

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



كلية العلوم و التكنولوجيا

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الهندسة المدنية  
Département de Génie Civil



UNIVERSITE  
Abdelhamid Ibn Badis  
MOSTAGANEM

N° d'ordre : M...../GC/2021

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTERACADEMIQUE

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

### *Thème*

**Vulnérabilité des routes face aux inondations**

Présenté par :

Mr. GUESMIA Abdelhak

Mr. BAGHDOUD Bilal

*Soutenu publiquement le 16/09/2021 devant le jury composé de :*

Mr. BOUHALOUFA Ahmed	MAA	Université de Mostaganem	Président
Mr. SARDOU Miloud	MCA	Université de Mostaganem	Rapporteur
Mr. ZAOUI Mohamed	MCA	Université de Mostaganem	Examineur

Année universitaire : 2020/2021



## Remerciements

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

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

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

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

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

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

# Dédicace

*Ce travail est dédié à :*

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

*A nos familles*

*A tous nous amis.*

*A nous enseignants*

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

# Résumé

Mondialement, les inondations constituent l'une des catastrophes naturelles les plus meurtrières et dévastatrices. L'Algérie est vulnérable aux phénomènes d'inondations qui sont plus fréquents et causent d'importants dégâts humains et matériels. Le régime pluviométrique est très variable, qui passe de la sécheresse aux pluies torrentielles. Ces dernières génèrent des inondations dues à la montée des eaux dans les oueds qui inondent parfois les routes. Ces inondations ont comme effet l'endommagement des fondations, la ruine des ouvrages et l'isolement des communautés. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence la vulnérabilité des routes à l'aléa d'inondation avec une considération de quelques cas Algériens. L'étude s'est basée sur une recherche bibliographique sur les inondations en tant qu'aléa naturel et son impact sur les routes.

**Mots clés :** Vulnérabilité, Inondation, Routes

## Abstract

Globally, floods are one of the most deadly and devastating natural disasters. Algeria is vulnerable to flooding phenomena which are more frequent and cause significant human and material damage. The rainfall regime is very irregular, ranging from drought to torrential rains. The latter generate floods due to the rise of water in the rivers which sometimes flood the roads. These floods have the effect of damaging the foundations, ruining the structures and isolating the communities. The objective of this work is to highlight the vulnerability of roads to the risk of flooding with a consideration of some Algerian cases. The study was based on a bibliographic research on floods as a natural hazard and its impact on roads.

**Keywords:** Vulnerability, Flooding, Roads

## ملخص

تعد الفيضانات من أكثر الكوارث الطبيعية فتكًا وتدميرًا على الصعيد العالمي. الجزائر عرضة لظواهر الفيضانات التي تتكرر وتتسبب في أضرار بشرية ومادية كبيرة. نظام هطول الأمطار غير منتظم للغاية ويتراوح من الجفاف إلى الأمطار الغزيرة. هذه الأخيرة تولد فيضانات بسبب ارتفاع المياه في الأنهار التي تغمر الطرق في بعض الأحيان. ولهذه الفيضانات أثر في إتلاف الأساسات وتخريب الهياكل وعزل التجمعات السكانية. الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على ضعف الطرق لخطر الفيضانات مع النظر في بعض الحالات الجزائرية. اعتمدت الدراسة على بحث ببيوغرافي عن الفيضانات كخطر طبيعي وتأثيرها على الطرق.

الكلمات المفتاحية: الهشاشة، الفيضانات، الطرق

# 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>
<b>ملخص</b> .....	<b>V</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>VI</b>
<b>Table des figures</b> .....	<b>IX</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>10</b>
<b>I. Notions générales sur les inondations</b> .....	<b>13</b>
Introduction .....	13
I.1 Définitions .....	13
I.1.1 Aléa .....	13
I.1.2 Vulnérabilité.....	13
I.1.3 Risque .....	14
I.1.4 Crues .....	14
I.1.5 Inondation.....	14
I.2 Types d'inondations.....	14
I.2.1 Inondations par crues torrentielles.....	15
I.2.2 Inondations par ruissellement en secteur urbain.....	15
I.2.3 Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle .....	16
I.2.4 Inondations marines .....	17
Conclusion.....	17
<b>II. Vulnérabilité du réseau routier aux inondations</b> .....	<b>19</b>
Introduction .....	19
II.1 Typologie des réseaux urbains .....	19
II.2 La vulnérabilité du réseau routier .....	19
II.2.1 L'importance de l'étude des vulnérabilités des réseaux routiers.....	19

II.2.2	Le rôle des réseaux routiers dans un territoire .....	20
II.2.3	La vulnérabilité des réseaux routiers .....	20
II.3	Mécanismes d'atteinte des réseaux routiers .....	21
II.3.1	Atteintes directes par l'inondation.....	21
II.3.1.1	La submersion.....	21
II.3.1.2	L'infiltration et l'humidité .....	21
II.3.1.3	L'action mécanique de l'eau.....	21
II.3.1.4	Les embâcles et l'alluvionnement.....	22
II.3.2	Atteintes indirectes .....	22
II.4	Impacts potentiels de l'atteinte aux réseaux routiers .....	23
II.4.1	Sécurité des personnes .....	23
II.4.2	Coût des dommages.....	23
II.4.3	Effets domino et propagation .....	23
	Conclusion.....	24
<b>III.</b>	<b>Vulnérabilité des routes aux inondations : cas Algériens .....</b>	<b>26</b>
	Introduction .....	26
III.1	L'inondation du 06 mars 2021 à Chlef.....	26
III.2	Les inondations du 24-25 janvier 2019 à Annaba .....	27
III.3	Les inondations d'Alger.....	28
III.3.1	L'inondation du 12 septembre 2019 .....	28
III.3.2	L'inondation du 09 septembre 2020 .....	28
III.4	L'inondation du 10 septembre 2013 à Oran.....	29
III.5	L'inondation du 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa) .....	30
III.6	L'inondation d'El-Bayadh en 2011 .....	31
III.7	L'inondation du 08/09/2015 à Djelfa.....	32
III.8	L'inondation du 10 octobre 2008 à Béchar .....	34
III.9	L'inondation du 01 octobre 2008 à Ghardaïa.....	34
	Conclusion.....	37
<b>IV.</b>	<b>Aménagements des routes contre les crues .....</b>	<b>39</b>
	Introduction .....	39
IV.1	Planification et conception des routes en zones inondables .....	39
IV.1.1	Aperçu .....	39

IV.1.2	Contexte.....	41
IV.1.3	Données nécessaires .....	41
IV.2	Planification du tracé des routes.....	41
IV.2.1	Identification des lieux de franchissement et les zones inondables .....	41
IV.2.2	Sélection des périodes de retour de conception.....	42
IV.3	Estimation des variables de l'eau .....	43
IV.3.1	Estimation des débits d'eau pour la période de retour de la conception .....	43
IV.3.2	Détermination des autres variables de l'eau et les voies d'écoulement.....	44
IV.4	Conception des traversées d'eau .....	44
IV.4.1	Conception hydraulique de la traversée.....	44
IV.4.2	Conception structurelle de la traversée.....	46
	Conclusion.....	46
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>47</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>49</b>

# Table des figures

Figure I.1: Inondation par crues torrentielles .....	15
Figure I.2: Inondation par ruissellement en secteur urbain.....	16
Figure I.3: Inondation par débordement au-dessus de la digue.....	16
Figure I.4: Inondations côtières d'origine marine .....	17
Figure II.1: Schémas d'évolution de l'accessibilité .....	20
Figure II.2: Risque d'inondation sur le réseau de transport.....	22
Figure II.3: Effets domino et propagation.....	24
Figure III.1: Les inondations de Chlef 2021.....	26
Figure III.2: Les inondations d'Annaba 2019.....	27
Figure III.3: Les inondations des stations de métro d'Alger (12/09/2019).....	28
Figure III.4: L'inondation du 09 septembre 2020 à Alger .....	29
Figure III.5: Les inondations d'Oran du 10/09/2013.....	30
Figure III.6: Les inondations de 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa) .....	31
Figure III.7: Les inondations de la ville d'El-Bayadh en 2011.....	32
Figure III.8: Les inondations de Djelfa le 08/09/2015.....	33
Figure III.9: Inondations causées par la crue d'octobre 2008 dans la ville de Béchar.....	34
Figure III.10: Les inondations 01 octobre 2008 à Ghardaïa .....	35
Figure III.11: L'inondation du 02/08/2018 à in Guezzam (Tamanrasset).....	36
Figure IV.1: Pont combiné avec des ponceaux de secours en plaine inondable .....	39
Figure IV.2: Conséquences des mauvaises conceptions ou de crues extrêmes sur les routes et ses environs .....	40
Figure IV.3: Exemple de carte du risque d'inondation .....	42
Figure IV.4: Modélisation hydraulique d'inondation .....	45

# Introduction générale

Mondialement, les inondations sont parmi les risques majeurs qui figurent au premier rang en termes de dommages et pertes humaines. La région méditerranéenne a connu plusieurs inondations dans le passé qui deviennent une réelle menace au fil du temps.

L'Algérie est vulnérable aux phénomènes d'inondations qui sont plus fréquents et causent d'importants dégâts humains et matériels. Le régime pluviométrique est très variable, qui passe de la sécheresse aux pluies torrentielles. Ces dernières génèrent des inondations dues à la montée des eaux dans les oueds qui inondent parfois les routes. Ces inondations ont comme effet l'endommagement des fondations, la ruine des ouvrages et l'isolement des communautés.

Les réseaux routiers sont indispensables pour l'économie, la société, l'environnement et la sécurité. Les inondations constituent une menace majeure pour les routes et peuvent conduire à une obstruction massive du trafic et à des dégâts aux structures routières (Buren et Buma 2012). Les conséquences des inondations peuvent être très significatives pour les sociétés en entraînant des coûts de réparation élevés, des difficultés d'accès pour les services d'urgence et des perturbations pour les usagers de la route (Brabhakaran et al. 2006 ; Versini et al. 2010). En raison du temps et des coûts nécessaires à la reconstruction, une planification durable et à long terme est cruciale (Michaélet al. 2010).

La prise en compte du risque d'inondation constitue un élément important de la prise de décision dans la planification des routes. L'analyse des risques d'inondation pour les réseaux routiers permet de réaliser des plans de manière appropriée, en allouant des ressources pour la prévention, l'atténuation et la restauration (Balijepalli et Oppong 2014 ; Jenelius et Mattsson 2014).

Cette étude vise à faire une recherche bibliographique sur les inondations, et sur la vulnérabilité des routes face à cet aléa naturel. Le manuscrit est constitué de quatre chapitres :

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 risques des routes en situations des crues. Il aborde des connaissances essentielles sur les routes, ensuite il montre les différents risques probables sur les routes.

Chapitre 03: intitulé risques de route en Algérie, ce chapitre vise à l'étude de l'effet des inondations sur les routes avec des exemples de certains événements survenus en Algérie.

Chapitre 04: intitulé Aménagement des routes contre les crues, ce chapitre montre les mesures et les dispositifs de surveillance et de protection des routes face aux impacts des inondations.

# **Chapitre 1**

## **Notions générales sur les inondations**

# I. Notions générales sur les inondations

---

## Introduction

Le niveau de risque varie d'une région à l'autre, et cette dernière peut être affectée par le type d'aléa et la vulnérabilité des enjeux. Si la zone inondable n'est pas utilisée par les humains, l'inondation ne provoquera pas de catastrophe.

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

#### I.1.1 Aléa

L'aléa, ou événement ou processus, doit être défini par une intensité, une occurrence spatiale et temporelle. L'intensité traduit l'importance d'un phénomène. Elle peut être mesurée (hauteur d'eau) ou estimée (durée de submersion). La probabilité d'occurrence spatiale est conditionnée par des facteurs de prédisposition ou de susceptibilité (géologique par exemple). La probabilité d'occurrence temporelle dépend de facteurs déclenchant naturels ou anthropiques. Elle peut être estimée qualitativement (négligeable, faible, forte) ou quantitativement (période de retour de 10 ans, 30 ans, 100 ans). La durée du phénomène doit être également prise en compte (durée considérée pour les précipitations pluvieuses)<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.

---

<sup>1</sup> [https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-2\\_1.html](https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-2_1.html)

### I.1.3 Risque

La définition usuelle donnée pour le risque naturel est la suivante :

$$\text{(Risque)} = \text{(aléa)} \times \text{(enjeu)}$$

Le risque est donc la confrontation d'un aléa (phénomène naturel dangereux) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent être humains, économiques ou environnementaux<sup>2</sup>.

### I.1.4 Crues

Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume (Salomon, 1997).

### I.1.5 Inondation

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. L'expression recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau 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<sup>3</sup>.

## I.2 Types d'inondations

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

---

<sup>2</sup> [https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-2\\_1.html](https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-2_1.html)

<sup>3</sup> <https://www.gouvernement.fr/risques/inondation>

### I.2.1 Inondations par crues torrentielles

Les crues torrentielles sont des phénomènes soudains et violents causés par de fortes pluies de moins de 24 heures dans des bassins versants de petite échelle avec des pentes moyennement importantes. Ces inondations touchent principalement les montagnes et les rivières autour de la mer Méditerranée. Les crues torrentielles se caractérisent par des débits élevés un très fort transport solide. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues (Ledoux, 2006)<sup>4</sup>.

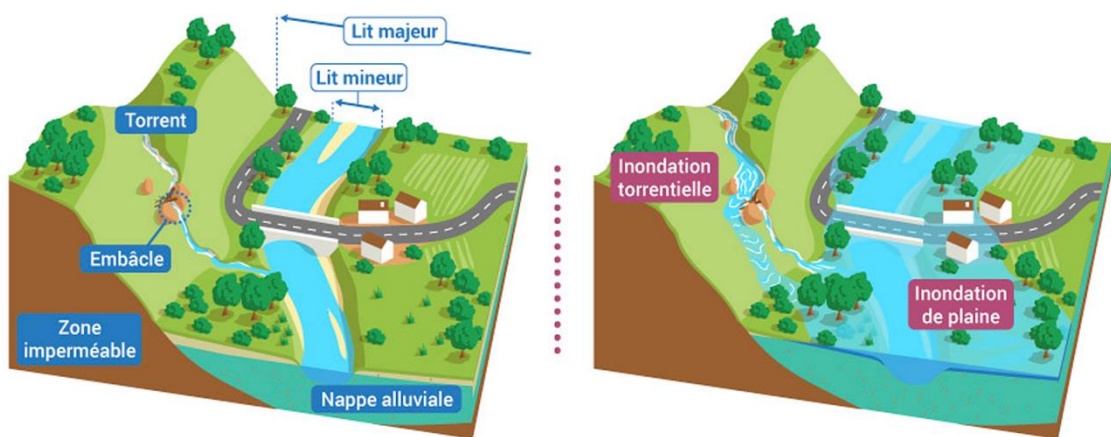


Figure I.1: Inondation par crues torrentielles<sup>5</sup>

### I.2.2 Inondations par ruissellement en secteur urbain

Les inondations par ruissellement en secteur urbain sont celles qui se produisent par écoulement dans les rues de volumes d'eau ruisselée sur le site ou à proximité et qui ne sont pas absorbés par le réseau d'assainissement superficiel et souterrain. L'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement<sup>6</sup>.

<sup>4</sup>La gestion du risque inondation », Edition Tec et Doc

<sup>5</sup><https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

<sup>6</sup><http://www.prim.net>



Figure I.2: Inondation par ruissellement en secteur urbain<sup>7</sup>

### I.2.3 Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle

La rupture de barrage correspond à la destruction partielle ou totale de l'ouvrage, qui entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval, voire un gigantesque torrent<sup>8</sup>.

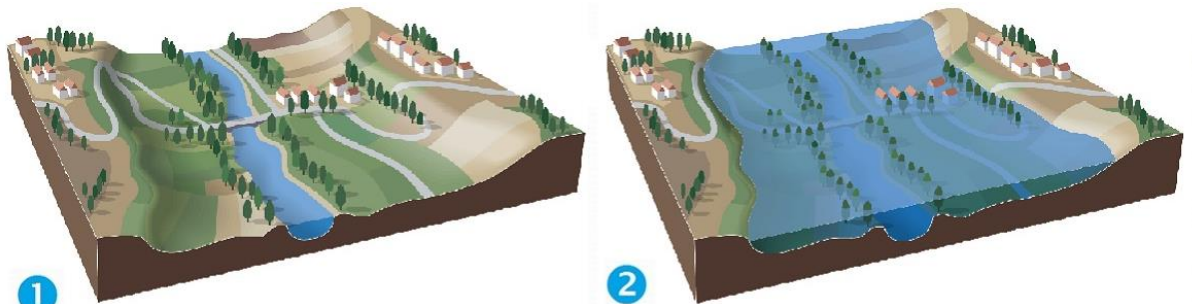


Figure I.3: Inondation par débordement au-dessus de la digue

<sup>7</sup><https://www.alamy.com/residential-buildings-are-partially-submerged-by-floodwater-in-the-flooded-areas-caused-by-torrential-rain-in-huangshan-city-east-chinas-anhui-provi-image262944517.html>

<sup>8</sup> <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/risques-technologiques-majeurs/rupture-de-barrage.html>

### I.2.4 Inondations marines

L'inondation marine est une inondation temporaire dans les zones côtières dans des conditions météorologiques (forte basse pression et brise marine) et de forts coefficients vagues. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (l'incidence est très faible, mais le phénomène dévastateur), que ce soit lors d'une tempête (vagues, vent et pluie) ou circonstances dans lesquelles le système de défense maritime se rompt (SPPPI 2004).

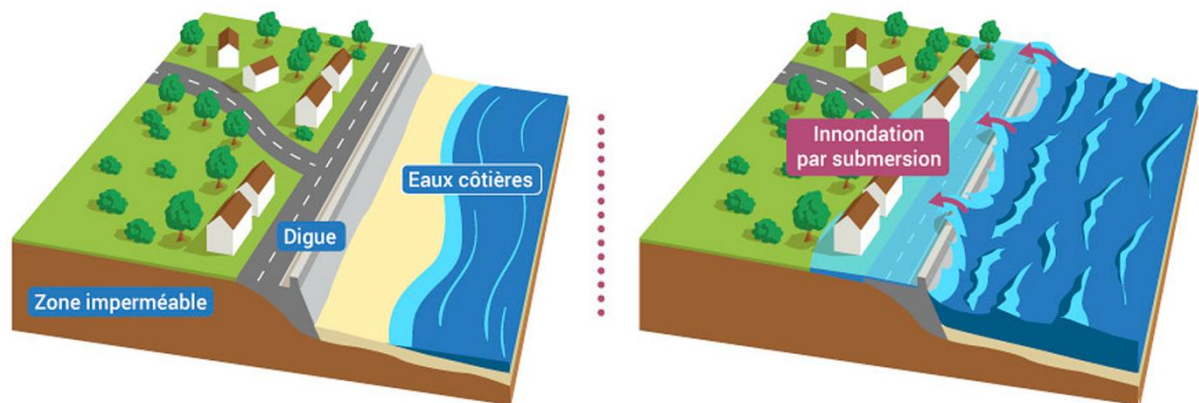


Figure I.4: Inondations côtières d'origine marine<sup>9</sup>

### 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>9</sup><https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

## **Chapitre 2**

# ***Vulnérabilité du réseau routier aux inondations***

## **II. Vulnérabilité du réseau routier aux inondations**

---

### **Introduction**

Actuellement, le réseau routier occupe une place importante. La croissance des villes entraîne une augmentation des besoins de transport, ce qui accroît la pression sur les infrastructures. Il est donc très important de disposer d'une infrastructure routière fiable pour s'assurer qu'elle fonctionne dans de mauvaises conditions. Il existe plusieurs risques différents qui peuvent avoir un impact sur l'infrastructure routière, comme par exemple les inondations. Étant donné que les différents systèmes d'infrastructure sont de plus en plus imbriqués et que la société devient plus vulnérable aux inondations, ce qui peut avoir des effets sur les systèmes d'infrastructure routier. Dans ce chapitre on aborde les concepts de vulnérabilité des réseaux de transport.

### **II.1 Typologie des réseaux urbains**

Les réseaux urbains sont indispensables au fonctionnement d'une ville. Les réseaux peuvent se classer en quatre types, selon leur organisation :

- Les réseaux de distribution d'eau potable, d'énergie : ils vont d'un point de concentration vers l'utilisateur;
- Les réseaux de collecte (assainissement, déchets ménagers) : ils vont de l'utilisateur vers un point de concentration;
- Les réseaux routiers et télécommunications : ils ont des origines et des destinations diffuses;

Les réseaux de transport en commun : ils vont d'un point de concentration à un autre.

### **II.2 La vulnérabilité du réseau routier**

#### **II.2.1 L'importance de l'étude des vulnérabilités des réseaux routiers**

Les réseaux routiers permettent de relier constituent des éléments nécessaires au fonctionnement des différentes entités d'un territoire. De plus, les dommages liés aux

réseaux urbains ne peuvent pas être rattachés à un périmètre bien délimité. En cas de forte inondation, le dysfonctionnement d'une route peut avoir des répercussions sur un secteur bien plus large que la zone inondée. Ainsi, il peut empêcher ou gêner le fonctionnement d'autres activités, rendre difficile la gestion pendant la crue et retarder la réparation et le remplacement des installations endommagées. En effet, le réseau routier peut aggraver la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondation. La notion de vulnérabilité du réseau de transport routier devient donc importante pour permettre une bonne gestion d'un évènement d'inondation.

### II.2.2 Le rôle des réseaux routiers dans un territoire

Les réseaux de transport assurent par leur continuité de relations avec les espaces et les agglomérations. Le réseau routier permet le transport de personnes et de marchandises par véhicules routiers, et en particulier, les véhicules motorisés. Ainsi, les opérations de secours peuvent se faire sans trop de difficulté vu que tout le territoire est accessible dans un temps assez court. En situation de crue cette accessibilité peut diminuer à cause de l'endommagement probable des routes. De ce fait, les opérations de secours ou d'évacuation d'enjeux deviendront plus difficiles car le temps de parcours va augmenter (Ducrocq 2008).

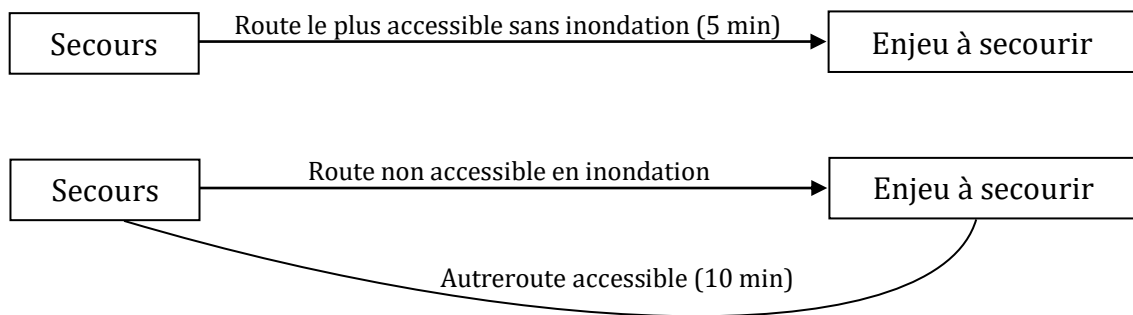


Figure II.1: Schémas d'évolution de l'accessibilité

### II.2.3 La vulnérabilité des réseaux routiers

L'étude de la vulnérabilité des réseaux routiers à l'aléa inondation nécessite la connaissance d'un certain nombre de concepts:

**L'accessibilité** : correspond, pour un lieu, à la plus ou moins grande facilité avec laquelle il peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux. L'accessibilité se définit également comme l'offre de mobilité qui ne dépend pas des décisions de celui qui

est mobile ou qui décide de la mobilité, mais des autres composantes du système de déplacements qu'il utilise (Auroy et al. 2010).

**La connexité du réseau routier** : un réseau est connexe lorsque tous les lieux peuvent être joints à partir de n'importe quel autre lieu. Il s'agit donc d'une propriété capitale pour le bon fonctionnement d'un réseau routier. En cas de réseau routier non connexe, cela signifie également que les secours ne pourront peut-être pas accéder à l'ensemble du territoire (Auroy et al. 2010).

**La connectivité** : correspond à la propriété d'un réseau d'offrir des itinéraires alternatifs entre les lieux. Elle reflète donc le caractère plus ou moins maillé ou arborescent d'un réseau, et finalement sa plus ou moins grande vulnérabilité à un aléa. En effet, un réseau de faible connectivité risque davantage de perdre son caractère connexe en cas de perturbation d'une partie du réseau, et donc la possibilité d'accéder à l'ensemble des points (Auroy et al. 2010).

## **II.3 Mécanismes d'atteinte des réseaux routiers**

### **II.3.1 Atteintes directes par l'inondation**

Plusieurs phénomènes sont à l'origine des dégâts :

#### **II.3.1.1 La submersion**

La submersion concerne la majorité des installations, et plus particulièrement les ouvrages souterrains: l'eau pénètre depuis la surface par les rampes, les escaliers d'accès, les soupiroux, mais aussi par les réseaux divers enterrés, posés en tranchée et se comportant comme de véritables drains.

#### **II.3.1.2 L'infiltration et l'humidité**

L'infiltration et l'humidité peuvent provoquer des courts circuits dans les parties électriques non-étanches, et ultérieurement, des phénomènes de corrosion qui pourront entraîner des dysfonctionnements différés dans le temps.

#### **II.3.1.3 L'action mécanique de l'eau**

L'action mécanique de l'eau peut provoquer un arrachement, une détérioration de la chaussée, laissant les réseaux sans protection. Soulignons aussi que les réseaux

immergés subissent une pression vers le haut. Dans le cas d'inondations rapides, la violence du courant et l'effet de vague peuvent rompre ou détériorer les réseaux aériens, de surface ou souterrains.

#### **II.3.1.4 Les embâcles et l'alluvionnement**

Les éléments plus ou moins grossiers charriés par la crue peuvent encombrer les réseaux, obstruer les passages et les points de concentration.



Figure II.2: Risque d'inondation sur le réseau de transport<sup>10</sup>

#### **II.3.2 Atteintes indirectes**

La particularité de la plupart des réseaux urbains réside dans leur interdépendance, ce qui a tendance à aggraver leur vulnérabilité aux inondations. Cette dépendance fonctionnelle entre réseaux peut, par effet domino, entraîner des défaillances en chaîne.

---

<sup>10</sup><https://www.theguardian.com/environment/2014/feb/11/englands-floods-everything-you-need-to-know>

## **II.4 Impacts potentiels de l'atteinte aux réseaux routiers**

### **II.4.1 Sécurité des personnes**

Une panne de réseau affecte directement la population vivant dans la région inondée en rendant la gestion de crise plus difficile. De plus, l'interruption du réseau affecte l'environnement de la vie quotidienne. En effet, la communauté affectée ne peut pas fournir des services publics dont elle a la responsabilité (ouverture des écoles, versement d'aides sociales, etc). Il y a donc un enjeu de responsabilité et un enjeu politique à prendre en compte en traitant l'atteinte de la population par les défaillances des réseaux. A contrario, le fait qu'un réseau soit encore en fonctionnement au moment où il est atteint par les eaux peut être dangereux pour lui-même et pour les personnes à proximité. Par exemple, si les voies de circulation ne sont pas fermées pour empêcher l'accès aux zones submergées, il y a mise en danger des usagers, en plus du risque de dégradation du véhicule.

### **II.4.2 Coût des dommages**

Les composantes du réseau représentent la richesse et la participation du territoire à son appel. Leur détérioration ou destruction constitue une perte héritage, besoin de réparation ou de reconstruction, le coût c'est la responsabilité de la communauté ou de l'opérateur privé (selon le cas). Ils représentent également coûts indirects dus aux pertes d'exploitation induites et aux pertes d'emplois possibles. Dans tous les cas, cela nuit à l'économie de la région et peut-être nuit à Frais facturés aux résidents. Lors de catastrophes telles que les inondations, les coûts indirects associés à la dégradation du réseau et à la défaillance fonctionnelle peuvent être très importants. Mais ces coûts sont encore difficiles à évaluer, et ils sont souvent oubliés ou incomplets dans leurs estimations. Ces coûts de dégradation du réseau reflètent non seulement leur importance dans le fonctionnement de notre société, mais aussi leur vulnérabilité aux risques.

### **II.4.3 Effets domino et propagation**

Il existe une forte interaction entre les différents réseaux et le degré de dépendance est également élevé des services publics au fonctionnement de ces

infrastructures. La moindre interférence peut être transmise d'un type de réseau à un autre type de réseau.



Figure II.3: Effets domino et propagation<sup>11</sup>

## Conclusion

L'analyse de la vulnérabilité du réseau routier exige d'envisager l'ensemble des configurations possibles d'inondation et pour chacune d'elles l'organisation des relations comparativement à la configuration normale.

Il apparaît que le réseau routier peut être très perturbé en période d'inondation. Au-delà de cette perturbation fonctionnelle, il est à constater que le dysfonctionnement du réseau induit une perte d'accessibilité et par conséquent augmente la vulnérabilité des enjeux.

Les outils multicritères intégrant des paramètres géographiques (localisation par rapport à l'aléa d'inondation, accessibilité), démographiques (densité de population), humains (type de population) permettent d'observer cette vulnérabilité globale des enjeux. Cet outil permet de comprendre comment des endommagements du réseau routier peuvent fragiliser des enjeux plus que d'autres. Il ouvre en cela des perspectives pour la réduction de la sensibilité des enjeux à l'aléa.

---

<sup>11</sup>CEPRI (2016) Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation. Rapport, France, 88 pages. [www.cepri.fr](http://www.cepri.fr)

## **Chapitre 3**

### ***Vulnérabilité des routes aux inondations: cas Algériens***

### III. Vulnérabilité des routes aux inondations : cas Algériens

---

#### Introduction

En Algérie, plusieurs régions sont menacées par les inondations. Dans ce chapitre nous montrons l'effet de ces inondations sur les routes avec des exemples de certains événements survenus aussi bien au nord qu'au sud du pays.

#### III.1 L'inondation du 06 mars 2021 à Chlef

Le 06 mars 2021, de fortes pluies ont provoqué une inondation mortelle dans la wilaya de Chlef. Oued Meknassa a inondé l'autoroute est-ouest à l'entrée de la wilaya (Fig III.1 a, b). Ces inondations ont causé 10 morts et plusieurs véhicules ont été emportés (Fig III.1 c). Outre les pertes matérielles et humaines enregistrées, le trafic a également été affecté par cet incident, ce qui a causé la fermeture complète de l'autoroute sur ses deux sens en incluant même la bande d'arrêt d'urgence (Fig III.1 d)<sup>12</sup>.



Figure III.1: Les inondations de Chlef 2021

(a, b) crue d'oued Meknassa; (c) voitures emportées; (d) inondation de l'autoroute est-ouest<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup><https://www.djazairess.com/fr/liberte/455403>

<sup>13</sup><https://www.aps.dz/regions/118693-crue-de-l-oued-meknassa-a-chlef-le-bilan-s-alourdit-a-6-morts>

### III.2 Les inondations du 24-25 janvier 2019 à Annaba

La région d'Annaba est vulnérable aux inondations, à cause de sa localisation au pied de mont d'Edough dans une assiette plate. Suite aux inondations survenues les 24 et 25 janvier 2019, la wilaya de Annaba a enregistré trois mort et plusieurs familles sinistrées. La route nationale n°44 reliant les communes d'Annaba et Berrahal, ainsi que la RN16 ont été inondées (Fig. III.2 a, b). Les pertes matérielles étaient considérables : 312 habitations emportées par les eaux, 22 établissements scolaires et de centaines d'hectares inondés, de dizaines de têtes de bétail à travers plusieurs communes de la wilaya (Fig. III.2 c). Le niveau de l'eau a atteint 2m de hauteur dans le complexe sidérurgique d'El Hadjar<sup>14</sup>. L'image satellitaire Alsat-2A (2,5m) du 02 février 2019 a permis d'identifier des traces d'inondations au niveau des terres agricoles dans les communes d'El Bouni, El Hadjar et à proximité de l'aéroport Rabah Bitat (Fig. III.2 d).



Figure III.2: Les inondations d'Annaba 2019

(a) inondation de la trémie qui mène de Sidi Amar à Annaba; (b) inondation de la zone industrielle d'El Hadjar; (c) dommages matériels<sup>15</sup>; (d) image satellitaire des traces d'inondation (ASAL 02/02/2019)<sup>16</sup>

<sup>14</sup><https://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20190127/160897.html>

<sup>15</sup><https://www.algerie360.com/inondations-de-annaba-bilan-et-mesures-de-prevention-en-debat/>

### III.3 Les inondations d'Alger

#### III.3.1 L'inondation du 12 septembre 2019

Des pluies torrentielles se sont abattues jeudi soir sur différentes régions de l'Algérie, et notamment sur la capitale. Les routes et les rues de plusieurs communes, ainsi que les stations de métro d'Alger ont inondées (Fig. III.3). Des dégâts matériels importants ont été enregistrés et plusieurs axes routiers, notamment la rocade sud, étaient impraticables sur plusieurs centaines de mètres. Le niveau des eaux à travers ces points a varié entre 5cm et 40 cm<sup>17</sup>.



Figure III.3: Les inondations des stations de métro d'Alger (12/09/2019)

#### III.3.2 L'inondation du 09 septembre 2020

Les averses qui se sont abattues sur la capitale ont provoqué des inondations dans plusieurs localités, causant la fermeture des routes, particulièrement à Sidi M'hamed, Chéraga, Gué de Constantine, Hussein Dey, et Bordj El Kiffan.

A cause de l'absence de l'entretien et de curage des réseaux d'assainissements les trémies ont été inondées, à l'instar de la trémie de Ruisseau qui s'est remplie d'eau et de boue (Fig. III.4a, b). Cette situation a fortement impacté la circulation routière, rendant l'accès à la capitale et ses environs très difficile (Fig. III.4 c). Dans la commune de Bordj El Bahri, les avaloirs et les regards et les canaux d'évacuation se sont bouchés ce qui a causé des inondations des quartiers (Fig. III.4 d)<sup>18</sup>.

<sup>16</sup><https://asal.dz/?p=888>

<sup>17</sup><https://observers.france24.com/fr/20190913-algerie-inondations-images-ville-blanche-sous-eaux>

<sup>18</sup><https://www.elwatan.com/regions/centre/alger/inondations-et-routes-fermees-dans-la-capitale-le-travail-des-collectivites-locales-mis-a-nu-09-09-2020>

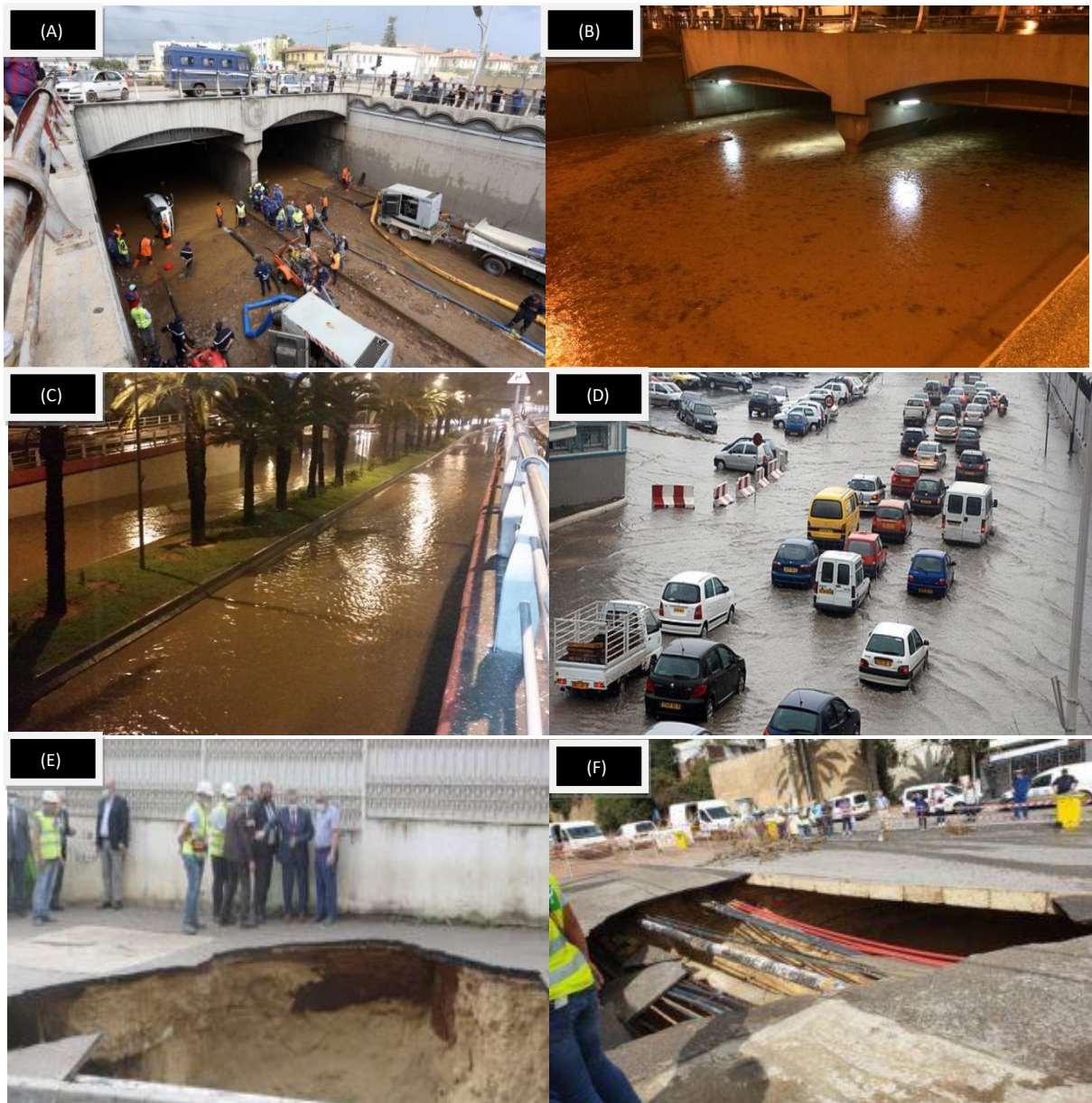


Figure III.4: L'inondation du 09 septembre 2020 à Alger

(a, b) inondation de la trémie de Ruisseau; (c) inondation des routes à Hussein Dey (Alger); (d) Difficulté de la circulation à Bordj el Bahri; (e, f) effondrement de route

#### III.4 L'inondation du 10 septembre 2013 à Oran

Suite aux averses intenses, des inondations et des glissements de terrain ont été enregistrés au niveau de certains quartiers. Des voitures ont été piégées par les eaux, notamment au niveau du rond-point de la cité Djamel et celui des trois cliniques à USTO, où le niveau d'eau a atteint un mètre en certains endroits (Fig. III.5 a). Plusieurs agglomérations ont été inondées à l'instar de Petit Lac (Haï Dhaya), Haï Es Sabah, à Sidi El Bachir, Oued Tlélat, Gdyel, et Hassi Aneur (Fig. III.5 b). Plusieurs axes routiers ont été

inondés où la circulation du tramway a été perturbée, et les automobilistes ont été obligés de changer leur itinéraire (Fig. III.5 c, d)<sup>19</sup>.



Figure III.5: Les inondations d'Oran du 10/09/2013

(a) inondation à Akid Lotfi; (b) inondation de centre-ville; (c) inondations des routes à Ain Turk; (d) difficulté de circulation<sup>20</sup>

### III.5 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 (Fig. III.6).

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

<sup>19</sup><https://www.djazairress.com/fr/elwatan/1435468>

<sup>20</sup><https://www.algerie360.com/intemperiesoran-sous-leau/>

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>21</sup>.



Figure III.6: Les inondations de 3 mai 2021 à Beni Slimane (Médéa)<sup>22</sup>  
(a) crue d'oued Boukraa; (b) voitures emportées par la crue; (c) inondation des routes; (d) effondrement partiel des routes

### III.6 L'inondation d'El-Bayadh en 2011

La ville d'El-Bayadh est sujette à diverses inondations. Les crues de la vallée Deffa ont causé de nombreuses pertes matérielles et humaines. Le début d'octobre 2011, des pluies estimées à 20 mm en moins d'une heure ont généré une inondation majeure d'oued qui a submergé la plupart des quartiers adjacent aux deux côtés de la vallée.

Les eaux de crue qui se sont déversées dans la vallée au cours du premier octobre 2011 ont atteint de 11 mètres de hauteur dépassant la hauteur habituelle estimée à 6 mètres. Le débit a atteint 401m<sup>3</sup>/s. Les dégâts étaient considérables (Figure III.7)<sup>23</sup>.

<sup>21</sup><https://www.djazairress.com/fr/elwatan/1718504>

<sup>22</sup><https://www.elwatan.com/edition/actualite/inondations-a-medea-et-msila-un-bilan-provisoire-fait-etat-de-cinq-deces-04-05-2021>

<sup>23</sup>[http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/14953/1/saouli\\_abdallah.pdf](http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/14953/1/saouli_abdallah.pdf)



Figure III.7: Les inondations de la ville d'El-Bayadh en 2011

(a, b) effondrement de la route dans le quartier Graba; (c, d) inondation d'Ain Mahboula; (e) effondrement de la route musée moudjahid; (f) dégâts matériels<sup>24</sup>

### III.7 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 08/09/2015, qui a causé 2 morts et d'énormes pertes matérielles dont 25 quartiers de la ville ont été inondés.

<sup>24</sup>Laroussi H et Ghezali L (2011) L'impact des obstacles naturels, techniques et immobiliers sur l'expansion urbaine de la ville d'El-Beidh. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran, 95 pages

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 équivalant 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.8).



Figure III.8: Les inondations de Djelfa le 08/09/2015

(a, b) effondrement de la route dans le quartier Bernada; (c) inondation d'oued Malah; (d, e) effondrement d'un mur; (f) difficulté de circulation au centre de la ville<sup>25</sup>

<sup>25</sup><https://www.djelfa.info/ar/mobile/news/djelfa/8999.html>

### III.8 L'inondation du 10 octobre 2008 à Béchar

La croissance démographique de population de la ville de Béchar et la forte densité ont conduit à l'expansion de ville sur les zones à risques d'inondations. Cependant, la population exposée aux risques ignore le plus souvent le danger qu'elle encoure.

Le 10 octobre 2008, Le niveau d'eau de l'oued Béchar s'est élevé anormalement. La hauteur maximale a atteint 6m, et le débit des eaux a atteint 950 m<sup>3</sup>/sec. Les précipitations ont débuté le mercredi 8 octobre 2008 vers 19h00, et se sont terminées le vendredi 10 octobre 2008 vers 8h30. Elles se sont renforcés à 7h20 le 9 octobre et 1h35 le 10 octobre, durant lesquels ils ont collecté 84,6 mm d'eau, correspondant à une intensité moyenne de 4,47 mm/heure (Benzahaf et Salem 2010).



Figure III.9: Inondations causées par la crue d'octobre 2008 dans la ville de Béchar

(a) Debdaba rive gauche; (b, c) Debdaba rive droite; (f) oued en crue

### III.9 L'inondation du 01 octobre 2008 à Ghardaïa

La vallée de M'zab est une région désertique sujette à des pluies soudaines et des inondations. Le 1<sup>er</sup> octobre 2008, les précipitations importantes ont atteint 60 mm dépassant la moyenne annuelle (50 mm) ce qui a généré des inondations qui a causé

d'importants dommages humains et matériels (plus de 80 victimes). Les secteurs public et privé ont été touchés par les inondations du 1er octobre 2008. La perturbation des lignes de transport routier a encore isolé les citoyens. Les pluies torrentielles ont bloqué de nombreux voyageurs à l'extérieur de l'État, d'autres ont été emportés par les crues alors qu'ils tentent de traverser l'oued. La circulation a été paralysée pendant plusieurs jours à cause de l'endommagement de certains ponts<sup>26</sup>.



Figure III.10: Les inondations 01 octobre 2008 à Ghardaïa<sup>27</sup>

(a, b) centre-ville inondé; (c) crue d'oued M'zab ; (d, e, f) les dommages matériels à la place Bab-el-Haddad

<sup>26</sup><https://www.djazairress.com/fr/elwatan/112764>

<sup>27</sup><https://observers.france24.com/fr/20081010-ville-ghardaia-ensevelie-boue-inondations>

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

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 (Fig. III.11a, b)<sup>28</sup>. Plusieurs habitations menaçant ruine ont été endommagés, et les quartiers situés aux bords de l'oued ont été inondés (Fig. III.11 c, d). Les images satellitaires montrent l'étendue des crues (Fig. III.11 e, f).



Figure III.11: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>29</sup>

<sup>28</sup><https://www.liberte-algerie.com/actualite/les-intemperies-font-des-degats-a-in-guezzam-297529>

<sup>29</sup><https://asal.dz/?p=228>

## **Conclusion**

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

Les effets des inondations en Algérie traduisent une récurrence des catastrophes affectant de nombreuses régions et villes. L'amélioration de la connaissance et l'information sur les inondations est nécessaire pour enrichir la stratégie de gestion des risques.

***Chapitre 4***  
***Aménagements des routes contre les***  
***crues***

## IV. Aménagements des routes contre les crues

---

### Introduction

Lorsque les routes traversent des zones inondables, il est important de s'assurer que l'écoulement potentiel de l'eau n'est pas obstrué. Dans ce cas, il faut prendre en considération les concepts de base de la conception des routes lorsqu'elles traversent les endroits sujets aux inondations.

### IV.1 Planification et conception des routes en zones inondables

#### IV.1.1 Aperçu

La construction de routes implique la mise en place d'une structure linéaire dans le paysage qui traverse souvent plusieurs rivières, ruisseaux et autres éléments aquatiques. Dans la conception des routes, il faut prévoir des structures pour transporter l'eau en toute sécurité sous la route. En général, ces structures d'acheminement seront des ponts pour les rivières importants, et un ou plusieurs ponceaux pour les petits cours d'eau. Les ponts ont une plus grande capacité d'écoulement, mais peuvent être plus coûteux, tandis que les ponceaux sont moins chers, mais ont des capacités plus faibles et peuvent ne pas avoir la durée de vie d'un pont (Fig. IV.1).



Figure IV.1: Pont combiné avec des ponceaux de secours en plaine inondable<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> <https://www.cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/use-case-book/3a-critical-infrastructure/3-2-design-guidelines/3-2-2-roads-in-flood-areas>

Le débit des eaux dépend de nombreux facteurs, notamment la saison, les conditions de précipitations et l'utilisation des terres. A cet effet, la conception correcte des routes traversant des cours d'eau et des zones inondables peut être une tâche difficile, surtout quand il existe peu de données ou d'informations sur lesquelles baser la conception. Même avec une traversée bien conçue, il y aura toujours des moments où il y aura des événements de crue plus extrêmes que ceux qui ont été choisis pour la conception de la route.

Les conséquences d'une mauvaise conception ou de crues extrêmes sur une route et ses environs sont multiples et peuvent être graves : (1) une perturbation du réseau routier (Fig. IV.2.a), (2) un risque pour les véhicules et les passagers qui tentent de traverser les eaux de crue sur la route (Fig. IV.2.b), (3) l'inondation des zones environnantes (Fig. IV.2.c), etc.



Figure IV.2: Conséquences des mauvaises conceptions ou de crues extrêmes sur les routes et ses environs

### **IV.1.2 Contexte**

Pour construire une route qui traverse un cours d'eau (rivière, ruisseau, etc.) et pour permettre à l'eau de passer à travers ou sous la route dans des situations des différentes de débit. En termes de conception des routes et des ouvrages de franchissement, sont les conditions de débit très élevées. Si le passage ne peut pas laisser passer toute l'eau sans en retenir une partie, l'eau s'accumulera derrière la structure et causera le débordement de la route et l'érosion des berges de la route. Cela signifie que pour concevoir un ouvrage de taille suffisante, il faut connaître les débits les plus extrêmes que l'on peut attendre à cet endroit et la période de retour pendant laquelle l'ouvrage doit rester praticable. Enfin, il est important de comprendre le contexte plus large du bassin versant afin d'éviter d'aggraver les conditions en aval tout en permettant des changements futurs en amont.

### **IV.1.3 Données nécessaires**

Les données nécessaires pour un projet routier franchissant une zone inondable sont multiples. À l'échelle nationale, les cartes existantes peuvent montrer les points de passage de l'eau, en plus, une carte nationale du risque d'inondation peut visualiser les sites exposés aux inondations. À l'échelle du bassin versant, la connaissance du caractère de bassin versant permet d'estimer les débits attendus au point de passage. Enfin, à l'échelle détaillée, les données topographiques spécifiques sont nécessaires pour réaliser la conception détaillée d'un ouvrage de franchissement, car des niveaux et des dimensions exacts sont nécessaires pour la construction.

## **IV.2 Planification du tracé des routes**

### **IV.2.1 Identification des lieux de franchissement et les zones inondables**

Cette étape consiste à comprendre le contexte géographique de la route, tel que les traversés des cours d'eau. Les informations sur les inondations existantes à ces points de passage peuvent être obtenues à partir des cartes du risque d'inondation et des catalogues historiques des inondations, ou même des entretiens avec les personnes vivant dans la région (Fig. IV.3). A ce stade de la planification, le tracé de la route peut être ajusté pour éviter les zones à haut risque d'inondation. Cette option peut être parfois rentable que la construction de grands ouvrages de franchissement. Il est à noter

qu'à ce stade une route peut constituer une barrière potentielle à l'écoulement de l'eau et donc devenir une source majeure d'inondation au niveau local ou avoir des impacts sur les zones en aval. En outre, la réhabilitation de routes existantes se fait souvent à cause des inondations dues à une capacité d'écoulement insuffisante ou à cause des changements faites en amont. Il faut également se rappeler que le tracé d'une route comprend de nombreuses autres considérations (environnement, propriété foncière, etc.) en plus des aspects liés aux inondations. A cet effet, une approche holistique du bassin versant est nécessaire pour traiter ces questions avec succès dans leur ensemble.

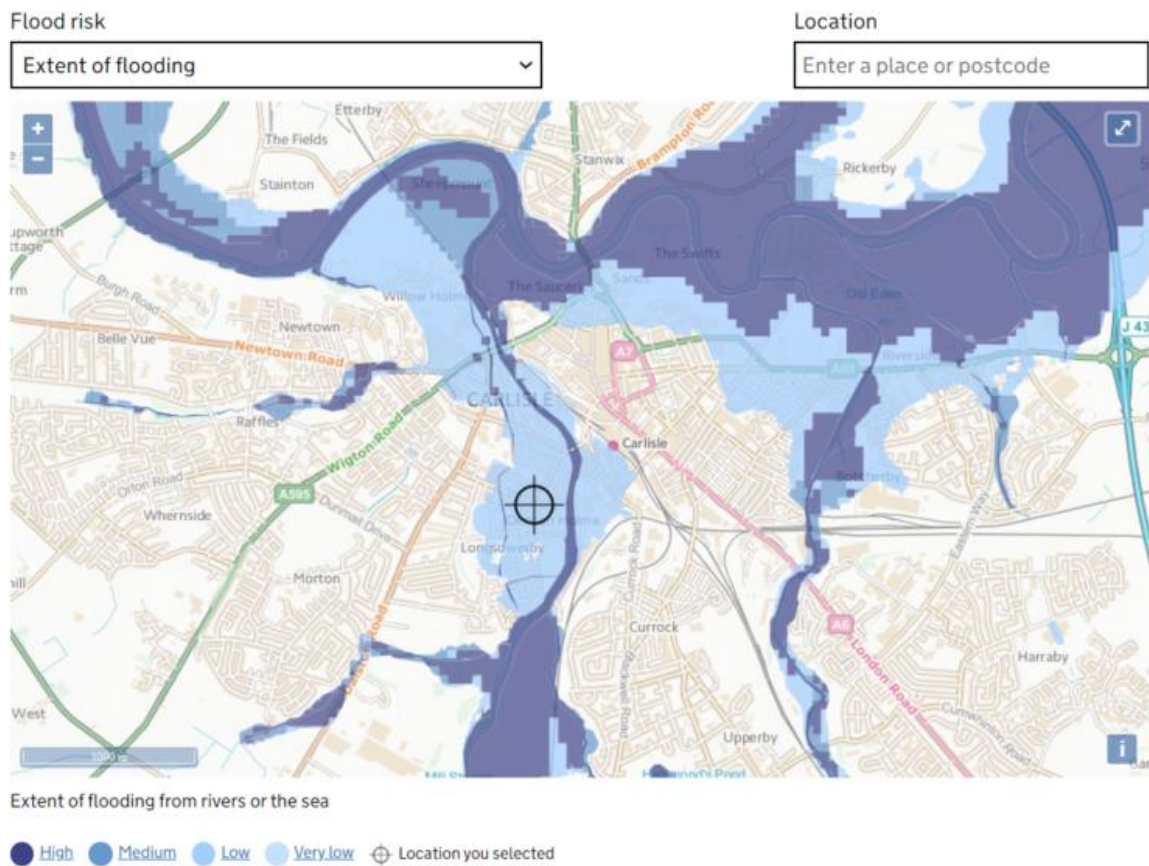


Figure IV.3: Exemple de carte du risque d'inondation<sup>31</sup>

## IV.2.2 Sélection des périodes de retour de conception

La norme de protection pour la route et ses traversées de cours d'eau doit être identifiée. Elles sont généralement définies dans des normes afin de garantir la cohérence de la conception et l'adéquation aux conditions locales. Comme il n'est pas possible de prendre en compte tous les événements extrêmes possibles, une période de retour de conception est souvent choisie en fonction de l'importance de la route et du

<sup>31</sup> <https://thefloodhub.co.uk/am-i-at-risk/>

coût d'une norme particulière de franchissement. Les routes nationales les plus importantes ont tendance à être conçues avec une période de retour plus élevée et les routes locales plus petites avec une période de retour plus faible. Certains pays imposent également des tailles minimales pour les passages à niveau afin de faciliter l'entretien et la durée de vie prévue de la structure qui est souvent pris en compte dans la période de retour de la conception.

### **IV.3 Estimation des variables de l'eau**

#### **IV.3.1 Estimation des débits d'eau pour la période de retour de la conception**

Après l'identification de l'emplacement du cours d'eau et les problèmes associés, il est nécessaire d'estimer le débit des eaux pour la conception de la traversée. Le débit de conception est un débit pour une norme de conception de franchissement et une période de retour spécifiques. Cela peut être aussi simple que d'estimer les débits du bassin versant en amont d'un passage à niveau en utilisant la méthode rationnelle et les précipitations de référence, ou cela peut impliquer un exercice complexe de modélisation du ruissellement pluvial. La méthode rationnelle, par exemple, est un moyen simple d'estimer la part des précipitations qui s'abattent sur un bassin versant et qui deviennent le débit d'une rivière à un endroit particulier. Elle utilise un ratio de ruissellement multiplié par la surface du bassin versant pour convertir les précipitations en un débit de rivière. De nombreux facteurs doivent être pris en compte dans l'estimation des débits, et même dans ce cas, les résultats sont souvent très incertains, à moins que des mesures de débit détaillées à long terme soient disponibles. D'un point de vue pratique, la chose importante à garder à l'esprit est de savoir quelles hypothèses ont été utilisées pour calculer les débits et quelle est la sensibilité des estimations de débit à ces hypothèses. Il est donc courant d'entreprendre au moins une analyse de sensibilité de base pour voir si cela est important du point de vue de la conception. La méthode effectivement utilisée pour déterminer les débits de conception dépendra de la complexité du contexte et des données disponibles. Cependant, même si très peu de données sont disponibles, il est possible d'obtenir une estimation, suffisante pour au moins quantifier l'ampleur de la capacité de franchissement requise. Il est également courant d'entreprendre une application de base de la méthode rationnelle, même si un modèle complexe de ruissellement pluvial est appliqué, afin de tester que les résultats du modèle ne sont pas déraisonnables.

### **IV.3.2 Détermination des autres variables de l'eau et les voies d'écoulement**

Après l'évaluation des débits de conception, il faut déterminer ce que ce débit signifie en termes de niveaux et de vitesses d'eau. Ces variables supplémentaires du cours d'eau sont souvent nécessaires pour la conception de passages d'eau plus complexes. La vitesse de l'écoulement peut également être requise pour les calculs d'affouillement, afin de déterminer si une protection supplémentaire des berges est nécessaire à proximité du passage d'eau. Pour traduire un débit de conception en un niveau d'eau ou une vitesse, il faut avoir une compréhension de base de la géométrie du canal du cours d'eau et de la capacité de franchissement. Les calculs peuvent être aussi simples que l'application de l'équation de Manning avec quelques estimations de la pente et de la taille du chenal, jusqu'à une modélisation hydraulique bidimensionnelle complète et complexe de la traversée, nécessitant un relevé topographique complet. La méthode choisie doit être adaptée à l'échelle, à l'importance et à la complexité du cours d'eau traversé. Par exemple, si la traversée est importante (par exemple, une rivière principale) et qu'elle transporte une autoroute importante, une modélisation hydraulique complète en 2D serait attendue, cependant, s'il s'agit d'un petit ponceau sur une route d'accès, un simple calcul de Manning de contre-courant serait suffisant.

Enfin, il est nécessaire de comprendre les voies d'écoulement, si la traversée finit par bloquer les flux, par exemple, si un ponceau se bloque ou si un événement de débit plus élevé que l'événement de conception se produit. Cela permet de prendre les mesures d'atténuation appropriées, telles que le renforcement de la surface de la route pour permettre à l'écoulement de déborder avec un minimum de dommages.

## **IV.4 Conception des traversées d'eau**

### **IV.4.1 Conception hydraulique de la traversée**

Cette étape de l'analyse est étroitement liée à l'étape IV.3.2 ci-dessus, car la conception de la traversée peut affecter les variables hydrauliques estimées, et il est courant d'itérer entre les étapes pour arriver à une conception finale. Pour les ponceaux simples dans des contextes non complexes, il est courant d'utiliser un programme de calcul de ponceau. Il existe un certain nombre de programmes commerciaux (ex : CulvertMaster et Culvert Studio, etc.) et certains programmes gratuits comme HY-8

de la U.S. Federal Highway Administration<sup>32</sup>, et ils font tous essentiellement le même travail en permettant d'estimer l'hydraulique du ponceau en fonction d'un débit de conception. Ensuite, il est possible d'expérimenter différentes tailles et dispositions de ponceaux pour identifier la meilleure conception pour l'objectif visé. Pour les ponts ou les ponceaux situés dans des zones plates, une modélisation hydraulique unidimensionnelle ou bidimensionnelle plus complexe est nécessaire, car les conceptions sont plus complexes ou le stockage temporaire et le mouvement plus complexe de l'eau doivent être pris en compte. Pour les grandes traversées dans des zones plus abruptes, une approche de modèle 1D est souvent suffisante pour capturer les détails hydrauliques des canaux de la rivière et l'effet des structures sur l'écoulement. Pour les zones plates où le stockage dans la plaine inondable est également impliqué, ou s'il y a des chemins alternatifs d'écoulement terrestre vers la rivière principale, un modèle 2D sera nécessaire (Fig. IV.4). De plus, les traversées plus importantes ont tendance à être plus coûteuses et nécessitent donc une analyse plus détaillée.

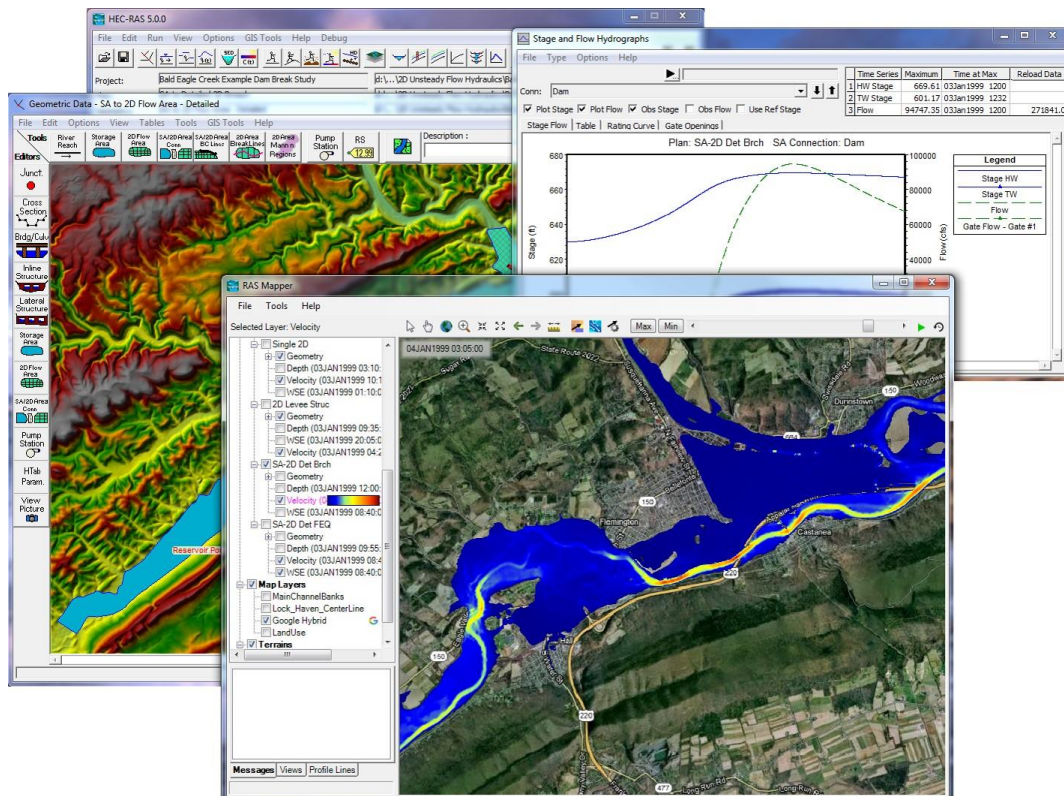


Figure IV.4: Modélisation hydraulique d'inondation

<sup>32</sup> <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/software/hy8/>

#### **IV.4.2 Conception structurelle de la traversée**

La dernière étape du processus consiste à prendre les dimensions hydrauliques requises pour le franchissement du cours d'eau et à concevoir les détails structurels pour les intégrer au tracé de la route. Cela comprendra des détails de conception tels que les murs d'aile du ponceau/pont, la protection des berges, le revêtement de la route et les piliers du pont, etc. Une analyse hydraulique plus poussée peut également être entreprise pour évaluer l'impact de l'affouillement sur la structure, ce qui fournira des informations sur les endroits où fournir une protection supplémentaire pour empêcher l'érosion ou le sapement du ponceau, ce qui peut conduire à sa destruction complète. Les impacts de la structure sur l'écosystème local feront souvent partie d'une évaluation des impacts sur l'environnement.

#### **Conclusion**

La conception d'une route traversant une zone inondable est un processus complexe, et nécessitera souvent des approches différentes dans la méthode d'analyse. La conception finale du passage à niveau sera un compromis entre le coût, le niveau de protection ou la capacité.

L'absence de normes nationales peut être un réel problème pour l'application du processus de conception et peut entraîner l'application de méthodes et de normes inappropriées par d'autres pays qui ne connaissent pas les conditions spécifiques de la région en question. Cependant, il est possible d'utiliser les données et les méthodes d'autres pays s'il peut être démontré qu'elles sont appropriées. A cet effet, il est recommandé de renforcer les réseaux hydrométéorologiques nationaux pour collecter les données à long terme ce qui permet d'élaborer des normes à l'échelle nationale.

## Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence la vulnérabilité des routes à l'aléa d'inondation. L'étude s'est basée sur une recherche bibliographique sur l'aléa d'inondation, ainsi que sur les différentes formes de vulnérabilité des routes en situation d'inondation. En outre, un constat a été fait sur l'état des routes suite à la survenance des crues en Algérie, avec une prise en compte des exemples du sud de pays et du nord.

Les réseaux routiers sont des infrastructures critiques. Par conséquent, l'intégration appropriée des informations sur les risques dans les processus de planification et d'exploitation des réseaux routiers est cruciale. Les réseaux routiers et les risques d'inondation interagissent de telle sorte que les routes non seulement sont endommagées par les inondations, mais que les routes peuvent également accroître les conditions dangereuses. Ainsi, il est très important de considérer l'interaction entre les routes et les inondations pendant le processus de planification et de conception, générant une intégration entre la planification et la conception des routes et la gestion des risques d'inondation.

La vulnérabilité des réseaux routiers est un domaine de recherche actif et plusieurs approches existent actuellement pour évaluer la vulnérabilité. Le choix de la méthode d'analyse dépend de l'objectif, de l'échelle et des données disponibles ; cependant, l'objectif principal de toutes les méthodes est d'identifier où et comment les perturbations des réseaux routiers peuvent être particulièrement graves.

La complexité de choix de l'approche à utiliser dans l'analyse des risques d'inondation peut varier d'une modélisation hydrologique et hydrodynamique très détaillée à des techniques d'analyse de susceptibilité plus simples pour identifier les zones potentiellement problématiques. La modélisation hydrologique et hydrodynamique offre l'avantage de fournir des informations détaillées à des fins de planification et de conception, avec l'inconvénient d'être exigeante en données. L'analyse de sensibilité offre la possibilité d'aborder des zones plus vastes avec une quantité limitée de données.

La riche quantité de données et d'informations résultant du processus de l'analyse de la vulnérabilité des routes aux inondations peut également considérées comme un atout national précieux pour d'autres projets locaux ou même à l'échelle nationale. Par conséquent, il est recommandé de conserver toutes les données topographiques, hydrologiques ou métrologiques collectées par l'agence des routes ou les services hydrologiques afin qu'elles puissent apporter une valeur continue pour les études et recherches nationales, et même pour le pays en termes de gestion du risque d'inondation.

# Bibliographie

- Auroy D-C, Dorceus R-V, Sebirou A-C(2010)** La connaissance de la vulnérabilité indirecte du réseau de transport routier pour une meilleure gestion du risque d'inondation. Projet de fin d'étude. Ecole polytechnique de l'université de Tours, 133 pages
- BalijepalliC, and OOppong (2014)** "Measuring Vulnerability of Road Network Considering the Extent of Serviceability of Critical Road Links in Urban Areas." *Journal of Transportation Geography* 39: 145–55. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.06.025. [http://eprints.whiterose.ac.uk/82511/1/AnalysisofVulnerabilityofRoadNetwork\\_v2c\\_whiteroseversion.pdf](http://eprints.whiterose.ac.uk/82511/1/AnalysisofVulnerabilityofRoadNetwork_v2c_whiteroseversion.pdf)
- Benzahaf D, Salem K (2010)** Etude de l'impact de la vallée du M'zab sur son environnement, wilaya de Ghardaïa. Mémoire d'ingénieur, Université d'Oran, 129 p.
- Brahaharan P, Wiles L.M, and Frietag S (2006)** Natural Hazard Road Risk Management Part III: Performance Criteria. <http://nzta.govt.nz/resources/research/reports/296/docs/296.pdf>
- Buren, R. Van, and J. T. Buma (2012)** Investigation of the Blue Spots in the Netherlands National Highway Network
- CEPRI (2016)** Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation. Rapport, France, 88 pages. [www.cepri.fr](http://www.cepri.fr)
- Ducrocq J(2008)** Evolution de l'accessibilité en période d'inondations sur des enjeux localisés : Détermination de la vulnérabilité en termes d'accessibilité.-82 pages Projet de fin d'études : Génie de l'aménagement.- Université de Tours : EPU-DA
- Jenelius E, and L- G Mattsson (2014)** "Road Network Vulnerability Analysis: Conceptualization, Implementation and Application." *Computers, Environment and Urban Systems*. [https://people.kth.se/~jenelius/JM\\_2013.pdf](https://people.kth.se/~jenelius/JM_2013.pdf)
- Laroussi H et Ghezali L (2011)** L'impact des obstacles naturels, techniques et immobiliers sur l'expansion urbaine de la ville d'El-Beidh. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran, 95 pages
- Ledoux(2006)** La gestion du risque inondation, édition tec et doc.

**Michael R-A, N. Høegh, and F. Søren (2010)**"Development of a Screening Method to Assess Flood Risk on Danish National Roads and Highway Systems [Développement d'une méthode d'analyse pour évaluer le risque d'inondation sur les réseaux routiers et autoroutiers danois. 1-10

**Salomon J-N (1997)** L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaires de Bordeaux, Collection « Sciereren », France, 135 p

**SPPPI -Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles- en Basse-Seine, (2004)** Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers et des installations classées, Cahier technique N°8, 20 p

**Versini P, E. Gaume, and H. Andrieu. (2010)**"Assessment of the Susceptibility of Roads to Flooding Based on Geographical Information: Test in a Flash Flood Prone Area (the Gard Region, France)." *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 10: 793-803. doi:10.5194/nhess-10-793-2010. <http://www.nat-hazards-earth-systsci.net/10/793/2010/nhess-10-793-2010.pdf>

### Sites web

[https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-2\\_1.html](https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-2_1.html)

[https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2\\_2-2\\_1.html](https://campus.mines-paristech.fr/esige/uved/risques/1.1/html/2_2-2_1.html)

<https://www.gouvernement.fr/risques/inondation>

La gestion du risque inondation », Edition Tec et Doc

<https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

<http://www.prim.net>

<https://www.alamy.com/residential-buildings-are-partially-submerged-by-floodwater-in-the-flooded-areas-caused-by-torrential-rain-in-huangshan-city-east-chinas-anhui-provi-image262944517.html>

<http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/risques-technologiques-majeurs/rupture-de-barrage.html>

<https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>

<https://www.theguardian.com/environment/2014/feb/11/englands-floods-everything-you-need-to-know>

[www.cepri.fr](http://www.cepri.fr)

<https://www.djazairess.com/fr/liberte/455403>

<https://www.aps.dz/regions/118693-crue-de-l-oued-meknassa-a-chlef-le-bilan-s-alourdit-a-6-morts>

<https://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20190127/160897.html>

<https://www.algerie360.com/inondations-de-annaba-bilan-et-mesures-de-prevention-en-debat/>

<https://asal.dz/?p=888>

<https://observers.france24.com/fr/20190913-algerie-inondations-images-ville-blanche-sous-eaux>

<https://www.elwatan.com/regions/centre/alger/inondations-et-routes-fermees-dans-la-capitale-le-travail-des-collectivites-locales-mis-a-nu-09-09-2020>

<https://www.djazairess.com/fr/elwatan/1435468>

<https://www.algerie360.com/intemperiesoran-sous-leau/>

<https://www.djazairess.com/fr/elwatan/1718504>

<https://www.elwatan.com/edition/actualite/inondations-a-medea-et-msila-un-bilan-provisoire-fait-etat-de-cinq-deces-04-05-2021>

[http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/14953/1/saouli\\_abdallah.pdf](http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/14953/1/saouli_abdallah.pdf)

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

<https://www.djazairess.com/fr/elwatan/112764>

<https://observers.france24.com/fr/20081010-ville-ghardaia-ensevelie-boue-inondations>

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

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

<https://www.cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/use-case-book/3a-critical-infrastructure/3-2-design-guidelines/3-2-2-roads-in-flood-areas>

<https://thefloodhub.co.uk/am-i-at-risk/>

<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/software/hy8/>

