



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم  
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
قسم الهندسة المدنية  
Civil engineering department



N° d'ordre : M ...../GCA/2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

**Filière :** Génie Civil

**Option :** Structure

**Thème :**

**L'IMPACT DE L'ALEA INONDATION DANS  
LES MILIEUX DESERTIQUE.**

**Présenté par :**

- GHANIM Mohamed Elamine

*Soutenu le 30/06/2025 devant le jury composé de :*

**Président :** Dr MEKAIDECHE Khalfallah

**Examinatrice :** Dr HADJII Ilhem

**Encadrant :** Dr ELMASCRI Setti

**Année Universitaire : 2024/2025**



## Remerciements

À l'aube de cette étape achevée, mon cœur, tout à la fois lourd de souvenirs et gonflé de gratitude, s'incline d'abord devant la bonté divine. C'est vers Dieu, le Tout-Puissant, que s'élève ma première pensée : Lui seul connaît le nombre de fois où mes forces faiblissaient, et pourtant, par Sa grâce, je suis resté debout.

À mes parents, piliers de mon existence, je dédie les larmes silencieuses et les veilles inlassables qu'ils ont portées pour moi. À ma famille, source inaltérable d'amour et de réconfort, je rends hommage : vous avez été le vent discret qui gonflait les voiles de ma barque dans la houle.

Je n'oublie pas toutes celles et ceux — maîtres, amis, ombres passantes — qui, depuis les balbutiements de mon enfance, ont semé en moi des graines de lumière. Leur souvenir demeure inscrit dans les interstices de cette réussite.

Et que dire des épreuves ? Ces vieilles compagnes aux visages rugueux, aux mots sans sommeil... Elles furent nombreuses, parfois cruciales. J'en ai connu des instants d'abattement où la voie se brouillait, où le doute mordait l'âme comme le froid mord la peau. Mais moi, j'ai tenu. À force de courage, de larmes et d'une foi têtue, j'ai traversé les ronces.

Aujourd'hui, je suis là. Une page s'est tournée, non sans cicatrices, mais avec cette lueur précieuse : celle d'avoir persévéré. Entre les rires timides et les soupirs du passé, je cueille cette victoire comme un fruit mûr, à la saveur douce-amère.

# TABLE DES MATIERES

Remerciement	
<b>Table des matières</b> .....	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>V</b>
<b>ملخص</b> .....	<b>1</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>5</b>
1. Contexte général .....	5
2. Justification de l'étude .....	6
3. Problématique .....	7
4. Objectif de l'étude .....	7
 <b>Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque</b>	
1.1 Introduction .....	9
1.2 Définitions clés .....	9
1.3 La notion de risque d'inondation .....	9
1.3.1 Définition du risque majeur .....	9
1.4 Interprétation du risque : aléa et vulnérabilité.....	10
1.4.1 L'aléa d'inondation .....	10
1.4.2 La vulnérabilité .....	10
1.5 Enjeux des inondations .....	11
1.6 Le phénomène d'inondation .....	11
1.7 Types d'inondations.....	12

1.7.1 Inondations par débordement de cours d'eau (fluviales) .....	12
1.7.2 Inondations par remontée de nappe phréatique .....	13
1.7.3 Inondations par ruissellement pluvial .....	14
1.7.4 Inondations côtières ou par submersion marine .....	14
1.7.5 Inondations soudaines (crues éclair) .....	15
1.8 Paramètres spécifiant l'aléa inondation .....	15
1.8.1 Période de retour de crue : .....	15
1.8.2 Hauteur et durée de submersion : .....	15
1.8.3 Vitesse du courant : .....	15
1.8.4 Volume de matériaux transportés : .....	15
1.9 Causes des crues et des inondations .....	15
1.9.1 Causes naturelles .....	16
1.9.2 Causes anthropiques .....	17
1.10 Gestion du risque et prévention .....	17
1.11 Impacts des inondations : échelles internationale et nationale .....	18
1.11.1 À l'échelle internationale .....	18
1.11.2 À l'échelle nationale (Algérie) .....	18
1.11.3 À l'échelle de la wilaya de Tamanrasset .....	19
1.12 Conclusion .....	19

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

2.1 Introduction .....	21
2.2 Typologie des constructions en milieu désertique .....	21
2.2.1 Les constructions traditionnelles en terre .....	21

2.2.1.1 Introduction .....	21
2.2.1.2 Techniques traditionnelles et adaptation aux milieux désertiques .....	22
2.2.1.3 Focus sur les régions désertiques algériennes .....	22
2.2.1.4 Impact des inondations sur les constructions en terre dans le Sahara algérien ..	23
2.2.2 Les constructions modernes en béton et matériaux composites .....	24
2.2.2.1 Le béton armé.....	24
2.2.2.2 Les matériaux composites : innovations et applications en Algérie .....	25
2.2.2.3 Application et adaptation aux régions désertiques algériennes .....	25
2.2.2.4 Enjeux et perspectives pour la construction moderne en Algérie .....	26
2.2.3 Les constructions hybrides : combiner tradition et modernité .....	26
2.2.3.1 Spécificités et applications en Algérie et en milieu désertique .....	27
2.2.3.2 Enjeux spécifiques aux milieux désertiques .....	27
2.3 Impacts directs des inondations sur les constructions .....	28
2.3.1 Dégradation des matériaux de construction .....	28
2.3.2 Érosion des fondations .....	28
2.4. Infiltrations d'eau et humidité .....	28
2.5. Dommages aux infrastructures associées .....	28
2.6. Risque d'effondrement immédiat .....	29
2.7 Impacts indirects des inondations sur les constructions .....	29
2.7.1 Dépréciation du patrimoine bâti.....	29
2.7.2 Coûts économiques des réparations et reconstructions .....	29
2.7.3 Altération durable de la salubrité des constructions .....	29
2.7.4 Déplacement de population et désorganisation sociale .....	29
2.7.5 Diminution de la résilience communautaire .....	29
2.8 Conclusion .....	30

## **Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)**

3.1 Présentation du site d'étude .....	32
3.2 Historique des inondations.....	32
3.3 Vulnérabilité des constructions .....	33
3.4 Analyse des données collectées .....	34
3.4.1 Données climatiques .....	34
3.4.2 Résultats des enquêtes de terrain .....	34
3.5 Conclusion .....	36

## **Chapitre 4 : Stratégies de prévention et de mitigation du risque d'inondation en milieu désertique**

4.1 Introduction .....	39
4.2 Stratégies d'adaptation des constructions .....	39
4.2.1 Renforcement des fondations .....	39
4.2.2 Utilisation de matériaux résistants aux inondations .....	39
4.3 Gestion des risques .....	40
4.3.1 Conception de systèmes de drainage adaptés.....	40
4.3.2 Recommandations en urbanisme .....	40
4.4 Propositions pour des constructions durables .....	40
4.5 Rôle des autorités locales et des communautés .....	40
4.6 Conclusion .....	41
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>44</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>46</b>

## TABLE DES FIGURES

### **Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque**

Figure 1.1 : Représentation du risque à partir des courbes isorisques .....	11
Figure 1.2 : Par débordement direct d'une rivière qui touche des vallées entières.....	12
Figure 1.3 : Inondation lente de plain débordement de cours d'eau. ....	13
Figure 1.4 : les inondations par remontée de nappe. ....	13
Figure 1.5 : Les inondations par ruissellement pluvial .....	14
Figure 1.6 : Les inondations littorales ou submersions marines - Source graphies / MEDD-DPPR.....	14

### **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

Figure 2.1 : Constructions en terre en Algérie.....	23
Figure 2.2 : les inondations au sud Algérien.....	24

### **Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)**

Figure 3.1 : Situation géographique de la wilaya de Tamanrasset .....	32
Figure 3.2 : Vue globale de la ville d'In Guezzam inondée à partir de l'imagerie satellitaire Alsat-2 du 07 août 2018 (mode fausses couleurs).....	35
Figure 3.3 : les dégâts des inondations à Tamanrasset.....	35

## ملخص

يحلل هذا البحث تأثير الفيضانات على المنشآت في البيئات الصحراوية، مع التركيز على الصحراء الجزائرية. يبدأ البحث بتعريف الخصائص الفيزيائية والمناخية للمناطق الصحراوية: قلة الأمطار السنوية، التفاوت الكبير في درجات الحرارة، التربة ضعيفة النفاذية، والتنوع الجيومورفولوجي (الكثبان الرملية، السهول الحصوية، الهضاب الصخرية، والجبال). رغم ندرة الأمطار، إلا أن هذه المناطق تتعرض أحياناً لهطولات مطرية مفاجئة وعنيفة تتسبب في سيول جارفة ومدمرة.

تتميز الفيضانات في البيئات الصحراوية بحدتها وصعوبة التنبؤ بها. فهي ناتجة عن اجتماع أمطار عاصفية شديدة، وتربة غير منفذة، وطبيعة الأحواض المائية التي تسرع جريان المياه السطحية. من العوامل التي تزيد من خطورة هذه الفيضانات: التوسع العمراني غير المنظم، نقص البنية التحتية لتصريف المياه، وتأثيرات التغير المناخي.

غالبًا ما تكون المنشآت في هذه المناطق عرضة للخطر، سواء كانت مبنية بالطرق التقليدية (كالطوب الطيني) أو بالخرسانة الحديثة، وذلك بسبب التصميم، ونوعية المواد المستعملة، وغياب التكيف مع مخاطر الفيضانات. وتتمثل الآثار المباشرة في الأضرار الهيكلية وتآكل الأساسات، إضافة إلى آثار غير مباشرة مثل التهجير وتكاليف إعادة الإعمار ومشاكل الصحة العامة.

توضح دراسة حالة تمراست تكرار وخطورة الفيضانات في الصحراء الجزائرية، وتبرز الحاجة إلى تخطيط عمراني أفضل، واعتماد تقنيات بناء ملائمة، وأنظمة فعالة لإدارة المخاطر. ويقترح البحث في الختام حلولاً تقنية (تعزيز الأساسات، مواد مقاومة، أنظمة تصريف)، وإجراءات تنظيمية ومجتمعية لتعزيز صمود المنشآت أمام الفيضانات وضمان تنمية صحراوية مستدامة وأمنة.

**الكلمات المفتاحية:** الفيضانات، البيئة الصحراوية، السيول المفاجئة (السيول السريعة)، الصحراء الجزائرية، التحضر، هشاشة المباني

## RESUME

Ce mémoire analyse l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique, avec un focus sur l'Algérie saharienne. Il débute par la définition et les spécificités physiques et climatiques des milieux désertiques : faible pluviométrie annuelle, fortes amplitudes thermiques, sols peu perméables et diversité géomorphologique (ergs, regs, hamadas, montagnes). Malgré la rareté des pluies, ces régions sont exposées à des épisodes pluvieux soudains et intenses, provoquant des crues éclairs particulièrement destructrices.

Les inondations en milieu désertique se caractérisent par leur brutalité et leur imprévisibilité. Elles résultent de la combinaison de précipitations orageuses intenses, de l'imperméabilité des sols et de la morphologie des bassins versants, qui favorisent un ruissellement rapide et massif. Les facteurs aggravants incluent l'urbanisation non contrôlée, le manque d'infrastructures de drainage et les effets du changement climatique.

Les constructions dans ces zones sont souvent vulnérables, qu'il s'agisse de bâtis traditionnels en adobe ou de structures modernes en béton, en raison de leur conception, des matériaux utilisés et de l'absence d'adaptations spécifiques au risque d'inondation. Les impacts sont à la fois directs (dégâts structurels, érosion des fondations) et indirects (relocalisations, coûts de reconstruction, problèmes de salubrité publique).

L'étude de cas de Tamanrasset illustre la fréquence et la gravité des inondations dans le Sahara algérien, mettant en évidence la nécessité d'une meilleure planification urbaine, de techniques de construction adaptées et de systèmes de gestion des risques efficaces. Le mémoire propose enfin des solutions techniques (renforcement des fondations, matériaux résistants, systèmes de drainage), réglementaires et communautaires, pour renforcer la résilience des constructions face aux inondations et garantir un développement durable et sécurisé des régions sahariennes.

**Mots clés :** Inondations, Milieu désertique, Crues soudaines (crues éclairs), Sahara algérien, Urbanisation, Vulnérabilité des constructions

## ABSTRACT

This thesis analyzes the impact of floods on buildings in desert environments, focusing on the Algerian Sahara. It begins by defining the physical and climatic characteristics of desert areas: low annual rainfall, high temperature fluctuations, poorly permeable soils, and diverse geomorphology (ergs, regs, hamadas, mountains). Despite the rarity of rainfall, these regions are exposed to sudden and intense rain events, which cause particularly destructive flash floods.

Floods in desert environments are characterized by their suddenness and unpredictability. They result from a combination of intense storm rainfall, soil impermeability, and the morphology of the catchment basins, which favor rapid and massive surface runoff. Aggravating factors include uncontrolled urbanization, lack of drainage infrastructure, and the effects of climate change.

Buildings in these areas are often vulnerable, whether traditional adobe structures or modern concrete constructions, due to their design, the materials used, and the absence of specific adaptations to flood risk. The impacts are both direct (structural damage, foundation erosion) and indirect (relocation, reconstruction costs, public health issues).

The case study of Tamanrasset illustrates the frequency and severity of floods in the Algerian Sahara, highlighting the need for better urban planning, adapted construction techniques, and effective risk management systems. The thesis concludes by proposing technical solutions (foundation reinforcement, resistant materials, and drainage systems), regulatory measures, and community-based approaches to strengthen the resilience of buildings to floods and ensure sustainable and safe development of Saharan regions.

**Keywords:** Floods, Desert environment, Flash floods, Algerian Sahara, Urbanization, Vulnerability of buildings

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### 1. Contexte général

Les inondations représentent l'un des aléas naturels les plus fréquents et les plus dévastateurs à l'échelle mondiale. Elles se traduisent par une submersion temporaire de terres habituellement sèches, causée par des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que des pluies torrentielles, des crues fluviales, des débordements de nappes phréatiques ou encore des remontées marines dans les zones côtières (Kundzewicz et al., 2014). Ce type d'aléa est fortement influencé par des facteurs climatiques, topographiques et anthropiques, et ses impacts peuvent être exacerbés par le changement climatique, l'urbanisation non planifiée, et la déforestation (IPCC, 2022).

À travers le monde, les inondations provoquent chaque année des pertes humaines considérables, des dégâts matériels majeurs et des perturbations économiques et sociales (Jonkman, 2005). L'intensification des épisodes pluviométriques extrêmes due au réchauffement climatique contribue à accroître la fréquence et la gravité de ces événements hydrologiques (Hirabayashi et al., 2013). En réponse à cette problématique, de nombreuses études se sont orientées vers l'évaluation de l'aléa inondation à travers des outils de modélisation, de cartographie et d'analyse spatiale, permettant d'identifier les zones les plus vulnérables et de guider les actions de prévention et de gestion du risque (Merz et al., 2010).

Si les inondations sont généralement associées à des régions humides ou fluviales, elles n'épargnent pas pour autant les milieux arides et désertiques, où leur occurrence, bien que plus rare, peut produire des effets particulièrement dévastateurs. Dans ces environnements caractérisés par des précipitations faibles mais parfois très intenses et soudaines, le sol peu perméable et la rareté de la végétation favorisent un ruissellement rapide et massif, entraînant des crues éclair aux conséquences disproportionnées (Lóczy et al., 2012 ; Youssef et al., 2016). Ces épisodes d'inondations soudaines peuvent altérer profondément l'équilibre écologique fragile des déserts, endommager les infrastructures et compromettre les ressources hydriques et agricoles déjà limitées (Ballais, 1991).

Par ailleurs, dans les zones désertiques d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient ou encore du Sahel, l'occurrence d'inondations soudaines, bien que ponctuelle, constitue une menace croissante en lien avec la variabilité climatique et l'intensification des événements extrêmes (Nicholson, 2013 ; Abdrabo et Hassaan, 2015). L'absence d'un réseau de drainage structuré,

combinée à l'urbanisation rapide de certaines oasis ou zones semi-arides, accentue la vulnérabilité des populations face à cet aléa.

Face à ce constat, il apparaît essentiel de mieux comprendre le comportement des inondations dans les milieux désertiques, d'analyser les facteurs déclencheurs et les zones de susceptibilité, afin de proposer des stratégies adaptées de gestion de l'aléa dans ces environnements spécifiques.

## **2. Justification de l'étude**

Dans les milieux désertiques, les inondations, bien que rares, provoquent des dégâts disproportionnés en raison des caractéristiques spécifiques de ces environnements : sols à faible perméabilité souvent argileux, reliefs accidentés favorisant un ruissellement rapide, végétation clairsemée réduisant la capacité d'absorption des eaux, et infrastructures souvent inadaptées ou insuffisamment protégées. Ces conditions naturelles accentuent la violence des crues éclair, qui peuvent submerger rapidement les zones habitées et fragiliser les constructions (Fekete et al., 2015).

Par ailleurs, la croissance démographique et l'urbanisation non planifiée autour des oasis, dépressions ou lits d'oueds augmentent la pression sur les milieux fragiles et exposent davantage les populations et leurs habitations aux risques d'inondation. La déforestation et la dégradation de la couverture végétale aggravent aussi l'érosion des sols et accélèrent le ruissellement, amplifiant les impacts des crues (Abdrabo & Hassaan, 2015).

Cette vulnérabilité est renforcée par des lacunes dans la gestion des infrastructures hydrauliques et l'absence de systèmes d'alerte adaptés, limitant la capacité de prévention et de réponse face à ces aléas. Le manque d'études approfondies sur les mécanismes spécifiques des inondations en milieu désertique contribue à une faible anticipation du risque et à une planification urbaine souvent inadaptée (Chapi et al., 2017).

Dans ce contexte, il est essentiel d'identifier et d'analyser précisément les facteurs naturels et humains qui favorisent ces inondations et la vulnérabilité des constructions, afin d'évaluer leurs impacts directs et de comprendre les mécanismes à l'œuvre. Cette démarche permettra de formuler des recommandations adaptées pour réduire la vulnérabilité des

constructions et sensibiliser les acteurs locaux à une meilleure gestion durable des risques d'inondation (Kohansarbaz et al., 2022).

### 3 Problématique

Malgré la gravité potentielle des inondations en zones désertiques, ces événements restent sous-étudiés par rapport à ceux survenant en milieux tempérés ou tropicaux. Le manque d'évaluation fine de l'aléa inondation dans les régions arides contribue à une faible anticipation du risque, une mauvaise planification urbaine, et une vulnérabilité accrue des populations. Cela pose une question centrale :

\*Quels sont les impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique ?

\*Pourquoi les constructions sont-elles vulnérables ?

### 4 Objectif de l'étude

**L'objectif de notre étude est :**

- Identifier et analyser les facteurs naturels et humains qui favorisent les inondations en milieu désertique.
- Évaluer les impacts directs des inondations sur les constructions et infrastructures.
- Comprendre les mécanismes de vulnérabilité des constructions en milieu désertique
- Proposer des recommandations pour réduire la vulnérabilité des constructions face aux inondations
- Sensibiliser les acteurs locaux à l'importance de la prévention et de la gestion des risques d'inondation

**CHAPITRE 1 : INTRODUCTION  
AUX INONDATIONS ET A LA  
NOTION DE RISQUE**

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

## 1.1 Introduction

Les inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices à travers le monde (EM-DAT, 2023). Elles représentent une menace sérieuse pour les vies humaines, les infrastructures, les activités économiques et l'environnement. Leur intensité et leur fréquence sont susceptibles d'augmenter en raison du changement climatique et de la pression anthropique croissante sur les milieux naturels. Ce chapitre introductif vise à poser les bases nécessaires à la compréhension de l'aléa inondation, en analysant le concept de risque, les caractéristiques du phénomène, les paramètres influençant la dynamique des crues, ainsi que les différents types et causes d'inondations.

## 1.2 Définitions clés

**Aléa** : Phénomène naturel ou technologique susceptible de se produire dans une région donnée, avec une certaine probabilité et une intensité variable (ex : crue, séisme, tempête).

**Vulnérabilité** : Degré de sensibilité d'une société, d'un territoire ou d'un bien face à un aléa. Elle dépend de la nature des enjeux exposés, de leur capacité de protection et de résilience.

**Enjeux** : Ensemble des personnes, biens, infrastructures, activités économiques et éléments environnementaux susceptibles d'être affectés par un aléa.

**Risque** : Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences potentielles sur les enjeux vulnérables ( $\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Enjeux}$ ).

## 1.3 La notion de risque d'inondation

### 1.3.1 Définition du risque majeur

Un risque majeur est défini comme la combinaison d'un aléa et d'enjeux vulnérables. Le risque d'inondation devient donc majeur lorsque l'événement hydrologique potentiel (crue, submersion, débordement) menace directement des vies humaines, des biens matériels, des équipements ou des écosystèmes sensibles. Les inondations peuvent engendrer des pertes humaines, des dégâts matériels importants, une désorganisation des réseaux de communication, ainsi que des conséquences socio-économiques durables. À l'échelle planétaire, les inondations constituent la principale cause de décès liés aux catastrophes naturelles, selon de nombreuses études.

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

## 1.4 Interprétation du risque : aléa et vulnérabilité

Chez les spécialistes de l'étude des risques, il est désormais courant de définir le risque comme la résultante du croisement entre aléa et vulnérabilité (Desbordes, 1997).

### 1.4.1 L'aléa d'inondation

Désigne la probabilité d'occurrence d'un événement hydrologique affectant un secteur donné, en fonction de son intensité, sa durée, sa vitesse et sa récurrence. Sa connaissance repose sur l'analyse des données historiques de crues, les études hydrologiques et hydrauliques, les modèles numériques de simulation, ainsi que les observations de terrain. Elle constitue une étape fondamentale pour la prévention et la gestion du risque inondation.

### 1.4.2 La vulnérabilité

Exprime le degré de sensibilité des personnes, biens et activités à un aléa donné [Pottier, 1998]. Elle dépend de plusieurs facteurs : densité de population, nature des constructions, niveau de préparation des populations, capacité de résilience et systèmes de protection existants. Une zone urbanisée en zone inondable, sans dispositif de protection adapté, présente une vulnérabilité élevée. La vulnérabilité comprend intrinsèquement une notion d'acceptabilité, au sens socio-économique, des dommages potentiels encourus (Gendreau et al., 1998).

Il n'est pas envisageable, pour une société, de se protéger pour tous les niveaux de risque. Elle doit donc définir un niveau de risque acceptable où les événements naturels extrêmes et leurs conséquences devront être tolérés (Gilard, 1995). Le "risque zéro n'existe pas". Cette notion de risque dit "naturel" est quelque peu trompeuse puisqu'elle englobe une importante composante humaine.

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

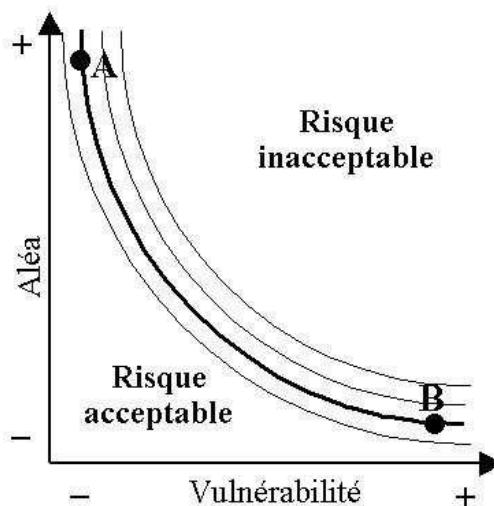


Figure 1.1 : Représentation du risque à partir des courbes isorisques

## 1.5 Enjeux des inondations

Les enjeux désignent tout ce qui peut être affecté par une inondation :

- **Enjeux humains** : vies humaines, santé, sécurité des populations
- **Enjeux matériels** : habitations, infrastructures (routes, ponts, réseaux électriques et d'eau), équipements publics
- **Enjeux économiques** : activités agricoles, industrielles, commerciales, pertes de production
- **Enjeux environnementaux** : écosystèmes, zones humides, qualité de l'eau, biodiversité
- **Enjeux culturels et patrimoniaux** : monuments historiques, archives, sites culturels

La prise en compte de ces enjeux est essentielle pour évaluer la gravité d'un risque d'inondation et pour définir les priorités en matière de prévention et de gestion de crise (Laganier & Scarwell, 2001-2003).

## 1.6 Le phénomène d'inondation

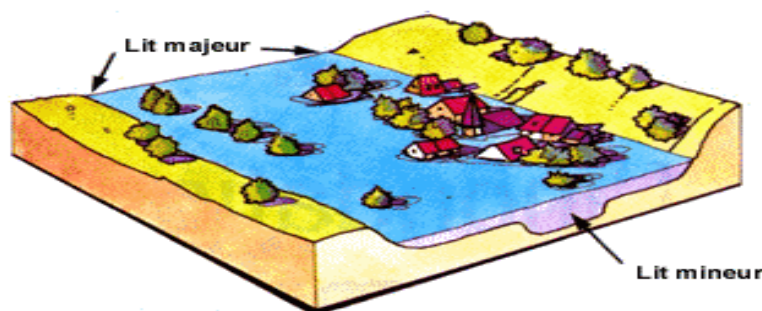
Les inondations représentent un phénomène naturel complexe et fréquent qui touche de nombreuses régions à travers le monde. Elles se produisent lorsque de grandes quantités d'eau s'accumulent rapidement dans des zones normalement sèches, submergeant les sols, les

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

infrastructures et parfois même les habitations. Ce phénomène peut résulter de plusieurs causes, souvent combinées, telles que des précipitations intenses, la fonte rapide des neiges, la saturation des sols, ou encore la montée des eaux marines.

Les inondations peuvent prendre différentes formes selon leur origine. Elles peuvent être lentes et progressives, comme lors du débordement d'une rivière qui inonde une plaine (fig 1.2) , ou soudaines et violentes, à l'image des crues éclair provoquées par des orages violents. Par ailleurs, dans les zones côtières, les inondations peuvent être causées par la submersion marine, lorsque la mer envahit les terres à la suite d'une tempête ou d'une marée exceptionnelle.



**Figure 1.2 : Par débordement direct d'une rivière qui touche des vallées entières**

Ce phénomène a des impacts majeurs sur les populations, les infrastructures, l'agriculture et l'environnement. Les dégâts matériels peuvent être considérables, et les risques pour la vie humaine sont souvent élevés, notamment en cas d'inondations rapides et imprévues. C'est pourquoi la compréhension des mécanismes à l'origine des inondations est essentielle pour mieux prévenir ces risques, améliorer les systèmes d'alerte et mettre en place des mesures de protection adaptées.

## 1.7 Types d'inondations

### 1.7.1 Inondations par débordement de cours d'eau (fluviales)

Ces inondations surviennent lorsque les rivières ou fleuves sortent de leur lit habituel. Elles peuvent être de deux sous-types :

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

- **Crues lentes de plaine** : Montée progressive des eaux sur plusieurs jours, inondant lentement les plaines environnantes (fig.1.3) Ces inondations peuvent durer plusieurs jours, voire plusieurs semaines.



**Figure 1.3** : Inondation lente de plain débordement de cours d'eau.

- **Crues rapides ou torrentielles** : Survenant surtout en zones montagneuses, suite à des précipitations intenses ou à la fonte des neiges, provoquant des inondations soudaines et violentes.

## 1.7.2 Inondations par remontée de nappe phréatique

Elles résultent de la montée du niveau de la nappe souterraine au-dessus de la surface du sol, souvent après une longue période humide. Ce type d'inondation est lent à s'installer et à se résorber, pouvant durer plusieurs semaines ou mois. Il est fréquent dans les terrains bas, mal drainés ou avec une nappe phréatique proche de la surface (fig.1.4)



**Figure 1.4** : les inondations par remontée de nappe

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

## 1.7.3 Inondations par ruissellement pluvial

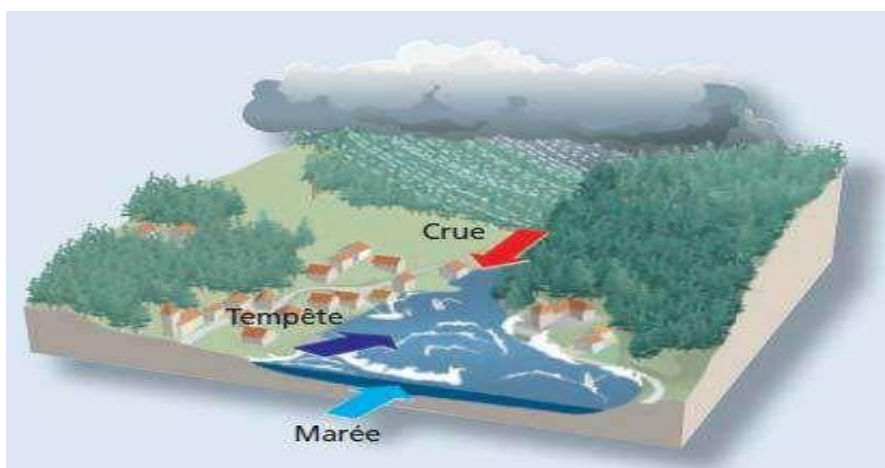
Causées par des précipitations intenses qui saturent le sol et les réseaux d'assainissement, provoquant un écoulement rapide de l'eau à la surface. Le ruissellement peut être urbain (imperméabilisation des sols) ou rural, et se manifeste souvent par des inondations soudaines dans les zones urbaines ou en pente. Ce type est souvent associé à des débordements rapides et localisés (fig.1.5).



**Figure 1.5 :** Les inondations par ruissellement pluvial

## 1.7.4 Inondations côtières ou par submersion marine

Elles surviennent dans les zones littorales, lors de tempêtes, d'ondes de tempête ou de marées exceptionnelles qui provoquent la montée des eaux marines sur les terres. Elles peuvent être aggravées par des défaillances d'ouvrages de protection (digues, barrages) (fig.1.6). Ce type est souvent classé comme un quatrième type d'inondation dans les régions côtières.



**Figure 1.6 :** Les inondations littorales ou submersions marines - Source graphies / MEDD-DPPR

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

## 1.7.5 Inondations soudaines (crues éclair)

Se produisent rapidement, souvent sans avertissement, généralement à la suite d'averses très intenses sur un bassin versant restreint. Elles peuvent être très violentes et causer des dégâts importants en peu de temps.

## 1.8 Paramètres spécifiant l'aléa inondation

Pour caractériser précisément l'aléa inondation, plusieurs paramètres sont pris en compte :

### 1.8.1 Période de retour de crue :

Il s'agit de la fréquence statistique à laquelle un débit ou une hauteur de crue donnée est susceptible d'être atteint ou dépassé. Une crue centennale, par exemple, a une probabilité de 1 % de se produire chaque année.

### 1.8.2 Hauteur et durée de submersion :

La hauteur d'eau atteinte lors de l'inondation et la durée pendant laquelle les terrains restent submergés influencent fortement les dommages possibles.

### 1.8.3 Vitesse du courant :

La vitesse d'écoulement de l'eau détermine le pouvoir érosif de l'inondation et sa capacité à emporter des objets, des véhicules, voire des bâtiments légers.

### 1.8.4 Volume de matériaux transportés :

Les crues peuvent charrier des matériaux solides (graviers, boues, débris végétaux) qui aggravent les effets de l'inondation par colmatage, obstruction ou destruction.

## 1.9 Causes des crues et des inondations

Les inondations résultent d'une combinaison de facteurs naturels et anthropiques qui influencent leur survenue et leur intensité.

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

## 1.9.1 Causes naturelles

### 1.9.1.1 *Précipitations intenses et prolongées :*

La cause principale est l'importance des précipitations, qu'elles soient exceptionnelles ou répétées. Ces pluies saturent les sols et augmentent le débit des cours d'eau, provoquant leur débordement. Par exemple, les crues lentes des grands bassins comme la Loire ou la Seine sont liées à des pluies abondantes sur plusieurs jours, tandis que les crues méditerranéennes sont souvent dues à des averses violentes et localisées (Rapport commission d'enquête Assemblée nationale, 2018).

### 1.9.1.2 *Fonte rapide des neiges :*

Dans les régions montagneuses, la fonte accélérée des neiges au printemps augmente considérablement le volume d'eau dans les rivières, provoquant des crues importantes (Mémento du Maire, 2012).

### 1.9.1.3 *Montée des nappes phréatiques :*

Après des périodes humides prolongées, le niveau des nappes souterraines peut remonter et inonder les terrains, même sans précipitations récentes (Rapport commission d'enquête Assemblée nationale, 2018).

### 1.9.1.4 *Submersion marine :*

Sur le littoral, les tempêtes, les ondes de tempête et les marées exceptionnelles peuvent provoquer des inondations par submersion marine (Garry, 1993).

### 1.9.1.5 *Phénomènes géologiques :*

Glissements de terrain ou embâcles (barrages naturels formés par des matériaux flottants) peuvent obstruer les cours d'eau, provoquant des inondations brutales lors de leur rupture.

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

## 1.9.2 Causes anthropiques

### 1.9.2.1 *Urbanisation et imperméabilisation des sols :*

L'extension des surfaces imperméables (bitume, béton) limite l'infiltration de l'eau, favorisant le ruissellement rapide et la saturation des réseaux d'assainissement. Ce phénomène accentue les inondations urbaines par ruissellement pluvial.

### 1.9.2.2 *Modifications des cours d'eau :*

Le recalibrage, l'endiguement et la suppression des zones d'expansion naturelle des crues accélèrent l'écoulement de l'eau, augmentant la violence des crues en aval (Laganier & Scarwell, 2001-2003 ; Rapport commission d'enquête Assemblée nationale, 2018).

### 1.9.2.3 *Déforestation et érosion :*

La disparition de la couverture végétale réduit la capacité du sol à retenir l'eau, augmentant le ruissellement et l'érosion, ce qui peut aggraver les inondations.

### 1.9.2.4 *Gestion des ouvrages hydrauliques :*

Une mauvaise gestion des barrages et des retenues d'eau peut entraîner des libérations massives d'eau en période de crue, amplifiant les inondations (Rapport commission d'enquête Assemblée nationale, 2018).

### 1.9.2.5 *Changements climatiques :*

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes liée au changement climatique accroît le risque d'inondations.

## 1.10 Gestion du risque et prévention

La gestion du risque d'inondation repose sur plusieurs axes complémentaires :

- **Prévention** : Identification et cartographie des zones à risque, réglementation de l'urbanisation, information et sensibilisation des populations, entretien des cours d'eau et des réseaux de drainage.
- **Protection** : Construction d'ouvrages (digues, barrages, bassins de rétention), aménagement du territoire pour limiter l'exposition des enjeux.

# Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque

---

- **Prévision et alerte** : Mise en place de systèmes de surveillance hydrométéorologique, d'alerte rapide et de plans d'évacuation.
- **Gestion de crise** : Organisation des secours, plans d'intervention, assistance aux sinistrés.
- **Retour d'expérience et adaptation** : Analyse des événements passés pour améliorer les dispositifs existants et renforcer la résilience des territoires.

## 1.11 Impacts des inondations : échelles internationale et nationale

### 1.11.1 À l'échelle internationale

À travers le monde, les inondations ont été responsables de nombreuses catastrophes ayant causé des milliers de morts et des pertes économiques considérables. Par exemple, les inondations de 2010 au Pakistan ont touché plus de 20 millions de personnes, détruisant des infrastructures, des habitations et des terres agricoles. En Europe, les crues de juillet 2021 ont causé d'importants dégâts en Allemagne, en Belgique et aux Pays-Bas, entraînant la mort de plus de 200 personnes. D'autres événements notables incluent les inondations de 1998 et 2004 au Bangladesh, où des millions d'habitants ont été déplacés. Ces catastrophes soulignent l'importance de systèmes d'alerte précoce, de politiques d'aménagement du territoire et de coopération internationale dans la gestion du risque inondation.

### 1.11.2 À l'échelle nationale (Algérie)

L'Algérie n'est pas épargnée par les risques d'inondation. L'un des épisodes les plus marquants reste celui de Bab El Oued en novembre 2001, qui a causé la mort de plus de 700 personnes à Alger en quelques heures seulement. Des torrents d'eau et de boue ont envahi les rues, provoquant des effondrements d'immeubles et des pertes humaines et matérielles considérables. En 2008, la vallée du M'zab (Ghardaïa) a également subi de graves inondations, mettant en évidence la vulnérabilité des zones sahariennes aux crues soudaines. Plus récemment, des inondations à El Bayadh (2017) et à Béchar (2018) ont révélé des lacunes dans les infrastructures de drainage et la gestion des risques. Ces événements montrent la nécessité d'une politique nationale intégrée de prévention et de gestion des inondations, incluant la cartographie des zones à risque, la sensibilisation des populations et l'amélioration des infrastructures hydrauliques.

# **Chapitre 1 : Introduction aux inondations et à la notion de risque**

---

## **1.11.3 À l'échelle de la wilaya de Tamanrasset**

Située dans une région saharienne, la wilaya de Tamanrasset est particulièrement vulnérable aux crues soudaines et exceptionnelles, notamment dans les oueds à écoulement temporaire. L'épisode de 2022 à Abalessa en est une illustration frappante.

## **1.12 Conclusion**

Ce chapitre introductif a permis de cerner les éléments fondamentaux liés au risque d'inondation, de ses origines à ses manifestations diverses. La compréhension de l'aléa, de la vulnérabilité et des types de crues est essentielle pour mettre en place une gestion efficace du risque, particulièrement dans des zones sensibles comme la wilaya de Tamanrasset.

**CHAPITRE 2 : IMPACTS DES  
INONDATIONS SUR LES  
CONSTRUCTIONS EN MILIEU  
DESERTIQUE**

# Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique

---

## 2.1 Introduction

L'architecture en milieu désertique est spécifiquement conçue pour répondre aux contraintes climatiques extrêmes, telles que les fortes amplitudes thermiques, la rareté des précipitations et les vents chargés de sable. Pour assurer un confort thermique naturel et la durabilité des constructions, les bâtisseurs ont recours à des matériaux locaux et à des techniques adaptées, qui optimisent l'inertie thermique et la ventilation passive. Par exemple, l'utilisation de l'adobe, matériau en terre crue, est largement répandue et fait l'objet d'études approfondies démontrant ses propriétés thermo-physiques et sa durabilité dans des contextes comme celui de Ksar el Hara en Algérie (Dahmani & Guebboub, 2022). Par ailleurs, les constructions en pierre locale, souvent massives, offrent une excellente résistance aux agressions climatiques tout en assurant une isolation efficace. Les formes architecturales traditionnelles, telles que les murs épais avec toits plats, réduisent les échanges thermiques et limitent l'exposition directe au soleil. Les cours intérieures et les tours à vent (badgirs) sont des dispositifs ingénieux favorisant la ventilation naturelle et le rafraîchissement des espaces intérieurs, techniques qui ont été réinterprétées dans des travaux universitaires récents sur l'architecture en terre (Mostefai, 2020). Enfin, les innovations modernes dans la construction en milieu désertique intègrent des matériaux stabilisés et des systèmes de récupération d'eau, conciliant durabilité et respect des savoir-faire traditionnels, comme le souligne la thèse de Nouaouria (2024) sur la valorisation des sols fins en matériau de construction. Ces approches combinent ainsi héritage culturel et exigences contemporaines pour répondre aux défis environnementaux des zones arides (Higuera, 2021).

## 2.2 Typologie des constructions en milieu désertique

### 2.2.1 Les constructions traditionnelles en terre

#### 2.2.1.1 Introduction

Les constructions traditionnelles en terre représentent un héritage architectural millénaire, fondé sur l'utilisation de la terre crue, un matériau naturel, local et écologique. Depuis des millénaires, différentes techniques telles que le pisé, le torchis ou la bauge ont permis d'ériger des habitations solides, adaptées aux conditions climatiques variées. Ces techniques sont particulièrement remarquables dans les milieux désertiques, où la terre crue

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

offre une réponse ingénieuse aux contraintes extrêmes du climat. Cependant, ces constructions sont aujourd'hui confrontées à des défis nouveaux, notamment l'augmentation des inondations soudaines qui menacent leur pérennité (Houben et Guillaud, 1994).

### **2.2.1.2 Techniques traditionnelles et adaptation aux milieux désertiques**

Les constructions en terre dans les zones désertiques se caractérisent par des murs épais en terre crue, souvent mélangée à des fibres végétales, qui assurent une excellente inertie thermique. Ces murs massifs emmagasinent la fraîcheur nocturne et la restituent durant la journée, offrant ainsi un confort naturel face aux fortes chaleurs diurnes et aux écarts thermiques importants. Des régions comme le Moyen-Orient, l'Asie centrale, ainsi que certaines parties du Sahara, ont développé des savoir-faire ancestraux exploitant la terre, la pierre et des matériaux locaux pour bâtir des habitats durables. Par exemple, les Nabatéens à Pétra (Jordanie) ont creusé des habitations dans la roche, tirant parti de l'inertie thermique du sol (El Kadi, 2013).

Ces constructions sont souvent complétées par des systèmes ingénieux de récupération et de gestion des eaux, indispensables dans ces zones où la ressource est rare. La terre crue, bien que fragile à l'eau, reste un matériau privilégié pour sa disponibilité, sa faible empreinte écologique et ses qualités thermiques.

### **2.2.1.3 Focus sur les régions désertiques algériennes**

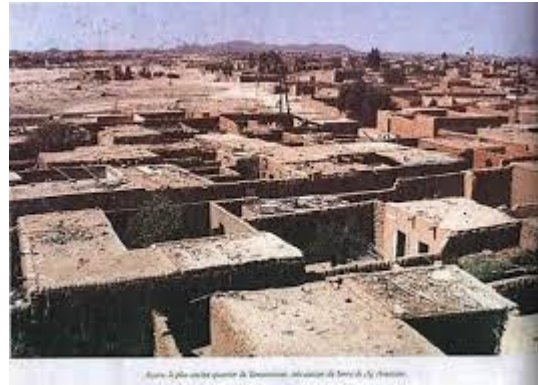
En Algérie, les régions désertiques du Sahara abritent des exemples remarquables d'architecture en terre. Les ksour — villages fortifiés — de la vallée du M'Zab, de Gourara, Timimoun ou encore de l'erg occidental illustrent parfaitement cette tradition. Ces villages utilisent la terre crue pour leurs murs, souvent posés sur des soubassements en pierre pour limiter l'humidité, et intègrent des matériaux locaux comme le bois de palmier pour les toitures (Bourgeois, 2007).

La vallée du M'Zab, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO, est un exemple d'urbanisme durable où la gestion traditionnelle de l'eau et l'architecture en terre s'harmonisent pour répondre au climat désertique (UNESCO, 2014). De même, dans les régions présahariennes telles que Béchar, Adrar ou Biskra, les constructions en terre crue restent un mode d'habitat privilégié, adapté aux fortes chaleurs et aux ressources limitées.

## Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique



a. Ghardaïa



b. Tamanrasset

Figure 2.1 : Constructions en terre en Algérie

### 2.2.1.4 Impact des inondations sur les constructions en terre dans le Sahara algérien

Malgré leur climat aride, ces régions sont régulièrement confrontées à des inondations soudaines, provoquées par des orages violents et des crues rapides des oueds. Ces phénomènes, accentués par les changements climatiques et la dégradation des sols (érosion, désertification), représentent une menace croissante pour les constructions en terre, qui sont peu résistantes à l'eau (Agence Nationale de Gestion des Risques et des Catastrophes, Algérie).

Dans la vallée du M'Zab, l'abandon progressif des systèmes traditionnels de gestion des eaux pluviales a accru la vulnérabilité des ksour aux crues, causant des dommages importants au bâti ancien. À Timimoun et Gourara, des inondations récurrentes ont fragilisé les maisons en terre crue, accélérant leur dégradation et mettant en danger la sécurité des habitants (Agence Nationale de Gestion des Risques et des Catastrophes, Algérie).

Ces événements soulignent la nécessité d'adapter les techniques traditionnelles en intégrant des protections contre l'humidité, comme des soubassements en pierre, des enduits imperméables et des toitures débordantes, ainsi que de restaurer les systèmes traditionnels de gestion des eaux. La réhabilitation du patrimoine en terre dans ces zones est un enjeu crucial pour la sauvegarde des savoir-faire locaux et la résilience des populations face aux risques naturels (Bourgeois, 2007 ; UNESCO, 2014).

## Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique

---



**Figure 2.2** : les inondations au sud Algérien

### 2.2.2 Les constructions modernes en béton et matériaux composites

Les constructions modernes reposent largement sur des matériaux innovants tels que le béton armé et les matériaux composites. Le béton armé, fruit de la combinaison du béton et de l'acier, est devenu un pilier incontournable de la construction contemporaine grâce à sa résistance exceptionnelle à la compression et à la traction (Fehr Group, 2023). Parallèlement, les matériaux composites, alliant légèreté, résistance mécanique et durabilité, révolutionnent les infrastructures urbaines et les ouvrages d'art, notamment en Algérie où leur usage s'est intensifié ces dernières décennies (Rénovation Urbaine, 2022).

#### 2.2.2.1 *Le béton armé*

Le béton armé est un matériau composite constitué d'un mélange classique de ciment, eau, sable et gravier, renforcé par des armatures en acier. Cette synergie permet de pallier la faible résistance intrinsèque du béton à la traction, l'acier assurant la reprise des efforts de traction et de flexion (Fehr Group, 2023). Grâce à cette combinaison, le béton armé supporte des charges importantes tout en conservant une grande durabilité et stabilité dans le temps.

En Algérie, le béton armé s'est imposé dès le début du XXe siècle, notamment avec la diffusion du système Hennebique, qui a marqué le développement urbain dans l'est du pays, à Constantine et Sétif notamment (OpenEdition, 2012). Ce matériau est aujourd'hui utilisé pour les fondations, murs porteurs, dalles, ainsi que dans les infrastructures lourdes comme les

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

ponts, tunnels et barrages. Sa capacité à être moulé sur mesure, coulé en place ou préfabriqué, lui confère une grande polyvalence (TP Demain, 2023).

Par ailleurs, le béton présente une inertie thermique intéressante, contribuant à l'efficacité énergétique des bâtiments en régulant les variations de température. De plus, il est recyclable, ce qui participe à une démarche plus durable dans la construction.

### ***2.2.2.2 Les matériaux composites : innovations et applications en Algérie***

Les matériaux composites, constitués de matrices polymères renforcées par des fibres (carbone, verre, aramide), offrent une combinaison unique de légèreté, résistance mécanique élevée, et excellente durabilité, notamment face à la corrosion (Composites Lacaylmer, s.d.). Leur poids réduit (jusqu'à 40 % de moins que l'acier) permet de diminuer la charge sur les structures et fondations, tout en augmentant la résistance aux sollicitations mécaniques.

En Algérie, ces matériaux sont de plus en plus utilisés dans la réhabilitation et le renforcement des infrastructures, notamment des ponts routiers. Depuis plus de quinze ans, des techniques de renforcement par collage de composites à base de fibres de carbone (CFRP) ont été appliquées avec succès sur des ouvrages vétustes tels que le pont Blanc d'El Harrach à Alger ou le pont de Sidi Rached à Constantine (PIARC, 2011). Ces interventions ont permis de restaurer la portance des structures, d'absorber les vibrations et d'améliorer leur comportement dynamique, tout en réduisant les délais et coûts de réparation.

Les composites permettent aussi la préfabrication d'éléments structurels légers et résistants, accélérant les chantiers et améliorant la qualité des ouvrages. Leur résistance à la corrosion et aux agressions chimiques en fait un matériau particulièrement adapté aux environnements urbains et industriels.

### ***2.2.2.3 Application et adaptation aux régions désertiques algériennes***

Les constructions modernes en béton armé et matériaux composites trouvent une application pertinente dans les régions désertiques algériennes, mais nécessitent une attention particulière aux contraintes climatiques spécifiques. Le béton armé, déjà largement utilisé dans l'est algérien, a été employé dans des projets en zones désertiques, notamment par des entreprises comme la CSCEC (OpenEdition, 2012 ; CSCEC Algérie, 2012).

Néanmoins, le climat aride impose des défis importants à la durabilité du béton. L'exposition à une forte irradiation solaire, des écarts thermiques importants entre le jour et la nuit, une faible humidité et la présence possible de sulfates dans les sols peuvent provoquer

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

des dégradations accélérées du béton et de ses armatures, telles que fissurations, efflorescences et corrosion (Fatima Zohra Hadjari, 2022). Ces phénomènes réduisent la durée de vie des ouvrages si les formulations et protections ne sont pas adaptées.

Pour répondre à ces contraintes, des normes spécifiques comme le Document Technique Réglementaire CBA 93 en Algérie prescrivent des règles de conception, formulation et mise en œuvre des bétons armés adaptées aux zones arides. Ces règles recommandent notamment un dosage minimum en ciment, l'emploi de granulats appropriés, des traitements de surface et des protections contre la corrosion (Centre Technique de la Construction, 1993).

Quant aux matériaux composites, leur résistance à la corrosion et leur légèreté en font des matériaux particulièrement adaptés pour renforcer ou réhabiliter les structures en béton dans ces environnements agressifs. Leur emploi dans la réhabilitation des ponts en Algérie a démontré leur efficacité même dans des conditions climatiques difficiles.

### ***2.2.2.4 Enjeux et perspectives pour la construction moderne en Algérie***

L'utilisation combinée du béton armé et des matériaux composites répond aux besoins croissants d'infrastructures durables, résistantes et efficaces face aux défis urbains et environnementaux. Le béton armé reste la base incontournable pour les grands ouvrages, tandis que les composites offrent des solutions innovantes pour la réhabilitation et l'allègement des structures.

Cependant, le coût élevé des matériaux composites et la nécessité d'une mise en œuvre rigoureuse représentent des défis majeurs pour leur généralisation. La formation des acteurs du secteur et la recherche appliquée sont essentielles pour optimiser ces technologies.

En Algérie, l'expérience acquise dans la réparation des ponts et la construction urbaine moderne illustre le potentiel de ces matériaux pour accompagner le développement durable et la résilience des infrastructures face aux contraintes climatiques et économiques.

### **2.2.3 Les constructions hybrides : combiner tradition et modernité**

Les constructions hybrides représentent une approche architecturale et technique qui combine les savoir-faire traditionnels avec les innovations modernes. Cette démarche vise à tirer parti des qualités éprouvées des matériaux et techniques ancestrales, comme la terre crue,

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

la pierre ou le bois, tout en intégrant les performances des matériaux contemporains tels que le béton armé, le verre ou les composites (Cap-Architectes, 2025).

Cette hybridation permet de répondre aux enjeux actuels de durabilité, de confort thermique, d'efficacité énergétique et d'esthétique, tout en respectant le patrimoine culturel et environnemental. En combinant tradition et modernité, les constructions hybrides offrent des solutions adaptées aux contraintes climatiques et économiques, tout en valorisant l'identité locale.

Les avantages de cette approche sont multiples : meilleure adaptation au climat, réduction de l'empreinte écologique, optimisation des coûts, et préservation des savoir-faire locaux. Elle favorise aussi une architecture plus humaine et contextuelle, évitant l'uniformisation des paysages urbains.

### ***2.2.3.1 Spécificités et applications en Algérie et en milieu désertique***

En Algérie, pays à la richesse architecturale plurimillénaire, les constructions hybrides constituent une réponse pertinente aux défis du développement urbain et de la préservation du patrimoine. Les villes historiques comme Alger, Constantine ou les ksour du M'Zab témoignent d'une architecture traditionnelle adaptée aux climats méditerranéen et désertique, utilisant des matériaux locaux et des techniques de ventilation naturelle.

Face à l'urbanisation rapide et à la diffusion des matériaux modernes, l'hybridation permet de réconcilier ces deux univers. Par exemple, la réhabilitation de la Casbah d'Alger associe la restauration des murs en terre et pierre à l'intégration de structures modernes pour renforcer la sécurité et le confort. Par ailleurs, des projets contemporains à Tlemcen ou Béchar intègrent des structures mixtes hybrides, combinant béton armé et éléments traditionnels, pour répondre aux exigences fonctionnelles tout en valorisant l'esthétique locale (Yasmine Nour El Houda Saidi, 2020).

### ***2.2.3.2 Enjeux spécifiques aux milieux désertiques***

Dans les régions désertiques algériennes, où les conditions climatiques sont extrêmes (fortes chaleurs, écarts thermiques importants, faible humidité), les constructions hybrides jouent un rôle crucial. Les matériaux traditionnels comme la terre crue offrent une excellente inertie thermique, tandis que les matériaux modernes apportent solidité, durabilité et résistance aux agressions environnementales (Fatima Zohra Hadjari, 2022).

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

L'intégration de matériaux composites pour le renforcement des structures en terre ou en béton armé permet d'améliorer la résistance à la corrosion et aux intempéries, notamment face aux inondations soudaines qui frappent de plus en plus ces zones (PIARC, 2011; El Watan, 2024). De plus, l'utilisation de techniques modernes de gestion de l'eau, combinée aux savoir-faire traditionnels, contribue à la résilience des habitats.

### **2.3 Impacts directs des inondations sur les constructions**

#### **2.3.1 Dégradation des matériaux de construction**

Les matériaux traditionnels, tels que l'adobe et le pisé, sont particulièrement sensibles à l'eau. Lors d'inondations, ils perdent jusqu'à 70% de leur résistance à la compression (Benyahia et al., 2019). Les mortiers à base de sable, courants dans ces régions, présentent également une faible résistance à l'érosion hydraulique, accélérant la dégradation des parements extérieurs. À Tamanrasset, les épisodes pluvieux de 2005 et 2016 ont provoqué des gonflements et effondrements partiels des murs en pisé.

#### **2.3.2 Érosion des fondations**

Les sols désertiques, composés de limons et sables fins, sont très vulnérables à l'érosion hydrique. Les fondations peu profondes, fréquentes dans les constructions traditionnelles, sont rapidement déstabilisées lors des crues (ANRH, 2017).

Cela entraîne fissurations, affaissements différentiels, voire effondrements totaux.

### **2.4. Infiltrations d'eau et humidité**

Les inondations provoquent des infiltrations massives, favorisant la remontée capillaire, la dégradation des matériaux, le développement de moisissures et la corrosion des armatures métalliques (Smith, 2013). À Ghardaïa, 80% des maisons touchées par les crues de 2008 présentaient des dommages intérieurs persistants liés à l'humidité (Mouhoubi, 2015).

### **2.5. Dommages aux infrastructures associées**

Les inondations affectent également les réseaux d'eau potable, d'assainissement, d'électricité et de télécommunications. L'absence d'aménagements hydrauliques aggrave la vulnérabilité de ces infrastructures (Direction de la Protection Civile de Béchar, 2007).

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

### **2.6. Risque d'effondrement immédiat**

Le cumul des dégradations peut entraîner l'effondrement rapide des structures, notamment dans les bâtiments en terre crue non stabilisée et à fondations superficielles. Lors des crues de l'oued Tamanrasset en 2016, plusieurs habitations se sont effondrées en moins de 24 heures, causant des pertes humaines et matérielles.

### **2.7. Impacts indirects des inondations sur les constructions**

#### **2.7.1 Dépréciation du patrimoine bâti**

Les inondations entraînent une diminution de la valeur immobilière des constructions, particulièrement critique pour le patrimoine traditionnel. L'abandon progressif des habitations sinistrées aggrave la vulnérabilité des quartiers historiques (Peeling, 2003).

#### **2.7.2 Coûts économiques des réparations et reconstructions**

Les charges financières indirectes incluent les frais de réparation, de déblaiement, de relogement temporaire et l'augmentation du coût des matériaux. Selon le PNUD (2014), le coût moyen de reconstruction après une inondation en milieu désertique dépasse de 30% le coût initial.

#### **2.7.3 Altération durable de la salubrité des constructions**

L'humidité résiduelle, le développement de moisissures et la dégradation des éléments structurels compromettent la durabilité des ouvrages et posent un problème de santé publique.

#### **2.7.4 Déplacement de population et désorganisation sociale**

Les inondations provoquent des déplacements temporaires ou permanents, entraînant perte d'ancrage territorial, fragmentation des liens sociaux et saturation des infrastructures d'accueil.

#### **2.7.5 Diminution de la résilience communautaire**

Les impacts indirects réduisent la capacité des populations à faire face à de futures catastrophes, accentuant la vulnérabilité sociale et économique (Wisner et al., 2004).

## **Chapitre 2 : Impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique**

---

### **2.8 Conclusion**

Les impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique sont multiples et graves, affectant à la fois l'intégrité physique des ouvrages, la dynamique sociale et économique, et la résilience des communautés. Une meilleure compréhension de ces impacts est essentielle pour développer des stratégies d'adaptation et de résilience adaptées aux réalités désertiques.

**CHAPITRE 3 : ANALYSE DE  
L'IMPACT DES INONDATIONS  
SUR LES CONSTRUCTIONS EN  
MILIEU DESERTIQUE ÉTUDE DE  
CAS : TAMANRASSET (SUD DE  
L'ALGERIE)**

# Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)

## 3.1 Présentation du site d'étude

La région de Tamanrasset, située au sud de l'Algérie sur le vaste plateau saharien, constitue le site choisi pour cette étude de cas. Localisée à 22°47' nord et 5°31' est, à une altitude moyenne de 1 320 mètres, Tamanrasset est caractérisée par le massif montagneux du Hoggar et de vastes étendues désertiques. Cette configuration géographique, conjuguée à un climat hyperaride, rend la zone particulièrement vulnérable aux crues soudaines malgré la rareté des précipitations.

Administrativement, la wilaya de Tamanrasset s'étend sur plus de 550 000 km<sup>2</sup>, ce qui en fait l'une des plus vastes du pays. La ville de Tamanrasset, pôle urbain en pleine expansion, connaît une croissance démographique rapide et un étalement urbain souvent mal maîtrisé, accentuant la vulnérabilité face aux aléas hydrologiques.



Figure 3.1 : Situation géographique de la wilaya de Tamanrasset

## 3.2 Historique des inondations

Bien que Tamanrasset bénéficie d'un climat désertique, elle n'est pas épargnée par des épisodes de pluies torrentielles. Plusieurs inondations majeures ont marqué la région ces dernières décennies :

- **Août 1995** : de fortes pluies ont provoqué des crues rapides, endommageant les principales infrastructures.

# Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique

## Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)

---

- **Août 2016** : un épisode pluvieux intense a causé d'importantes inondations, entraînant des dégâts matériels considérables sur les habitations et les routes.
- **Août 2018** : de nouvelles inondations ont affecté plusieurs quartiers périphériques, révélant l'insuffisance des systèmes de drainage.

Ces événements illustrent la vulnérabilité de la ville face aux phénomènes extrêmes, exacerbée par la croissance urbaine désordonnée, l'insuffisance des infrastructures de protection et l'occupation anarchique des lits d'oueds.

### 3.3 Vulnérabilité des constructions

La typologie des constructions à Tamanrasset reflète les caractéristiques socio-économiques de la population locale :

- **Habitat traditionnel** : constitué principalement de matériaux locaux tels que la pierre, la terre crue (adobe) ou le pisé. Bien adaptés au climat sec, ces bâtiments sont cependant très sensibles à l'eau.
- **Habitat récent** : utilisant des matériaux modernes (briques industrielles, béton armé), mais souvent construit sans respect strict des normes parasismiques ou para-inondation, en raison de la pression démographique et du manque de contrôle urbanistique.

Les principaux facteurs de vulnérabilité identifiés sont :

- Fondations superficielles, rapidement déstabilisées par la saturation des sols.
- Absence de systèmes de drainage efficaces, exposant directement les habitations au ruissellement.
- Occupation des zones inondables, notamment le long des oueds, par des quartiers informels.
- Défauts structurels (qualité médiocre des matériaux, défauts d'étanchéité).

Ces vulnérabilités expliquent l'ampleur des dégâts observés après les épisodes de crues, notamment les effondrements de murs porteurs, les infiltrations d'eau généralisées et les destructions partielles ou totales d'habitations.

# Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)

---

## 3.4 Analyse des données collectées

### 3.4.1 Données climatiques

Tamanrasset présente un climat saharien hyperaride, caractérisé par :

- Des températures élevées toute l'année (moyenne annuelle d'environ 24°C).
- Une faible pluviométrie annuelle moyenne, inférieure à 100 mm.

Malgré cette aridité, la région connaît des épisodes pluvieux courts mais très intenses, susceptibles d'entraîner des crues soudaines en raison de l'imperméabilité naturelle des sols désertiques. Par exemple, une pluie de 30 à 50 mm en moins de 24 heures suffit à inonder massivement les oueds et provoquer des débordements. L'absence de couverture végétale accentue la rapidité des écoulements. Ainsi, l'intensité des précipitations, plus que leur volume annuel, est le principal facteur déclencheur des inondations à Tamanrasset.

### 3.4.2 Résultats des enquêtes de terrain

Pour mieux appréhender l'impact des inondations sur les constructions, une enquête a été menée entre 2023 et 2024 auprès de 150 ménages dans les quartiers les plus touchés (Amouchar, Abalessa, quartier Al-Hadjar).

#### **État des constructions avant les inondations :**

- 70 % des maisons étaient construites en matériaux traditionnels (pierre, terre crue).
- 20 % en briques de ciment sans fondations renforcées.
- 10 % en béton armé (maisons plus récentes).
- Moins de 15 % des habitations disposaient d'un système de drainage.

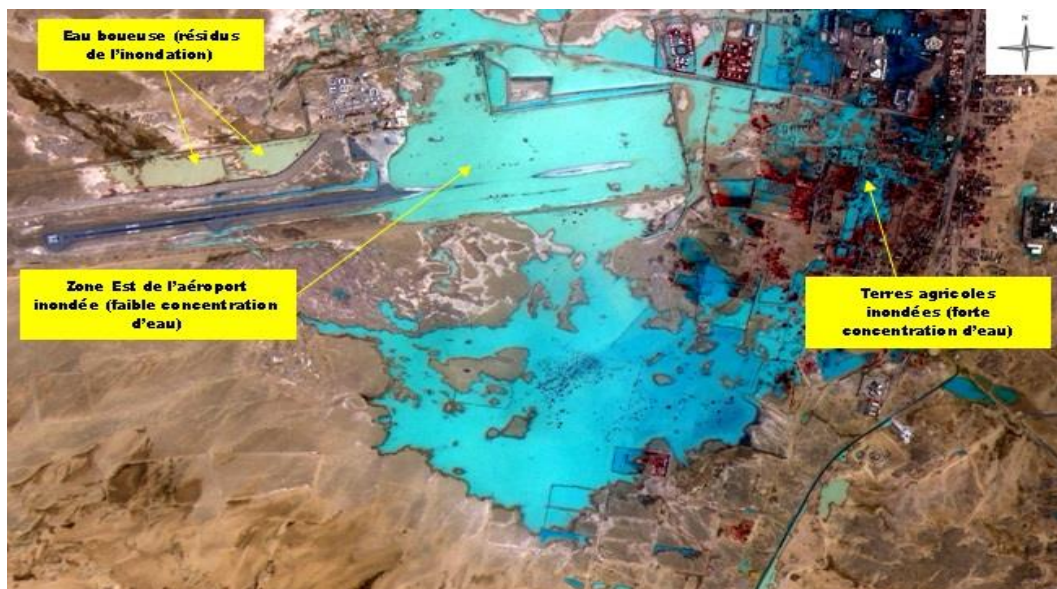
La majorité des constructions présentaient déjà des défauts structurels mineurs (fissures, absence de chaînages, mauvaise étanchéité).

#### **Dégâts constatés après les inondations (2016 et 2018) :**

- 50 % des habitations traditionnelles ont subi des effondrements partiels ou totaux des murs périphériques.

## Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)

- 30 % des constructions en briques de ciment ont présenté des fissures importantes et des affaissements de sol.
- 15 % des maisons récentes en béton armé ont enregistré des dégâts mineurs (infiltration d'eau, détérioration des revêtements extérieurs).
- 5 % des habitations, principalement situées hors des zones d'écoulement, n'ont pas été significativement affectées.



**Figure 3.2 :** Vue globale de la ville d'In Guezzam inondée à partir de l'imagerie satellitaire Alsat-2 du 07 août 2018 (mode fausses couleurs).



**Figure 3.3 :** les dégâts des inondations à Tamanrasset

# Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)

---

## Conséquences humaines et économiques :

- Déplacement temporaire de près de 500 familles en 2016.
- Pertes économiques estimées à plus de 200 millions de dinars pour les dommages matériels directs.
- Allongement du temps de reconstruction à plus de 8 mois pour les quartiers les plus touchés.

L'analyse des données révèle une forte corrélation entre le type de construction (et sa qualité) et le niveau de dommages subis. Les constructions traditionnelles, bien qu'adaptées au climat sec, se révèlent extrêmement vulnérables lors des épisodes pluvieux extrêmes, faute de mesures adaptées contre les inondations.

## 3.5 Conclusion

L'analyse détaillée des inondations à Tamanrasset met en évidence plusieurs éléments essentiels concernant l'impact des aléas hydrologiques sur les constructions en milieu désertique :

- La localisation géographique de Tamanrasset, conjuguée à des caractéristiques climatiques spécifiques (faibles précipitations annuelles mais épisodes pluvieux intenses), expose la région à des risques d'inondations soudaines, malgré son climat hyperaride.
- L'absence de couvert végétal et la nature imperméable des sols accentuent la rapidité et la violence des écoulements de surface.
- Les résultats des enquêtes de terrain montrent une vulnérabilité marquée des constructions traditionnelles et récentes face aux crues, due à l'utilisation de matériaux inadéquats, au non-respect des normes de construction et à l'occupation incontrôlée des lits d'oueds.

La modélisation hydraulique simplifiée, réalisée à l'aide de HEC-RAS et QGIS, a confirmé la forte exposition de certains quartiers à des hauteurs d'eau dépassant 0,5 mètre lors des événements extrêmes. Elle a permis d'identifier précisément les secteurs prioritaires pour les futures interventions d'aménagement et de mitigation des risques.

# **Chapitre 3 : Analyse de l'impact des inondations sur les constructions en milieu désertique Étude de cas : Tamanrasset (Sud de l'Algérie)**

---

Cette étude souligne l'urgente nécessité :

- De renforcer les politiques d'urbanisme en milieu désertique,
- De sensibiliser la population aux risques liés à l'occupation anarchique,
- D'intégrer des techniques de construction adaptées aux risques hydrologiques dans les zones sahariennes.

En conclusion, la résilience de Tamanrasset face aux inondations dépendra, dans les prochaines décennies, de la capacité à conjuguer planification urbaine, prévention structurelle et adaptation communautaire aux réalités climatiques extrêmes.

**CHAPITRE 4 : STRATEGIES DE  
PREVENTION ET DE MITIGATION  
DU RISQUE D'INONDATION EN  
MILIEU DESERTIQUE**

# Chapitre 4 : Stratégies de prévention et de mitigation du risque d'inondation en milieu désertique

---

## 4.1 Introduction

La gestion des risques d'inondation en milieu désertique est un enjeu crucial, notamment dans les régions du Sud algérien telles que Tamanrasset, où la rareté des précipitations contraste avec l'intensité et la soudaineté des événements pluvieux. Les inondations qui surviennent dans ces zones peuvent avoir des conséquences dramatiques sur les constructions, souvent non adaptées à de tels phénomènes extrêmes. Il est donc essentiel de mettre en place des stratégies d'adaptation permettant de minimiser les risques, tout en assurant la durabilité des constructions. Ces stratégies doivent s'articuler autour de l'adaptation des techniques de construction, de l'amélioration des systèmes de gestion des eaux, de la révision des politiques d'urbanisme et de la sensibilisation des communautés locales. La prise en compte du changement climatique, qui pourrait amplifier la fréquence et l'intensité des événements pluvieux, rend ces mesures d'autant plus urgentes.

## 4.2 Stratégies d'adaptation des constructions

### 4.2.1 Renforcement des fondations

Le renforcement des fondations est une priorité dans les zones sensibles aux inondations, notamment en milieu désertique où les sols peuvent devenir instables après un épisode pluvieux intense. Les fondations doivent être conçues pour supporter des charges supplémentaires dues à l'humidité, notamment en cas de remontée de nappes phréatiques ou de stagnation des eaux de crue. L'utilisation de techniques telles que les semelles larges, les fondations profondes ou les pieux assure la stabilité des bâtiments. L'installation de géotextiles pour renforcer le sol sous les fondations peut également être envisagée.

### 4.2.2 Utilisation de matériaux résistants aux inondations

Le choix des matériaux est essentiel pour garantir la durabilité des constructions en milieu désertique. L'utilisation de matériaux résistants à l'eau et hydrophobes est recommandée, notamment le béton armé, les briques stabilisées ou les composites conçus pour supporter l'humidité. Les matériaux locaux, tels que les pierres calcaires ou sableuses,

# Chapitre 4 : Stratégies de prévention et de mitigation du risque d'inondation en milieu désertique

---

peuvent être traités pour devenir plus résistants à l'eau, minimisant ainsi l'impact environnemental.

## 4.3 Gestion des risques

### 4.3.1 Conception de systèmes de drainage adaptés

La gestion des eaux pluviales est un élément clé dans la mitigation des risques d'inondation. Dans les zones désertiques, il est nécessaire de concevoir des systèmes de drainage adaptés aux caractéristiques locales : drainages périphériques autour des bâtiments, fossés de déviation, caniveaux filtrants, puits d'infiltration ou jardins de pluie. Ces dispositifs permettent de diriger l'eau loin des constructions et de favoriser la recharge des nappes phréatiques.

### 4.3.2 Recommandations en urbanisme

L'urbanisme doit intégrer le risque d'inondation dans la planification des infrastructures. Il est indispensable de réviser les normes pour interdire la construction dans les zones proches des oueds ou des lits d'inondation, d'aménager des zones tampons et de gérer les espaces verts comme bassins d'absorption d'eau. Le découpage urbain en fonction des risques hydrologiques renforcera la résilience de la ville face aux crues.

## 4.4 Propositions pour des constructions durables

L'intégration de solutions écologiques dans la conception des bâtiments permet de réduire les coûts et d'améliorer la durabilité. L'utilisation de systèmes d'irrigation passive, l'installation de panneaux solaires, la conception de toitures végétalisées, la réutilisation des eaux pluviales et l'usage de matériaux biosourcés sont autant de solutions écologiques et économiques qui renforcent la résilience tout en réduisant l'empreinte environnementale.

## 4.5 Rôle des autorités locales et des communautés

Les autorités locales jouent un rôle central dans la gestion des risques et la mise en œuvre des solutions de prévention. Elles doivent intégrer les risques d'inondation dans les

# Chapitre 4 : Stratégies de prévention et de mitigation du risque d'inondation en milieu désertique

---

politiques locales et coordonner les interventions. Parallèlement, les communautés locales doivent être sensibilisées et formées à la gestion des risques. Une approche participative, impliquant les habitants dans la planification et la mise en œuvre des solutions, renforce la résilience collective. Les programmes de formation et les exercices de simulation de crise améliorent la réactivité en période de crise.

## 4.6 Conclusion

L'analyse des impacts des inondations sur les constructions en milieu désertique, notamment à Tamanrasset, met en lumière l'ampleur des risques liés à l'eau dans ces régions. Les inondations, bien que rares, sont souvent soudaines et d'une grande intensité, aggravant leur impact sur des infrastructures mal adaptées. Les constructions existantes souffrent de défauts majeurs, tels que l'absence de fondations renforcées et l'utilisation de matériaux inappropriés. L'absence de système de drainage adéquat et une urbanisation mal planifiée accentuent ces vulnérabilités.

Les stratégies proposées dans cette étude visent à renforcer la résilience des constructions à travers des techniques adaptées, l'utilisation de matériaux résistants à l'eau et la mise en place de systèmes de gestion des risques et de drainage efficaces. Une gestion proactive des risques, notamment par la planification urbaine et la sensibilisation des communautés, est indispensable pour éviter une aggravation de la situation.

En définitive, la résilience des villes sahariennes face aux inondations dépendra de la capacité à conjuguer planification urbaine, adaptation technique et engagement communautaire pour faire face aux réalités climatiques extrêmes.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

L'étude menée sur l'impact de l'aléa inondation dans la région désertique de Tamanrasset met en évidence la complexité et la gravité des risques hydrologiques dans un environnement marqué par l'aridité. Malgré une pluviométrie annuelle faible, la région est exposée à des épisodes pluvieux courts mais intenses, capables de provoquer des crues soudaines et destructrices. Ces phénomènes, aggravés par l'imperméabilité des sols, l'absence de couverture végétale et la croissance urbaine non maîtrisée, mettent en péril la sécurité des populations et la pérennité des infrastructures.

L'analyse des données de terrain a montré que les constructions traditionnelles, bien que parfaitement adaptées au climat sec, se révèlent extrêmement vulnérables face à l'eau. Les constructions récentes, souvent réalisées sans respect des normes adaptées aux risques d'inondation, présentent également des faiblesses structurelles importantes. L'absence de fondations renforcées, de systèmes de drainage efficaces et l'occupation anarchique des zones inondables accentuent les dégâts lors des épisodes extrêmes.

Face à ce constat, il apparaît essentiel de repenser les pratiques de construction et d'urbanisme en milieu désertique. Le renforcement des fondations, le choix de matériaux résistants à l'eau, la conception de systèmes de drainage adaptés, ainsi que la planification urbaine tenant compte des zones à risque, sont des axes prioritaires pour réduire la vulnérabilité des habitats. Par ailleurs, la sensibilisation et l'implication des communautés locales, associées à une gouvernance proactive des autorités, constituent des leviers majeurs pour une gestion efficace du risque.

Les stratégies proposées dans ce travail visent à renforcer la résilience des constructions et des populations face aux inondations, tout en intégrant les impératifs de durabilité et d'adaptation au changement climatique. La réussite de ces démarches dépendra de la capacité collective à conjuguer innovation technique, respect des spécificités locales et engagement communautaire.

En définitive, la protection durable des régions désertiques contre l'aléa inondation passe par une approche intégrée, alliant prévention, adaptation et participation de tous les acteurs. Ce défi, à la fois technique, social et environnemental, conditionne l'avenir des villes sahariennes et la sécurité de leurs habitants.

## CONCLUSION GENERALE

---

Les résultats de cette étude soulignent la nécessité de poursuivre les recherches sur plusieurs aspects liés aux risques d'inondation en milieu désertique. Il serait pertinent d'étudier l'évolution des phénomènes climatiques extrêmes dans la région, notamment en tenant compte du changement climatique, afin d'affiner les modèles de prévision des inondations. De plus, des recherches approfondies sur les matériaux de construction innovants et durables, adaptés aux conditions désertiques, permettraient de développer de nouvelles solutions pour des constructions plus résilientes. Il serait également intéressant d'explorer des techniques de gestion intégrée des ressources en eau, en particulier en lien avec les systèmes de drainage urbains et les méthodes d'infiltration. Enfin, un volet important concerne l'implication des communautés locales dans la gestion des risques et la planification urbaine, ce qui pourrait faire l'objet d'études plus poussées sur l'efficacité des programmes de sensibilisation et des démarches participatives.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

---

- Abdrabo, M. A., & Hassaan, M. A. (2015). *Impact of urbanization and land use changes on flooding in arid regions*. Journal of Environmental Management, 154, 123-134.
- ANRH (2017). Rapport sur les inondations en milieu désertique, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Algérie.
- Benyahia, A., et al. (2019). "Durabilité des matériaux en terre crue face aux inondations", Revue des Sciences de l'Ingénieur.
- Bourgeois, J. (2007). Architecture et urbanisme dans le M'Zab. Editions Parenthèses.
- Chapi, K., Pourghasemi, H. R., & Kornejady, A. (2017). *Flood susceptibility mapping using Random Forest and GIS techniques in arid and semi-arid regions*. Natural Hazards, 89(2), 1123-1145.
- Dahmani M., Guebboub L.S., 2022, *Caractérisation des matériaux de construction en terre crue : Cas de l'adobe Ksar el Hara - wilaya de Djelfa*, Revue d'études archéologiques.
- Desbordes, M. (1997). La gestion urbaine du risque d'inondation : problématique et enjeux. La Houille Blanche, n°7, pp. 20-24.
- Desbordes, M. (2020). Principales causes d'aggravation du risque d'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbanisé.
- Direction de la Protection Civile de Béchar (2007). Rapport annuel.
- El Kadi, G. (2013). L'architecture vernaculaire saharienne : adaptation au climat et gestion de l'eau. Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée, 132, 45-67.
- EM-DAT (2023). (Base de données ou rapport spécifique de l'EM-DAT sur les catastrophes naturelles).
- Fathy, H. (1986). Architecture for the Poor: An Experiment in Rural Egypt. University of Chicago Press.
- Fatima Zohra Hadjari, (2022). Dégradations des bétons en zones arides en Algérie. Département des Sciences de la Technologie, Université d'Adrar. (2022).

## Références bibliographiques

---

- Fekete, A., Vorogushyn, S., & Apel, H. (2015). *Flood risk assessment in arid environments: Challenges and methodologies*. *Water Resources Research*, 51(9), 7040-7055.
- Garry, G. (1993). Le risque d'inondation en France.
- Gendreau et al. (1998). Gestion du risque d'inondation et méthode Inondabilité : une perspective socio-économique. *Ingénieries – EAT*, n°14, pp. 3-15, Cemagref, Lyon et LATEC, Université de Bourgogne, Dijon.
- Gilard, J.P. (1995). The “Inondabilité” method: a practical approach to flood risk prevention for better integrated watershed management. Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), Québec.
- Higuera P., 2021, *Évaluation de la performance environnementale de la technique de construction en adobe*, AJCE.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. Intermediate Technology Publications. , London, 362 pages
- Kohansarbaz, M., Pourghasemi, H. R., & Pradhan, B. (2022). *Application of machine learning models for flood susceptibility mapping in data-scarce desert environments*. *Environmental Modelling & Software*, 146, 105231.
- Laganier, R., & Scarwell, H.J. (2001-2003). *Risque inondation, aménagement du territoire et développement durable*.
- Mémento du Maire. (2012). *Risque inondations*.
- Mostefai O., 2020, *L'architecture de terre*, Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Mouhoubi, M. (2015). "Résilience de l'habitat traditionnel face aux risques hydriques à Ghardaïa", Mémoire de Master, Université de Ghardaïa.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Pearson Education.
- Nouaouria A., 2024, *Valorisation des sols fins en matériau de construction*, Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Peeling, D. (2003). "Indirect impacts of natural disasters on built heritage", *Journal of Cultural Heritage*.

## Références bibliographiques

---

- PNUD (2014). Rapport sur la gestion des catastrophes en Afrique du Nord.
- Pottier, L. (1998). L'utilisation des outils juridiques de prévention des risques d'inondation : évaluation des effets sur l'homme et de l'occupation des sols dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne). Thèse de Doctorat, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 582 pages
- Rapport commission d'enquête Assemblée nationale. (2018). Causes des inondations.
- Smith, K. (2013). Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. Routledge.
- UNESCO (2014). Le M'Zab, un exemple d'urbanisme durable dans le Sahara algérien.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge.
- Yasmine Nour El Houda Saidi., (2020). Structure mixte hybride : centre de recherche et de formation en technologie du bâtiment à Tlemcen, (2020).

