens%20commun,fonction%20sociale%2C%20politique%20ou%20culturelle.)
- [30][https://www.batiactu.com/images/auto/620-465-c/20150420\\_120020\\_7.jpg](https://www.batiactu.com/images/auto/620-465-c/20150420_120020_7.jpg)
- [31]<https://www.rachatducredit.com/definition-batiment-public-9899.html>
- [32][https://www.actu-environnement.com/images/illustrations/news/28318\\_une.jpg](https://www.actu-environnement.com/images/illustrations/news/28318_une.jpg)
- [33][https://fr.wikipedia.org/wiki/Centre\\_commercial#:~:text=Un%20centre%20commercial%2C%20parfois%20d%C3%A9sign%C3%A9,abritent%20les%20clients%20des%20intemp%C3%A9ries.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Centre_commercial#:~:text=Un%20centre%20commercial%2C%20parfois%20d%C3%A9sign%C3%A9,abritent%20les%20clients%20des%20intemp%C3%A9ries.)
- [34][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/AnfaPlace\\_Mall\\_fa%C3%A7ade\\_arri%C3%A8re.jpg/1280px-AnfaPlace\\_Mall\\_fa%C3%A7ade\\_arri%C3%A8re.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/AnfaPlace_Mall_fa%C3%A7ade_arri%C3%A8re.jpg/1280px-AnfaPlace_Mall_fa%C3%A7ade_arri%C3%A8re.jpg)
- [35]<https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%B4pital>
- [36][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0d/Meander\\_MC\\_hoofdingang\\_oostzijde\\_8.JPG/220px-Meander\\_MC\\_hoofdingang\\_oostzijde\\_8.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0d/Meander_MC_hoofdingang_oostzijde_8.JPG/220px-Meander_MC_hoofdingang_oostzijde_8.JPG)
- [37]<https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%B4te>
- [38]<https://images.trvl-media.com/hotels/26000000/25130000/25123100/25123019/ab40f41e.jpg?impolicy=resizecrop&rw=670&ra=fit>
- [39]<https://cnrtl.fr/definition/r%C3%A9sidentiel>
- [40]<http://www.electricite-lafon.com/wp-content/uploads/2012/09/residentiel.jpg>
- [41]<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sport#:~:text=Le%20sport%2C%20d'usage%20r%C3%A9cent,physique%2C%20voir%20Pociello%2C%20C.>
- [42] <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/Risque-inondations-2004.pdf>).

#### Chapitre 4

- [1] <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/handle/123456789/5484>

- [2] <https://www.webteb.com/articles/16598>
- [3] Bouhafs Fateh (2018) Protection des villes contre les inondations, cas de la ville de Djelfa. Mémoire de Master, Université de M'Sila, 120 pages
- [4] <http://www.laregion-risquesnaturels.fr/213-quels-moyens-pour-prevenir-le-risque-inondation-.htm>
- [5] <https://www.gers.gouv.fr/Politiques-publiques/Prevention-des-risques-naturels-et-technologiques/Risques-naturels-inondation-retrait-gonflement-argiles-sismique/Risque-inondation/Les-Plans-de-Prevention-du-Risque-Inondation-PPRi-dans-le-Gers>
- [6] <http://www.vaucluse.gouv.fr/quels-sont-les-objectifs-poursuivis-par-le-ppri-a12749.html#:~:text=Les%20PPRi%20visent%20%C3%A0%20%C3%A9viter,%C3%A9conomique%20et%20le%20patrimoine%20culturel.>
- [7] [https://www.orientale.fr/page\\_1249\\_fr\\_12090\\_Terribles-inondations-au-Royaume-d-Oman.htm](https://www.orientale.fr/page_1249_fr_12090_Terribles-inondations-au-Royaume-d-Oman.htm)
- [8] <https://www.wa-gulf.com/wp-content/uploads/2022/01/04F94D57-61FD-4986-80EC-2C3A3614324A.jpeg>
- [10] <https://gsm-domotique.com/wp-content/uploads/2016/05/poireFlygt.jpg>
- [11] <https://web-japan.org/niponica/niponica15/ar/feature/feature03.html>
- [12] <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Flooding-Inondations/ProtectionContreLesInondations.pdf>
- [13] [https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/mediatheque/6/0/7/000071706\\_600x400\\_c.jpg](https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/mediatheque/6/0/7/000071706_600x400_c.jpg)
- [14] <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Flooding-Inondations/ProtectionContreLesInondations.pdf>