



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTÉ: GÉNIE-CIVIL ET ARCHITECTURE**

**DÉPARTEMENT : GÉNIE-CIVIL**

### **MÉMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : NANI Oussama et BAROUD Ahmed-Abdessamad**

**DOMAINE : SCIENCES ET THECHNOLOGIE**

**FILIÈRE : GÉNIE CIVIL**

**OPTION : STRUCTURES**

#### **Thème**

**Étude et Diagnostic de la Vulnérabilité de Bâti Existant Face aux Inondations. Khat El Oued. Laghouat**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>qualité</b>
MK.Gueddouda	Pr	Président
Z.Damene	MCB	Examinatrice
F.Boulaghmen	MAA	Promotrice

**Promotion : JUIN - 2019**

## ***Remerciements***

*Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*Nos plus vifs remerciements vont à Mm F.Boulaghmen pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet, et pour Tous les conseils instructifs et judicieux et leur disponibilité.*

*Nous tenons à remercier également les membres de jury :*

*Mr MK.Gueddouda et Mm Z.Damene pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*A tous les enseignants du département Génie Civil qui ont contribué à notre formation.*

## ***Dédicace***

A Ma Très Chère Mère : **Khaira**

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A Mon Très Cher Père : **Atallah**

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

A ma très chère épouse : **Soumia**

Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance. Merci d'être toujours à ma côte, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse, de mon admiration et de ma grande affection je te prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon sincère attachement. Je prie dieu le tout puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité.

A ma grande famille : la famille **Baroud** et la famille **Bensaad**.

A mes beaux-frères et sœurs: **Rabah, Djamal, Ali, Radia, Fatima** et **Yasmine** et leurs enfants et familles : **Hadjer, Rachida, dalal, nourssine, Khadidja, Ibtihal** et **djouri**. Merci

A mon chère binôme: **NANI Oussama**.

Pour son entente et sa sympathie, pour leur indéfectible soutien et leur patience infinie. A tous mes chères amies pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tous mes **autres amis** et à tous ceux que **j'aime moi**. Tout le monde.

**Ahmed Abdessamad**

## **Dédicace**

On fin après la fatigue et les difficultés, je termine ici les recherches nécessaires pour obtenir mon diplôme avec toute la vigueur et la gratitude, ainsi que la gratitude envers toutes les personnes qui ont eu une vertu dans mon éducation.

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père : **Ali**.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore : **Fatima**.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu tout au long de ce projet, mes beaux-frères et sœurs : **Ayoub, Oumessad, Hadjer, Djaouida, Mohamed Lamine, Ahmed Yassin et Lalla Kanza**.

Dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements, ma grande famille : la famille **Nani** et la famille **Nedjmaoui**.

A mon très chère amis : **H. Ali** et **N. Abd Allatif, B. Chemso, B.A. Ahmed, G. Ali, H. Youcef, B. Othman, O. Issam, H. Abd El Karim**.

Pour qui j'ai toujours souhaité être son collègue : **B. Abd El Mou men**. Je serais toujours ton binôme.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mon côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mon aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur : tous les membres de **Bridge club** et **M.N.E.A**.

A mon chère binôme : **Baroud Ahmed Abdessamad**.

Pour son entente et sa sympathie, pour leur indéfectible soutien et leur patience infinie. A tous mes chères amies pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tous mes **autres amis** et à tous ceux que **j'aime moi**. Tout le monde.

**Oussama**

## *Introduction Général*

Dans un premier temps, les concepts vont être définis dans un contexte descriptif puis étoffés dans un second temps pour permettre de dresser le cadre terminologique précis, en spécifiant les aspects de la problématique qui vont être pris en charge au sein de ce travail.

Afin de mettre en évidence notre problématique, nous allons faire une étude des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans la zone de Khat El Oued. Il a été traité plusieurs opérations de recensement, collecte de données et sortie sur terrain avec prise de note de différents sondages afin de mettre en évidence les paramètres qui nous permettront par la suite de développer l'étude numérique.

En effet la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles. Le système d'information géographique (SIG) apporté une contribution particulière dans l'évolution des recherches sur les risques naturels en général et les inondations en particulier. Est à l'objectif de l'étude est d'évaluer et réaliser un système d'information géographique pour gérer le risque d'inondation, et établir des cartes des zones inondables dans la zone de khat El' oued, wilaya de Laghouat. Nous allons présenter notre zone d'étude et expliquer la méthodologie qu'on va suivre lors de la réalisation des cartes de vulnérabilité ainsi que les différentes phases pour réaliser notre SIG.

Le diagnostic de la vulnérabilité de bâti existant face aux inondations, nous a permis de constater que les trois indicateurs suivants : la source du risque, la morphologie urbaine et le lever topographique, ont une relation directe avec l'aléa inondation et le milieu urbain. Pour cela nous avons mis au point l'élaboration des données numériques au service de la cartographie réelle afin de faire ressortir une carte de vulnérabilité nous permettant de mettre en évidence les quartiers à risque.

## **Résumé :**

La problématique de risque d'inondation est un sujet d'actualité, notamment aux regards des dernières grandes crues annuelles que la ville de Laghouat a connu ces dix dernières années. Pour cette raison, on a choisi d'aborder la thématique du diagnostic de la vulnérabilité du bâti existant au niveau de Khat El Oued. En effet la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles. L'objectif de ce travail est d'identifier les différentes modalités pouvant être mises en œuvre pour conduire des actions de réduction de la vulnérabilité des habitations des quartiers Djoudi-Bel-Kacem, El Kabbou et Zbara menacées par l'effet de débordement d'Oued M'zi. Pour cela, cette étude s'appuie sur des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans la zone de Khat-El-Oued Il a été traité plusieurs opérations de recensement, collecte de données et sorties sur terrains avec prise de note des différents sondages afin de mettre en évidence les paramètres qui nous permettront par la suite de développer l'étude numérique. Le système d'information géographique (SIG) apporté une contribution particulière dans l'évolution des recherches sur les risques d'inondations. Le diagnostic de la vulnérabilité nous a permis de constater que les trois indicateurs suivants : la source du risque, la morphologie urbaine et le lever topographique, ont une relation directe avec l'aléa inondation et le milieu urbain. Pour cela nous avons mis au point l'élaboration des données numériques au service de la cartographie réelle afin de faire ressortir une carte de vulnérabilité global nous permettant ainsi de mettre en évidence les quartiers à risque d'immersion. La clé d'une bonne réaction est l'anticipation par la prévention.

**Mot clés :** Diagnostic, Inondation, Khat El Oued, SIG, Vulnérabilité

## **Abstract:**

The problem of flood risks is a important topic, particularly in light of the last annual floods that the city of Laghouat has experienced over the past ten years. For this reason, we have chosen to address the issue of diagnosing the vulnerability of existing buildings at the level of Khat El Oued. Indeed the management of this risk becomes more and more a necessity which must include all the actors and all the available means possible. The objective of this work is to identify the different methods that can be implemented to carry out actions to reduce the vulnerability of housing in Djoudi-Bel-Kacem, El Kabbou and Zbara neighborhoods threatened by the overflow effect of Oued M'zi. However, this study is based on theoretical concepts that can be applied and verified in the Khat-El-Oued area. Several census operations, data collection and field trips with note taking of different surveys to highlight the parameters that will allow us to develop the digital study. Geographic Information System (GIS) have made a particular contribution to the evolution of flood risk research. The vulnerability diagnosis revealed that the three following indicators: source of risk, urban morphology and topographic survey, have a direct relationship with the flood hazard and the urban environment. For this we have developed the development of digital data in the service of the actual mapping to highlight a global vulnerability map allowing us to highlight the neighborhoods at risk of immersion. The key to a good reaction is anticipation through prevention.

**Keywords:** Diagnosis, Flood, Khat El Oued, SIG, Vulnerability

## **ملخص:**

تعد مشكلة مخاطر الفيضانات موضوعاً هاماً ، خاصة في ضوء الفيضانات السنوية الأخيرة التي مرت بها مدينة الأغواط على مدار السنوات العشر الماضية. لهذا السبب ، اخترنا معالجة مشكلة تشخيص هشاشة المباني القائمة على مستوى خط الواد. في الواقع ، أصبحت إدارة هذا الخطر ضرورة أكثر فأكثر والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة وجميع الوسائل المتاحة الممكنة. الهدف من هذا العمل هو تحديد الطرق المختلفة التي يمكن استعمالها لتنفيذ إجراءات الحد من هشاشة المباني في الأحياء السكنية: جودي بلقاسم والقابو وزبارة المهدة بتأثير الفيضان في وادي مزي. لهذا ، تستند هذه الدراسة إلى مفاهيم نظرية يمكن تطبيقها والتحقق منها في منطقة خط الواد. العديد من عمليات التعداد وجمع البيانات والرحلات الميدانية تم تدوين الملاحظات من زيارات ميدانية مختلفة لتسليط الضوء على المعلومات التي سوف تسمح لنا بتطوير الدراسة الرقمية. قدمت نظم المعلومات الجغرافية مساهمة خاصة في تطوير أبحاث مخاطر الفيضان، حيث كشف تشخيص الضعف والهشاشة أن المؤشرات الثلاثة التالية: مصدر الخطر ، التشكل الحضري والمسح الطبوغرافي ، لها علاقة مباشرة بمخاطر الفيضان والبيئة الحضرية. لذلك قمنا بتطوير البيانات الرقمية في خدمة التعيين الفعلي لتسليط الضوء على خريطة الضعف العامة للمنطقة التي تسمح لنا بتسليط الضوء على الأحياء المعرضة لخطر الانغمار بمياه الأمطار.

**الكلمات المفتاحية :** التشخيص، الفيضان، خط الواد، المباني، نظم المعلومات الجغرافية، الهشاشة .

## LISTE DES FIGURES

### ➤ Chapitre I : Etude Bibliographique

Figure I 1. Diagnostique en génie civile .....	3
Figure I 2. Cycle du diagnostic des pathologies et de la maintenance d'un bâtiment .....	4
Figure I 3. Choisir pour la stratégie "résister". .....	14
Figure I 4. Les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment. ....	15
Figure I 5. Les désordres du mur en brique de terre (toub).....	16
Figure I 6. Différent types de fondations. ....	17
Figure I 7. Fléchissement et rupture de la poutre du plancher. ....	17
Figure I 8. Représentation des enjeux. ....	19

### ➤ Chapitre II : Présentation de la Zone d'Étude et Démarche Méthodologique

Figure II 1. Hôtel de transit (saharien).. .....	27
Figure II 2. Situation de Laghouat au niveau national. ....	28
Figure II 3. Carte administrative de Laghouat. ....	29
Figure II 4. Situation géographique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.0</b>
Figure II 5. Températures minimum et maximum. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.0</b>
Figure II 6. Précipitations en mm.....	<b>Erreur ! Signet non défini.1</b>
Figure II 7. Situation géographique du bassin versant de Oued M'zi.....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure II 8. Températures moyennes.....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure II 9. Laghouat aéroport Ahmed Madeghri. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure II 10. Laghouat l'accessibilité terrestre.....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure II 11. Carte géologique de la ville de Laghouat.....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>
Figure II 12. Vue satellitaire de la zone de Khat El Oued. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.5</b>
Figure II 13. La crue du 30 septembre 2016. ....	37
Figure II 14. Bâtiment à usage d'habitation inondé. ....	38

Figure II 15. Infrastructure de transports inondés.....	38
Figure II 16. La morphologie de risque d'Oued M'Zi .....	39
Figure II 17. La morphologie de risque d'Oued M'Zi .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

➤ **Chapitre III : Présentation de Logiciel SIG Analyse et Traitement des Donnés**

Figure III 1. Définition d'un Système d'Information Géographique. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure III 2. Présentation du logiciel Map-Info. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>
Figure III 3. Superposition sous un SIG.....	<b>Erreur ! Signet non défini.5</b>
Figure III 4. Exemple de sélection. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.5</b>
Figure III 5. Domaines d'application des SIG. ....	47
Figure III 6. Organigramme de la méthodologie.....	48
Figure III 7. Exemple de photos aériennes de Laghouat.....	<b>Erreur ! Signet non défini.0</b>
Figure III 8. Exemple d'importation de fichiers vers le SIG. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.1</b>
Figure III 9. Types de données dans un SIG. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure III 10. Données spatiales.....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure III 11. Données associées.....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure III 12. Basse des donnés .....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>

➤ **Chapitre IV : Résultat, Analyse et discussion**

Figure IV 1. Schématisation des quartiers des quartiers de Khat El Oued en 1901.....	56
Figure IV 2. Vue globale sur la mixture urbaine en nouveau et ancien .....	57
Figure IV 3. Vue sur les jardins dans les quartiers urbains.....	58
Figure IV 4. Cartographie des jardins dans la zone d'étude .....	58
Figure IV 5. Vue sur les bâtisses en Toub.....	59
Figure IV 6. Cartographie des constructions en Toub dans la zone d'étude.....	60
Figure IV 7. Vue sur l'expansion des constructions en béton au niveau de Khat El Oued ....	60
Figure IV 8. Cartographie des constructions en Béton dans la zone d'étude....	<b>Erreur ! Signet non défini.1</b>

Figure IV 9. Vue globale sur la zone submergée .....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure IV 10. Cartographie de la zone submergée lors de l'inondation du 30 Septembre 2016 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.2</b>
Figure IV 11. Identification des données .....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure IV 12. Les différentes caractéristiques d'habitations du quartier Zgag El Kabou .....	<b>Erreur ! Signet non défini.3</b>
Figure IV 13. Les différentes caractéristiques d'habitations du quartier Zgag El Kabou .....	<b>Erreur ! Signet non défini.4</b>
Figure IV 14. Pourcentage des caractéristiques de la zone de Khat El Oued ...	<b>Erreur ! Signet non défini.5</b>
Figure IV 15. Carte thématique de la zone de Khat El Oued.....	<b>Erreur ! Signet non défini.5</b>
Figure IV 16. Les pourcentages du risque d'inondation dans la zone Khat El Oued .....	66

## LISTE DES TABLEAUX

### ❖ Chapitre I : Etude Bibliographie

Tableau I 1. Classification du degré de vulnérabilité lié à la sécurité des personnes. ....	11
Tableau I 2. Classification du degré de vulnérabilité lié à la sécurité des personnes. ....	11
Tableau I 3. Classification des degrés de vulnérabilité susceptibles.	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 2
Tableau I 4. Caractéristiques et impacts sociaux et économiques des différents types d'inondation. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 0
Tableau I 5. La hauteur d'eau et le niveau d'endommagement. .	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 4

### ❖ Chapitre II : Présentation de la Zone d'Étude et Démarche Méthodologique

Tableau II 1. Les crues d'Oued M'zi. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 6
Tableau II 2. La dénivelée de la zone urbaine.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 0

### ❖ Chapitre IV : Résultat, Analyse et discussion

Tableau IV 1. Identification et caractérisation des quartiers de la zone d'étude. ....	67
----------------------------------------------------------------------------------------	----

## TABLE DES MATIERES

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

**Introduction Générale ..... 1**

**Chapitre I: Etude Bibliographique**

**1.1 Introduction ..... 2**

**1.2 Définition d'un Diagnostic..... 2**

1.2.1 Méthodologie à suivre en vue d'aboutir au diagnostic ..... 4

1.2.2 Documenter la structure (identification de la structure)..... 5

1.2.3 Analyse des conditions de service ..... 5

1.2.4 Visite de site où "visite préliminaire" ..... 6

1.2.5 Evaluation des données nécessaires au diagnostic. .... 6

**1.3 La vulnérabilité. .... 6**

1.3.1 Définition..... 7

1.3.2 Type de vulnérabilité ..... 7

1.3.3 Evaluer la vulnérabilité..... 8

1.3.4 la vulnérabilité des bâtiments.. .... 9

1.3.5 Comment appréhender la vulnérabilité du bâtiment ?..... 9

1.3.6 La vulnérabilité liée à la sécurité des personnes..... 10

1.3.7 La vulnérabilité liée au retour à la normale. .... 12

1.3.8 La vulnérabilité liée aux effets domino ..... **1Erreur ! Signet non défini.**

1.3.9 La réduction de la vulnérabilité au risque inondation. .... 13

1.3.10 La vulnérabilité dans les bâtées en brique de terre (toub).....	15
<b>1.4 Construction en brique de terre.....</b>	<b>15</b>
1.4.1 L'eau dans les fondations.....	16
1.4.2 L'eau dans les planchers et toitures plates.....	17
<b>1.5 L'Inondation.....</b>	<b>17</b>
1.5.1 Notions de risque, d'aléa.....	18
1.5.2 Typologie des inondations en milieu urbain et péri-urbain.....	19
1.5.3 Le risque d'inondation.....	21
1.5.4 Les inondations au milieu urbain.....	22
1.5.5 Les causes aggravent les risques d'inondations dans les zones urbaines.....	22
1.5.6 Les caractéristiques de l'inondation.....	22
1.5.6.1 La hauteur d'eau.....	23
1.5.6.2 La durée d'immersion.....	24
1.5.6.3 La vitesse du courant d'immersion.....	25
<b>1.6 Conclusion.....</b>	<b>26</b>
<b>Chapitre II : Présentation de la Zone d'Étude et Démarche Méthodologique</b>	
<b>2.1 Introduction.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Présentataion de la ville de Laghouat.....</b>	<b>27</b>
2.2.1 Étymologie.....	27
2.2.2 Situation administrative.....	28
2.2.3 Situation géographique.....	29
2.2.4 Situation climatique.....	30
2.2.5 L'accessibilité de la wilaya.....	33
2.2.6 Géologie de la ville.....	34
2.2.7 Les caractéristiques socio-économiques.....	35
<b>2.3 Présentation de la zone de Khat El Oued.....</b>	<b>35</b>

<b>2.4 Historique sur les inondations de la commune de Laghouat.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5 Description de la crue du 30 septembre 2016 .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6 Problématique et état des lieux .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7 levés topographiques de la zone d'étude.....</b>	<b>40</b>
<b>2.8 Conclusion.....</b>	<b>41</b>
<b>Chapitre III : Présentation de Logiciel SIG Analyse et Traitement des Donnés</b>	
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2 Concepts fondamentaux des systèmes d'informations géographiques.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3 Définition de SIG .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4 Définition les outils de SIG .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Choix et fonctions du SIG.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.5.1 Concepts fondamentaux de Map-Info .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>3.6 Fonctionnalités d'un SIG.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>3.7 L'avantage du SIG .....</b>	<b>46</b>
<b>3.8 Domaines d'application du SIG .....</b>	<b>46</b>
<b>3.9 Utilisation des SIG pour la prévention et la gestion des inondations .....</b>	<b>48</b>
<b>3.10 Méthodologie de travail .....</b>	<b>48</b>
3.10.1 Définition du projet.....	49
3.10.2 Définition des objectifs.....	49
3.10.3 Définition des données .....	49
3.10.4 Modes d'acquisition de données.....	49
3.10.5 Types de données dans un SIG.....	51
<b>3.11 Données spatiales.....</b>	<b>52</b>
3.11.1 Données associées .....	53
<b>3.12 Analyse et traitement des donnés.....</b>	<b>54</b>
<b>3.13 Conclusion.....</b>	<b>55</b>

## **Chapitre IV : Résultat, Analyse et discussion**

<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Description Historique urbaine de la zone d'étude .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3 Morphologie urbaine de la zone d'étude.....</b>	<b>57</b>
4.3.1 Les jardins .....	57
4.3.2 Les constructions en Toub.....	59
4.3.3 Les constructions en Béton.....	60
4.3.4 La zone mixte (Béton, Toub).....	61
<b>4.4 La superposition des cartes des différentes zones .....</b>	<b>62</b>
<b>4.5 Identification des bâtisses à risque dans la zone d'étude.....</b>	<b>64</b>
<b>4.6 Analyse thématique .....</b>	<b>65</b>
<b>4.7 Analyse et Discussions.....</b>	<b>68</b>
<b>4.8 Les propositions d'aménagement pour une meilleure gestion du risque d'inondation dans la zone d'étude .....</b>	<b>68</b>
<b>4.9 Conclusion.....</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>.70</b>

## 1.1 Introduction

Ce premier chapitre est consacré aux définitions des concepts clés intervenant dans la problématique d'étude et diagnostique de la vulnérabilité du bâti existant face aux inondations.

## 1.2 Définition d'un Diagnostic

Le diagnostic est un acte intelligent qui consiste à identifier les anomalies ou dysfonctionnements qui apparaissent dans un ouvrage et à donner leurs causes probables. Habituellement, le terme diagnostic désigne la réalisation des examens nécessaires à la formulation de conclusions, la définition précise des pathologies ainsi que l'identification des causes probables [1].

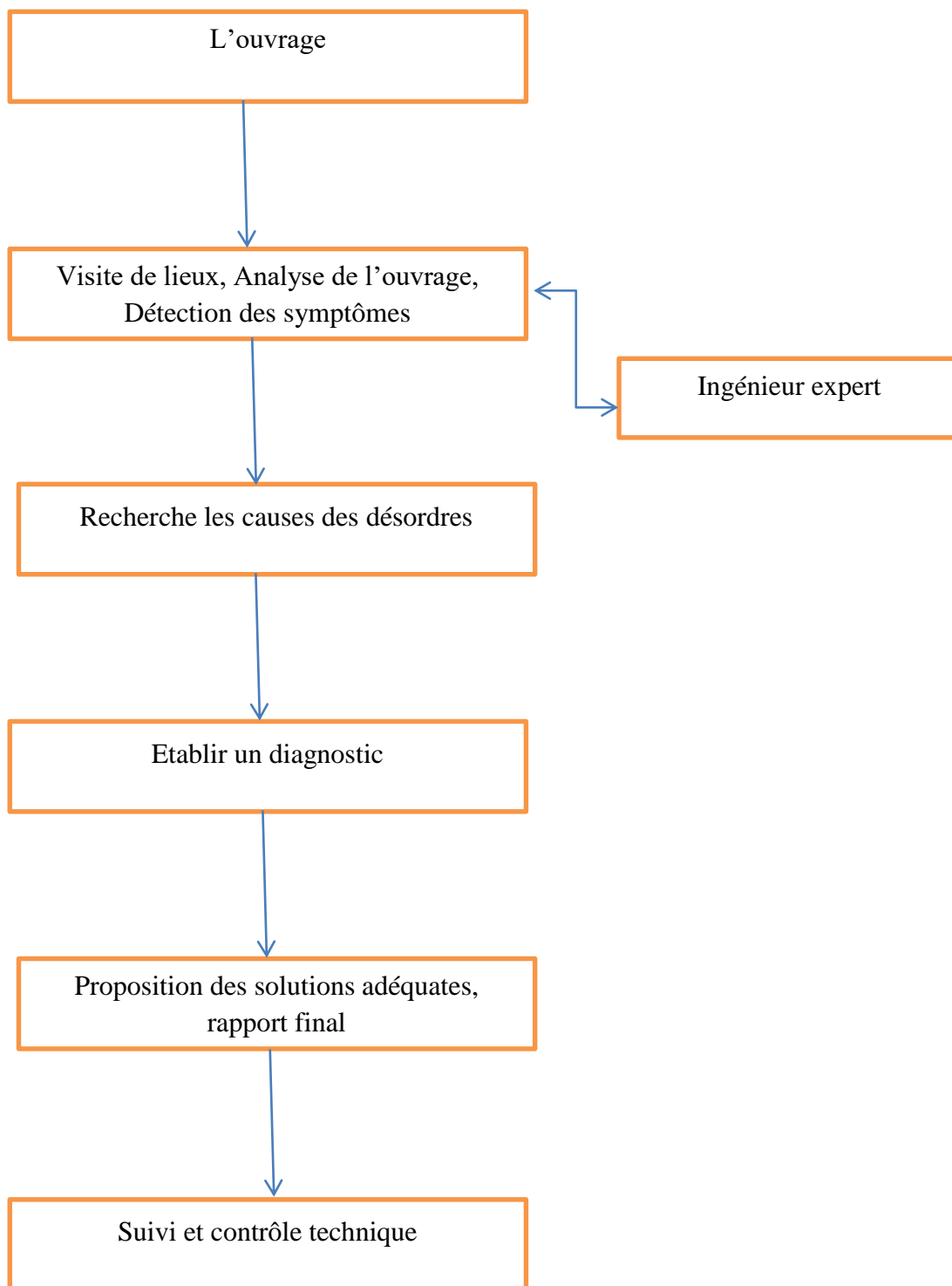
Le diagnostic peut être établi par un généraliste ou par un spécialiste de telle ou telle discipline technique en fonction de l'objectif à atteindre.

Après un diagnostic on établit un pronostic sur l'état de l'ouvrage analysé et on se projette dans le futur avec le plus de certitude possible [1].

Généralement on peut décomposer le diagnostic en trois parties :

- Observation des symptômes
- Analyse des données correspondantes.
- Raisonnement et conclusion (partie intelligente du diagnostic).

L'approche du diagnostic est liée aux moyens et outils d'acquisition des données et aussi aux méthodes utilisées dans l'analyse. Il s'agit donc d'une tâche à caractère relatif dans lequel il est rarement possible d'obtenir un recueil exhaustif des données [1].



**Figure I 1.** Diagnostic en génie civile [1].

### 1.2.1 Méthodologie à suivre en vue d'aboutir au diagnostic

Il n'existe pas une démarche toute faite pour mener une opération de diagnostic mais il y a un schéma de principe qui se dégage tel qu'indiqué à la figure I.2 suivant :

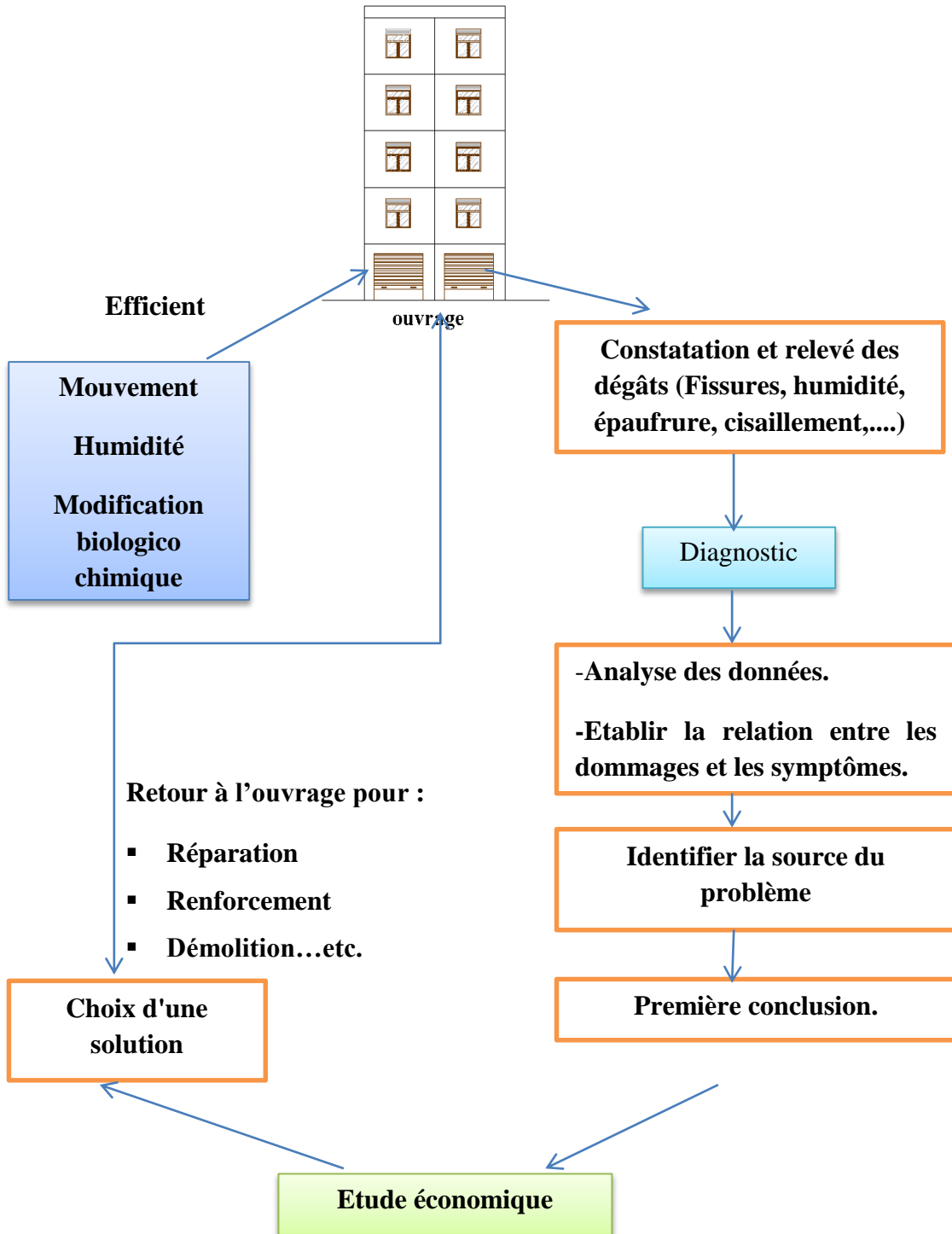


Figure I 2. Cycle du diagnostic des pathologies et de la maintenance d'un bâtiment [1]

Théoriquement ce schéma peut être subdivisé en cinq parties [1] :

- Documenter la structure (identification de la structure).
- Analyse des conditions de service.
- Visite de site où "visite préliminaire".
- Visite détaillée.
- Evaluation des données nécessaires au diagnostic.

### **1.2.2 Documenter la structure (identification de la structure)**

Cette étape vise à rassembler le maximum d'informations concernant la conception, la construction, l'entretien et l'utilisation de la structure, ces informations peuvent être obtenues par :

- Les dossiers techniques de la structure (plans d'architectures, plans de génie civil, photos...etc.)
- Le cahier de chantier, les rapports de réunions et tout autre document de surveillance.
- Les résultats d'essais de contrôle des matériaux.
- Le type d'intervention après réception :
  - entretien.
  - réparation "pourquoi et comment".

Si le projet concerné ne possède pas un dossier technique, dans ce cas on essaye de constituer le dossier d'identification par :

- la prise des photos.
- Le descriptif de la structure (conception, matériaux, année approximative de construction).
- Dessiner la structure (établir les plans d'architectures).
- Entretien avec le /les propriétaire(s).

### **1.2.3 Analyse des conditions de service**

Le but de cette étape est d'évaluer dans quelle mesure la fonction actuelle de la structure (condition de service) correspond aux spécifications d'origine.

Il faut mener cette étape avec soin car très souvent les causes de dégradation sont liées aux conditions de service.

#### **1.2.4 Visite de site où "visite préliminaire"**

Le but de cette étape est de définir l'état actuel de l'ouvrage et de proposer si possible des mesures d'urgence.

Cette visite consiste à :

- Prendre des photos.
- Mesurer des ouvertures et des longueurs des fissures.
- Localiser et observer des zones critiques (joints, système de drainage, appuis...etc.).
- Recueillir les données sur les dommages à savoir :
  - Nature et intensité des désordres. (Fissures, corrosion, épaufrure ...etc.).
  - Localisation des désordres (si possible positionner les désordres sur des plans).

#### **1.2.5 Evaluation des données nécessaires au diagnostic**

En tenant compte des résultats et données recueillies, les ingénieurs vont choisir les méthodes expérimentales par une évaluation convenable [1]. Les méthodes expérimentales d'évaluation disponibles actuellement permettent de définir les propriétés physico-chimiques du béton (résistance à la compression, granulométrie, taux d'humidité...etc.) et de quantifier la vulnérabilité actuelle de la structure envers l'environnement.

Le choix de la méthode d'évaluation est guidé par les points suivants :

- L'expérience du personnel chargé de l'expertise et du diagnostic.
- Le caractère du problème rencontré (nouveau, connu, inconnu, très connu).

### **1.3 La vulnérabilité**

Le retour d'expérience montre que, quels que soient les moyens mis en œuvre pour protéger les biens exposés aux inondations, un certain risque demeure. Dès lors que les

ouvrages de protection cèdent ou que les crues dépassent les aléas de dimensionnement, les biens sont inondés.

### 1.3.1 Définition

La notion de la vulnérabilité désigne en général, la sensibilité aux blessures, aux attaques ou d'éprouver des difficultés pour recouvrer une santé mise en péril. Elle est définie aussi comme une fragilité d'un système et leur degré d'exposition d'une population à un risque.

La vulnérabilité peut-tout d'abord être vue comme étant le taux d'endommagement attendu d'un équipement donné (bâtiment, activité, société...) [2]. Elle peut également être vue comme étant l'ensemble des facteurs de fragilité qui contribuent à la réalisation des dommages en cas de survenue de l'aléa.

Deux explications de vulnérabilité sont possibles :

- **Vulnérabilité analytique** : représente la mesure d'endommagement potentiel, le niveau de conséquences sur les hommes, leurs biens, les milieux affectés par un aléa.
- **Vulnérabilité synthétique** : vise à cerner les conditions ou les facteurs propices aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse à une situation de crise. Elle a deux composantes :
  - La résistance : liée à l'efficacité des mesures visant à prévenir, à éviter ou à réduire les dommages.
  - La résilience d'un système : sa capacité à absorber le changement et à recouvreront fonctionnement après la crise.

Les mesures et travaux de réduction de la vulnérabilité concernent principalement les vulnérabilités physiques et systémiques [3]. Les travaux sur la résilience vont tout particulièrement s'intéresser aux vulnérabilités sociale et systémique, qui sont des facteurs fondamentaux pour garantir un retour à la normale le plus rapide et le plus facile possible [3].

### 1.3.2 Type de vulnérabilité

Cette vulnérabilité se décline en [4] :

- Vulnérabilité physique : (qui s'intéresse à la résistance des bâtiments et des installations).
- Vulnérabilité systémique : (qui s'intéresse à l'organisation du territoire, aux effets dominos et d'interdépendance).
- Vulnérabilité sociale : (qui s'intéresse à la population exposée et à l'organisation de la société).
- Vulnérabilité économique : (qui s'intéresse à la réponse des acteurs économiques, aussi bien à l'échelle individuelle qu'à une échelle macroéconomique : PIB, croissance, chômage...etc.).

### 1.3.3 Evaluer la vulnérabilité

Les analyses de vulnérabilité ont plus spécifiquement porté, jusqu'à présent, sur les aspects physiques et sur le bâti. L'endommagement se traduit ici par les dégâts matériels, plus ou moins importants selon l'intensité du phénomène, de la chute de quelques objets à l'effondrement total du bâtiment. Les spécialistes de vulnérabilité du bâti cherchent, dans leurs analyses, à définir la courbe représentant le degré d'endommagement d'un bâtiment selon l'intensité du phénomène considéré (fonction d'endommagement) [4].

Toutefois, nous avons montré dans la définition du système urbain que le milieu physique n'était qu'une composante du système. Aussi, la vulnérabilité de la ville ne peut être réduite à la seule estimation de la vulnérabilité physique. Les composantes humaines, économiques, fonctionnelles, identitaires, politiques,...etc., doivent également être envisagées en termes de vulnérabilité. Pour ce faire, nous proposons de préciser à quoi correspond " l'endommagement " (ou plus concrètement l'impact) pour chacune de ces composants [3].

Nous pouvons d'ores et déjà définir ce terme de manière générique comme les dégâts matériels, les traumatismes humains, ou les perturbations socio-économiques et les dysfonctionnements plus ou moins durables, consécutifs à un événement Localiser et analyser les effets dommageables de l'aléa sur les enjeux. Différentes démarches méthodologiques permettent d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité :

**a) Démarches quantitatives :**

Elle se fonde essentiellement sur l'élément vulnérable, il s'agit de mesurer les conséquences dommageables a priori d'un phénomène sur les enjeux. La vulnérabilité est ici conçue soit comme le pourcentage de ce qui peut être perdu en cas de sinistre, soit comme le coût économique des dommages probables. Généralement, ces méthodes couplent des modèles hydrauliques avec des relevés de l'occupation du sol, des hypothèses de valeur des biens et des courbes d'endommagement [5].

**b) Démarches qualitatives :**

Dans une approche qualitative, la vulnérabilité apparaît comme la tendance d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel comme l'inondation. Cette propension varie selon le poids de certains facteurs qu'il est nécessaire d'identifier et d'analyser car ils induisent un certain type de réponse de la société [5].

**1.3.4 la vulnérabilité des bâtiments**

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

La vulnérabilité doit s'apprécier à l'étude de trois critères principaux :

- L'atteinte à la sécurité des personnes : l'agression que le bâtiment est susceptible de subir en cas d'inondation peut-elle entraîner la mise en péril de vies humaines ?
- La perturbation ou l'arrêt de l'utilisation du bâtiment : quel est le délai de retour à un fonctionnement normal du bâtiment suite à l'épisode d'inondation ?
- Les effets domino : l'inondation du bâtiment peut-elle entraîner des perturbations sur l'environnement immédiat de celui-ci (pollution de bâtiments voisins, etc.) ?

**1.3.5 Comment appréhender la vulnérabilité du bâtiment ?**

Définir la vulnérabilité du bâtiment face au risque d'inondation repose sur les réponses aux questions suivantes :

- En quoi les dommages sur le bâtiment résultant de l'inondation ?
- Contribuent-ils à mettre en péril la sécurité des personnes ?
- Contribuent-ils à rendre difficile le retour à la normale du fonctionnement du bâtiment ?
- Peuvent-ils générer des effets domino sur son environnement immédiat (pollution, sur endommagement) ?

### **1.3.6 La vulnérabilité liée à la sécurité des personnes**

La vulnérabilité liée à la sécurité des personnes est la dimension la plus importante. On entend par sécurité des personnes la protection des personnes contre toutes les atteintes physiques. Il s'agit non seulement des personnes qui vivent ou sont présentes dans le bâtiment au moment de l'inondation mais aussi du personnel des services de secours, du personnel des entreprises chargées des travaux de remise en état, des bénévoles qui seraient amenés à intervenir lors de l'inondation ou après l'inondation [6].

Les caractéristiques du bâti qui rendent les personnes vulnérables doivent être analysées lors du diagnostic. Il faut veiller en particulier à examiner :

- A possibilité pour les services de secours d'atteindre facilement cette zone hors d'eau pour évacuer les personnes qui s'y sont réfugiées.
- Les risques liés aux équipements techniques : les personnes pourraient être en effet exposées :
  - ✓ A l'électrocution du fait des installations électriques ou des matériels électriques encore sous tension si le tableau électrique qui les alimente a été atteint et le disjoncteur différentiel endommagé.
  - ✓ A l'explosion due à des fuites de gaz par suite de rupture de canalisations.
  - ✓ A l'intoxication par des produits polluants (stockage de matières dangereuses) ou par la présence de moisissures dans certaines parties du bâtiment où l'eau a stagné.

- ✓ A la présence de cadavres d'animaux ou de matières organiques pouvant entraîner des risques sanitaires.
- Les risques liés aux modifications de l'environnement :
  - ✓ L'effondrement de la voirie par suite d'affouillement ou de formation de fontis.
  - ✓ L'effondrement de murs et la chute de matériaux.
  - ✓ Des sols rendus glissants par des dépôts de fines, provoquant des chutes.
  - ✓ La présence de bassins, d'excavations, de regards, de bouches d'égouts, de zones basses ou de trous dus à l'affouillement pour lesquels les limites et la profondeur sont dissimulées par la présence d'eau résiduelle (risques de chute, blessure voire de noyade).

Le tableau I.1 et I.2 suivant propose une classification du degré de vulnérabilité lié à la sécurité des personnes :

**Tableau I 1.** Classification du degré de vulnérabilité lié à la sécurité des personnes [6].

Niveau	Degré de la vulnérabilité	Conséquence du dommage sur la sécurité des personnes
0	Nul	<b>Pas des dommages</b> Aucun risque pour la sécurité des personnes
1	Faible	A l'origine d'un <b>accident léger</b> (contusion, choc, petite entorse).

**Tableau I 2.** Classification du degré de vulnérabilité lié à la sécurité des personnes [6].

Niveau	Degré de la vulnérabilité	Conséquence du dommage sur la sécurité des personnes
2	Moyen	Source d' <b>accidents plus conséquents</b> (fractures légères)
3	Fort	Source d' <b>accidents grave</b> ou de <b>mort</b> (tableaux de répartition et de protection électrique inopérants, absence de zone hors d'eau en cas de montée brusque des eaux, etc.).

### 1.3.7 La vulnérabilité liée au retour à la normale

Elle se mesure par le délai qui s'écoule entre l'événement "inondation" et le moment où l'activité dans le bâtiment (qu'elle soit d'ordre publique ou privée) peut reprendre de façon satisfaisante [6].

Ce délai est composé du temps de nettoyage et de séchage des locaux, du mobilier et des matériels qui peuvent être conservés et de la durée des travaux de remise en état des locaux si cela s'avère nécessaire [6].

Le retour à la normale dépendra donc à la fois de l'importance de l'endommagement des biens immobiliers, des structures et des éléments d'équipement de la construction, du délai de leur remise en état, mais également du délai de rétablissement du fonctionnement des services publics (eau, électricité, téléphone, gaz, évacuation des eaux usées) [6]. Le tableau I 3 suivant propose une classification des degrés de vulnérabilité susceptibles d'être atteints du point de vue des délais de retour à la normale du fait de l'endommagement du bâtiment :

**Tableau I 3.** Classification des degrés de vulnérabilité susceptibles [6].

Niveau	Degré de vulnérabilité	Conséquence du dommage sur le retour à la normal
0	Nul	<b>Pas</b> de contrainte pour le retour à la normale.
1	Faible	Réparations nécessaires rendant le bâtiment indisponible pendant une durée de <b>quelques jours</b> .
2	Moyen	Réparations nécessaires rendant le bâtiment indisponible pendant une durée de <b>plusieurs semaines</b> .
3	Fort	Réparations nécessaires rendant le bâtiment indisponible pendant une durée de plusieurs mois (remplacement des closions, réfection des installations électriques,...etc.).

Les délais présentés ci-dessus sont des délais techniques résultant exclusivement des travaux de remise en état sans tenir compte des délais de passation de marchés et de déblocage des financements, de la disponibilité des entreprises de travaux, etc.

Ces délais sont susceptibles d'être fortement allongés, mais dans des proportions mal connues, dans le cas d'inondations généralisées sur de vastes territoires impactant en même temps des dizaines de milliers de bâtiment.

### 1.3.8 La vulnérabilité liée aux effets domino

Cette vulnérabilité est liée aux impacts des dommages du bâtiment sur son environnement immédiat.

L'inondation d'un site peut en effet créer une succession d'endommagements et de désagréments sur des bâtiments situés à proximité. Ces effets domino ont des impacts importants pour le propriétaire ou gestionnaire du bâtiment. Sa responsabilité juridique peut être engagée [6].

### 1.3.9 La réduction de la vulnérabilité au risque inondation

Réduire la vulnérabilité d'un bâtiment, c'est faire en sorte que les risques d'atteintes aux personnes, les délais de retour à la normale du fonctionnement du bâtiment et les effets domino soient les plus faibles possibles [6].

Il existe deux stratégies principales pour réduire la vulnérabilité d'un bâtiment existant :

“**Résister**” : c'est-à-dire empêcher la pénétration de l'eau dans le bâtiment.

“**Céder**” : c'est-à-dire laisser l'eau entrer dans le bâtiment et prendre toutes les dispositions nécessaires à la limitation de l'endommagement et à la réduction du délai de retour à la normale.

Quelle que soit la stratégie retenue, il faut également prévoir de “**mettre en sécurité**” le bâtiment au moment de la crise [6].

#### ➤ Choisir une stratégie de « résistance » :

Opter pour la stratégie “résister” consiste à occulter et imperméabiliser l'ensemble des voies par lesquelles l'eau est susceptible d'entrer, c'est-à-dire [6] :

- **Le sous-sol** : un sol gorgé d'eau suite à une remontée de nappes peut, faire remonter l'eau dans le sous-sol d'un bâtiment par capillarités.

- **Les ouvertures** existantes aussi petites soient-elles (entrées d'air, fourreaux de réseaux, fissures, joints défectueux, vides ou fissures autour des menuiseries, etc.).
- **Le réseau d'évacuation des eaux usées** : dès que les installations de traitement sont inondées, la pression de l'eau peut refouler les eaux usées vers les bâtiments et les faire ressortir par les évacuations des équipements sanitaires.
- **Les murs** : plus la crue est longue, plus l'eau sera susceptible d'imbiber les murs et donc de remonter par capillarités et d'inonder l'intérieur du bâtiment.

L'ensemble des mesures visant à "résister" à la pénétration de l'eau de l'eau dans le bâtiment est résumé dans la figure ci-dessous. Ces mesures sont classées par corps de bâtiment :

- En rouge : les mesures concernent le gros œuvre.
- En marron clair : les mesures concernent le second œuvre.
- En bleu : les mesures concernent les fluides et les équipements.
- En vert : les mesures concernent l'environnement du bâtiment.

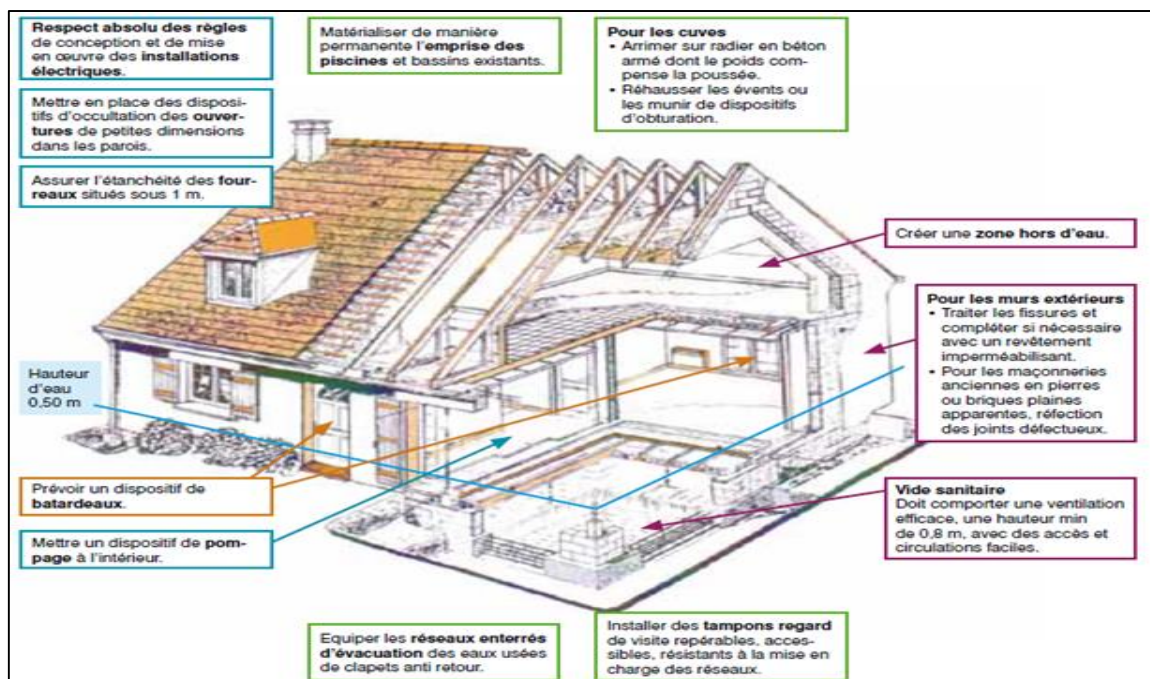


Figure I 3. Choisir pour la stratégie "résister" [6].

### 1.3.10 La vulnérabilité dans les bâtisses en brique de terre (toub)

Beaucoup de bâtisses en terre crue (adobe) et particulièrement celles construites avec des matériaux sans aucun traitement associé sont vouées à des sérieux problèmes de stabilité, d'usure progressive et voire d'émiettement en présence d'un taux d'humidité important, surtout dans les pays à forte pluviométrie [7].

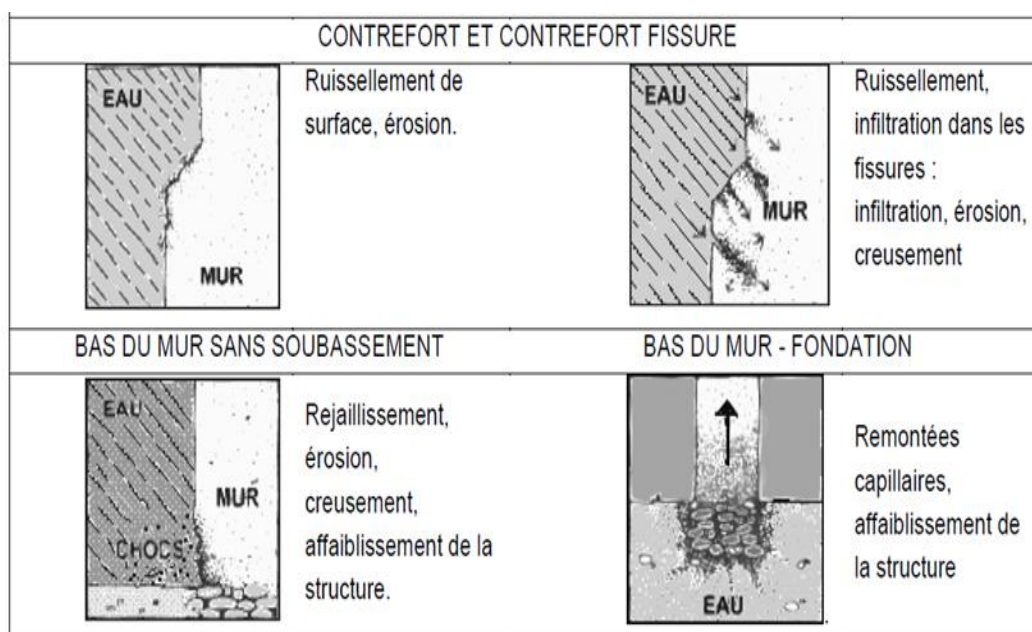
Les mêmes phénomènes sont aussi observés dans certaines bâtisses de briques de terre stabilisée surtout lorsqu'il n'a pas été envisagé un traitement surfacique sur ces briques.

## 1.4 Les effets de l'eau dans les constructions en brique de terre :

Pour que l'eau affecte les constructions en terre, il faut réunir trois conditions [8] :

- Présence de l'eau à la surface du bâtiment.
- Présence d'ouvertures dans cette surface qui permettraient à l'eau de s'infiltrer.
- Présence d'une force qui fait pénétrer l'eau dans les ouvertures. La précaution à prendre est d'éliminer la conjonction de ces trois facteurs. Pour cela, plusieurs solutions sont possibles.

La Figure I.4, montre les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment. Plus le matériau est poreux, plus les précautions doivent être drastiques.



**Figure I 4.** Les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment [8].

- **Les désordres du mur en brique de terre (toub) [9] :**
  - Déchaussement des briques de terre crue.
  - Déversement des murs vers l'intérieur ou l'extérieur qui désigne l'éloignement du mur par rapport à l'aplomb sous l'effet d'une poussée latérale ou d'un glissement de terrain.
  - Désolidarisation des murs due à un mauvais chaînage.
  - Les fissures de poinçonnement dues à une mauvaise répartition de la charge (poids de la couverture ou du plancher).



**Figure I 5.** Les désordres du mur en brique de terre (toub) [9].

#### 1.4.1 L'eau dans les fondations

Des causes multiples peuvent se conjuguer pour conserver un état humide durable qui détériorera irréversiblement les fondations. Nous citons par exemple la fluctuation saisonnière de la nappe phréatique, la rétention d'eau par une végétation arbustive proche des murs, la détérioration des réseaux d'alimentation ou d'évacuation des eaux, l'absence de drainage.

Les désordres structuraux apparaissent et finissent par effondrer l'ouvrage, ou bien favoriser la prolifération d'insectes et de rongeurs qui finissent par altérer les murs.

Aussi les désordres des fondations proviennent des tassements différentiels des sols porteurs, ce qui cause la perte de la planéité des fondations et la dégradation du mortier constituant la maçonnerie des fondations [9].

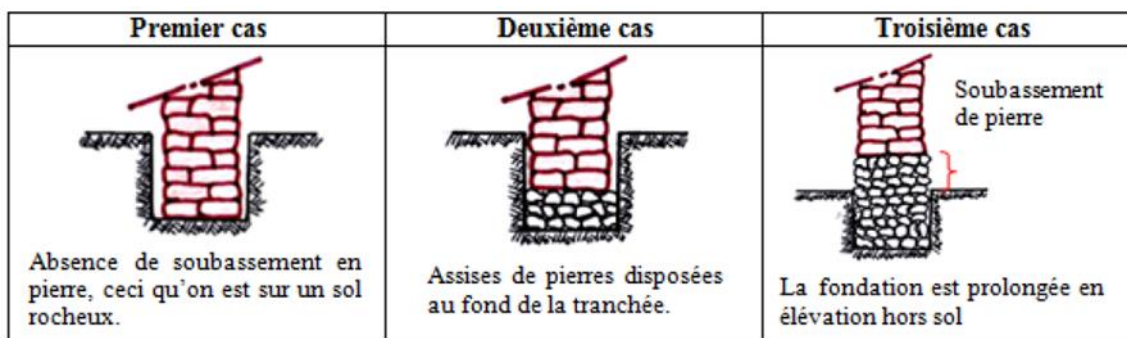


Figure I 6. Différent types de fondations [9].

### 1.4.2 L'eau dans les planchers et toitures plates

Ce phénomène a pour conséquence de diminuer la capacité de résistance de l'élément qui compose le plancher, en l'occurrence : la poutre. Les causes principales des déformations sont dues à un défaut de conception (sous dimensionnement des poutres), à une surcharge inhabituelle, pourrissement des éléments en bois à cause de la présence d'eau et d'humidité et aux attaques des insectes et des champignons [9].



Figure I 7. Fléchissement et rupture de la poutre du plancher [9].

## 1.5 L'Inondation

Les inondations ont été longtemps considérées comme « des événements imprévisibles » ou « des catastrophes naturelles » inévitables, souvent vues comme une sorte de fatalité dont on ne pouvait se soustraire. L'occupation progressive des oueds et la transformation remarquable des plaines inondable selon les besoins humaine [10].

L'Algérie est confrontée aux phénomènes de crues et d'inondations qui sont plus fréquents que les séismes. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels. Il n'existe pas de régions susceptibles d'être prémunies contre de tels risques en raison de leur caractère imprévisible [11].

Au demeurant, les analyses faites à propos des crues et des inondations dans notre pays mettent en évidence leur violence et leur spontanéité ainsi que leur survenance brutale après une période de sécheresse [11].

### 1.5.1 Notions de risque, d'aléa

Le risque est aujourd'hui un concept familier, largement utilisé dans la littérature et dans les médias. Sa définition ne devrait donc, a priori, pas poser de problème majeur. Cependant, on constate que le « risque » et l'« aléa », qui sont des concepts étroitement liés mais pourtant différents, sont souvent confondus ou interchangés [12].

Ils ne font ainsi pas l'objet d'un véritable consensus. Les concepts de risque, d'aléa étant au centre de ces travaux de thème, il est nécessaire de leur donner des définitions claires et précises, et adaptées au contexte de la sécurité civile.

Le terme d'« enjeux », qui n'est pas considéré de manière systématique comme une composante du risque, et auquel on préfère parfois le terme d'« éléments à risque », peut se définir comme les éléments (personnes, biens, activités, patrimoine, etc.) susceptibles d'être affectés de manière directe comme indirecte par un aléa [12].

Ce terme est parfois confondu avec celui de « vulnérabilité ».

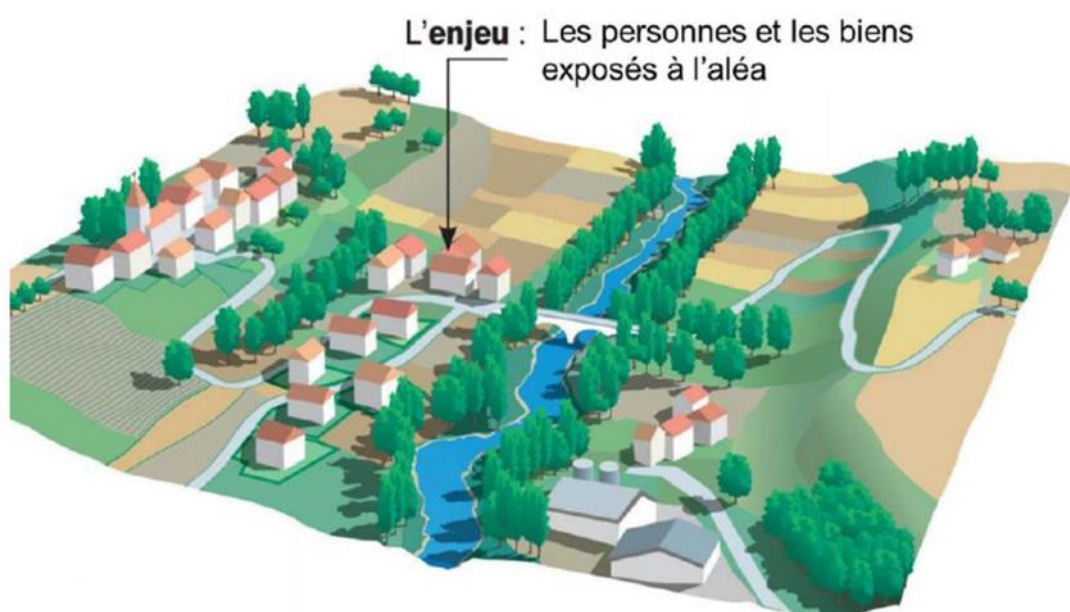


Figure I 8. Représentation des enjeux [12].

Le terme de « **L'aléa** », est un phénomène pouvant potentiellement causer des pertes en vies humaine, des blessures à la population, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou encore une dégradation de l'environnement [12].

Le terme de « **risque** » peut être défini comme les conséquences éventuelles et incertaines d'un évènement sur quelque chose ayant une valeur, compte dûment tenu de la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité d'occurrence de tendances ou d'évènements dangereux, que viennent amplifier les conséquences de tels phénomènes lorsqu'ils se produisent. Le risque découle des interactions de la vulnérabilité, de l'exposition et d'un aléa [12].

### **1.5.2 Typologie des inondations en milieu urbain et péri-urbain**

La typologie la plus couramment rencontrée dans la littérature combine les causes et les impacts économiques et humains des inondations. Elle différencie ainsi jusqu'à 6 types d'inondations : les inondations fluviales, les inondations pluviales, les inondations côtières et estuariennes, les inondations par rupture d'ouvrages de retenue d'eau, les inondations par remontée de nappe et les inondations éclair. Cette typologie est utilisée pour distinguer les différents types d'inondation.

Les caractéristiques des différents types d'inondation (Tableau I.4), et en particulier leurs cinétiques, leur hauteur de submersion et leurs durées ne sont pas les mêmes. Leurs impacts sur les populations et les infrastructures, et ainsi sur la gestion de crise, sont donc différents. Dans le cas des inondations rapides et violentes, telles que les inondations pluviales urbaines, les inondations par rupture d'ouvrage de retenue d'eau ou les inondations éclairs et torrentielles, on peut considérer que la gestion de crise se fait sur le court terme : les pertes en vies humaines et les destructions sont importantes dès les premiers instants de l'inondation. Dans ce contexte, les mécanismes d'alerte et de prévention sont les plus adaptés à la réduction des pertes en vies humaines et éventuellement des dégâts matériels. A l'inverse, dans le cas des inondations lentes telles que les inondations fluviales, les inondations par remontée de nappe et les inondations estuariennes, la gestion de crise s'inscrit sur un plus

long terme : les pertes en vies humaines sont très rares et les dégâts matériels sont généralement peu importants dans les premières heures de l'inondation, mais augmentent avec la durée de submersion. Les outils permettant de spatialiser et d'évaluer avec précision les risques humains et économiques en temps quasi-réel constituent alors un support important aux opérations de gestions de crise [12].

**Tableau I 4.** Caractéristiques et impacts sociaux et économiques des différents types d'inondation [12].

Type d'inondation	cinétique	Hauteur de submersion	Impact population	Domages économiques
Fluviale ou de plaine	lente	De quelques cm à plus d'1 m	Fiable	Variet selon le temps de submersion
Par rupture d'embâcle	Soudaine	De quelques cm à plus d'1 m	Élevé	Domages élevés
Pluviale urbaine	Soudaine	Plusieurs m	Potentiellement élevé	Domages élevés, dysfonctionnements
Remontée de nappe phréatique	Lente	Quelques cm	Très faible	Augmentent avec le temps de submersion
Rupture d'ouvrage	Soudaine	Plusieurs m	Très élevé	Très élevés
Subite ou éclair	Soudaine	Plusieurs m	Très élevé	Très élevés
Côtière et estuarienne	Lente	De quelques cm à plus d'1 m	Faible	Domages élevés

### 1.5.3 Le risque d'inondation

Le risque d'inondation est le résultat du croisement de Deux facteurs : l'aléa présenté par la probabilité d'occurrence du phénomène d'inondation et son intensité, ainsi par la vulnérabilité à l'inondation définie par les conséquences prévisibles de la crue sur les personnes et leurs biens. L'intensité d'inondation Exprime principalement pour un endroit donné, par la hauteur et la durée de submersion ainsi que la vitesse du courant [13].

- **Compréhension du risque** : Le risque est la possibilité de survenance d'un évènement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel. Le risque résulte de la conjonction d'un Aléa et des enjeux en présence [13].

La plupart des experts définissent le risque comme :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Vulnérabilité}$$

Alors que d'après cette formule un même risque peut être le produit d'un Aléa fort avec une vulnérabilité faible, d'un Aléa faible et une vulnérabilité forte. Il est donc préférable de définir le risque d'une façon plus générale [13] :

$$\text{Risque} = F (\text{Aléa} * \text{Vulnérabilité})$$

**F** est une relation qui dépend de problème analysé.

- **Connaitre un risque majeur** : le risque majeur se définit comme la survenue soudaine et quelquefois imprévue d'un événement d'origine naturelle ou technologique pouvant entraîner de graves conséquences sur les enjeux humains, matériels et/ou environnementaux [13].

### 1.5.4 Les inondations au milieu urbain

Les inondations urbaines constituent un frein majeur pour le développement, et mettent en danger les populations, notamment les résidents des villes en rapide expansion des pays en développement.

Les inondations urbaines se peut être définie par la submersion lente ou rapide d'une agglomération urbaine, caractérisé par l'écoulement des grande flux d'eaux sur les voiries et qui peut déborder leur chemin vers les constructions qui l'ont tours l'ord d'une précipitation intense [13]. Ces quantité eaux de ruissellement, représente la partie des précipitations qui ne s'infiltrer

pas dans le sol et ne s'évapore pas dans l'atmosphère, elle s'écoule en surface avant d'atteindre le réseau hydrographique directement ou via un système artificiel d'évacuation [13].

### **1.5.5 Les causes aggravent les risques d'inondations dans les zones urbaines**

Les causes principales des inondations dans une ville, ne sont pas liées seulement aux facteurs naturels mais aussi liées à la croissance démographique, qui produit une urbanisation incontrôlable et non planifiée, le développement de la ville suit les poches vides, il représente un développement anarchique au détriment des lits des Oueds ou des périphériques de la ville.

Cette situation peut en outre aggraver les risques d'inondation en raison de changements inadaptés d'affectation des sols, sans oublier l'insuffisance et le vieillissement ou le manque d'entretien des réseaux, d'assainissement et d'évacuation des déchets solides et l'absence des réseaux de drainage, et l'absence de mesures de maîtrise du risque [14].

### **1.5.6 Les caractéristiques de l'inondation**

L'inondation du bâtiment en tout ou partie peut résulter [15] :

- **D'une crue de plaine :**
  - lente et progressive : résultat du débordement du lit d'un cours d'eau.
  - ou brutale lorsqu'elle correspond à la rupture d'un ouvrage de protection (rupture de digue en particulier) ou au fonctionnement d'un déversoir avec fusible.
- D'un phénomène torrentiel résultant d'un écoulement sur des terrains en pente.
- D'un phénomène torrentiel résultant d'un écoulement sur des terrains en pente.
- D'un phénomène de ruissellement urbain, amplifié ou non par la saturation du réseau d'assainissement pluvial.

- De l'élévation du niveau de la nappe phréatique (nappe établie dans des sols perméables qui constituent l'assise du bâtiment).
- De l'élévation du niveau de la mer (submersion marine).

Une inondation peut être caractérisée par plusieurs paramètres qui influent sur la vulnérabilité d'un bâtiment dans son ensemble et, en particulier, sur les dommages aux biens immobiliers et mobiliers.

L'influence de chacun de ces paramètres est développée dans les points qui suivent [15] :

- La hauteur d'eau.
- La durée d'immersion.
- La vitesse du courant d'immersion.

#### **1.5.6.1 La hauteur d'eau**

La hauteur d'eau est susceptible de déstabiliser et d'endommager la structure du bâtiment, à travers la poussée qu'elle génère sur les murs.

Sur les ouvrages, le niveau d'endommagement n'est pas proportionnel à la hauteur d'eau de manière linéaire mais évolue plutôt par paliers, au franchissement de certains seuils.

Les retours d'expérience sur les effets des crues passées montrent que dès que la hauteur de l'eau dépasse celle de l'allège, 70 à 80 % du potentiel d'endommagement du rez-de-chaussée est atteint [15].

Le tableau I.5 suivant, et présenter la hauteur d'eau et le niveau d'endommagement.

**Tableau I 5.** La hauteur d'eau et le niveau d'endommagement [15].

Seuils de hauteurs d'eau	L'eau est susceptible d'atteindre et d'endommager	
Du sol a la plinthe	- Les revêtements du sol et leurs supports. - Les plinthes.	
De la plinthe a l'allégé	- Les prises de courant. - Les revêtements muraux. - Les cloisons. - Les murs.	Selon la hauteur De leur emplacement : - Les installations électriques. - Les installations de chauffage.
De l'allégé a sous le plafond	- Les menuiseries. - Les vitrages. - Les luminaires.	- Les installations d'eau chaude.
Du plafond au 1 <sup>er</sup> étage	- Les conduits électriques (courants forts ou courants faibles). - Les canalisations passant dans le plancher haut ou faux plafond.	

### 1.5.6.2 La durée d'immersion

La durée d'immersion est un facteur d'aggravation des dommages. Plus une inondation est longue, plus elle favorise la diffusion de l'humidité dans les murs par phénomènes de capillarité et la dégradation des matériaux par gonflement ou hydrolyse [15].

Comme pour la hauteur d'eau, la relation entre la durée d'immersion et l'importance des dommages n'est cependant pas linéaire. L'endommagement évolue par paliers au franchissement de certains seuils. Dans le cas, par exemple, d'une plaque de plâtre cartonnée, pour une durée d'immersion de [15] :

- Moins d'une journée : il y a 20 % de chance qu'elle soit endommagée.

- De 2 à 3 jours : il y a 50 % de chance qu'elle soit endommagée.
- Plus de 3 jours : il y a 100 % de chance qu'elle soit endommagée.

### 1.5.6.3 La vitesse du courant d'immersion

La vitesse de l'écoulement peut être élevée dans le cas d'une crue torrentielle, près de la zone de rupture d'un ouvrage de protection ou encore le long des axes d'écoulement qui serviront de drainage lors de la vidange d'un val.

Une vitesse de courant élevée (supérieure à un mètre par seconde) peut augmenter notamment l'endommagement des éléments extérieurs de la construction. En outre, elle aggrave dynamiquement le déséquilibre des pressions statiques sur les parois du bâtiment entre l'extérieur et l'intérieur. Elle peut aussi éroder le sol au droit du bâtiment et provoquer l'affouillement des fondations et l'effondrement du bâtiment.

Enfin, la vitesse du courant d'eau peut provoquer, sur ces mêmes parois, des chocs de matériaux ou de matériels véhiculés par les flots (troncs d'arbres, cuves, véhicules, etc.).

Ce paramètre ne peut pas être pris en compte facilement, car nous ne disposons pas de données précises sur cette question. L'estimation de son influence sera donc laissée à la libre appréciation du diagnostiqueur [15].

## 1.6 Conclusion

L'urbanisation augmente le risque d'inondation non seulement en raison de la croissance urbaine et démographique dans un périmètre déterminé, mais aussi en raison d'aménagements installés, qui vont produits par la suite des obstacles contre l'écoulement de l'eau qui aggravant les conséquences de l'aléa.

Ces inondations urbaines représentent un risque potentiel sur la santé humaine, sur l'environnement et le patrimoine culturel de la ville, elles causent dans le monde entier des ravages, des pertes humaines et des dommages matériels qui influent sur le développement économique, social et environnemental de la ville. Pendant une inondation, Tous les moyens sont légitimement, entièrement consacré à sauver les êtres humains et à préserver les biens collectifs, en oubliant la préservation du patrimoine culturel malgré sa fragilité et son importance comme ressources héritées du passé, car une fois il est perdues, il n'est pas renouvelables

## 2.1. Introduction

Ce chapitre s'appuie sur une étude des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans un cadre pratique. Sur le terrain et pour ce cas d'étude en question, on a eu recours à une information variée basée essentiellement sur une recherche bibliographique inhérente à la thématique traitée ainsi que sur une collecte d'information illustrée (photographies, cartographies).

Une série d'enquêtes et de sondages sur terrain ont aussi été effectués et ont permis la mise à jour de certaines données avec un constat actualisé de l'état des lieux. L'intervention sur une ville est loin d'être une opération simple, pour l'assurer d'une manière appropriée, une phase primordiale, s'impose qui est « l'analyse urbaine ».

## 2.2 Présentation de la ville de Laghouat

La wilaya de Laghouat fait partie du groupe des neuf wilayat pastorales du pays ainsi que les wilayat du sud. Elle est issue du découpage de 1974. Elle fut divisée en 3 wilayat : Tamanrasset, Ouargla et Laghouat, qui est la plus septentrionale des trois. La superficie de ville de Laghouat est de 25.052 km<sup>2</sup>, elle est dotée d'une population de 520.188 habitants.

### 2.2.1 Étymologie

Laghouat, **El-Aghouat** ou **El-Arouat** selon les transcriptions latines utilisées à différentes époques de l'histoire de la ville, est une appellation poétique qui tire son origine de la nature et de la configuration même de la région. Elle signifie tout à la fois : « maisons entourées de jardins », « Oued », « Oasis » [16].



Figure II 1. Hôtel de transit (saharien) (Source : archive).

### 2.2.2 Situation administrative

La wilaya de Laghouat occupe une position importante vue sa situation a l'intersection des 02 axes principaux [17] :

- Nord-Sud (Alger - Tamanrasset).
- Est-Ouest (Maroc - Tunisie).

Elle se trouve à 410 Km au sud de la capitale Alger, 390 Km de Ouargla, 190Km de Ghardaïa et 110 Km de Djelfa. L'altitude moyenne de la ville.

est de 787 m [17].

Laghouat dispose d'un réseau routier desservant la wilaya du centre et celle du Sud par la route nationale RN°01.

- A l'Ouest la Route Nationale RN° 23 et 47 [17].



**Figure II 2.** Situation de Laghouat au niveau national (Source : internet).

La ville de Laghouat est limitée administrativement par [18] :

- La commune de **Tadjmout** au nord-ouest.
- La commune **d'El Kheneg** au sud-ouest.
- A l'est la commune **d'El Assafia**.
- Au sud est la commune de **Ben Nacer Ben Chohra**.
- A l'Ouest par les communes de **Tadjmout** et **El-Haouita**.



Au Nord les derniers contreforts de l'Atlas Saharien avec leur fraîcheur et leur verdure. La ville porte orgueilleusement la qualification de "Porte du Désert" [18].

La wilaya de Laghouat se distingue par la diversité des régions géographiques [19] :

- les montagnes : **Aflou**, et ses environs.
- les plateaux : **Sidi Makhloof, Laghouat, Mékhareg...**
- le désert : **Hassi R'Mel, Hassi Dellaa ...**

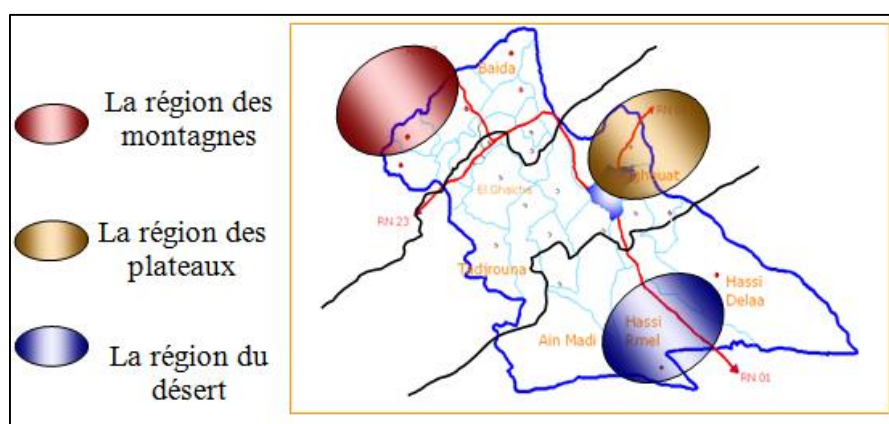


Figure II 4. Situation Géographique [18].

## 2.2.4 Situation climatique

### ➤ Climat

Le climat de la commune de Laghouat est de type saharien comme celui des zones semi arides contrasté avec une longue saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide [19]. Des gelées sont observées pendant l'hiver les températures sont basses, ils avoisinent le 0° pendant la nuit [19].

La valeur de précipitation reste très faible et très variable d'une année à une autre [19].

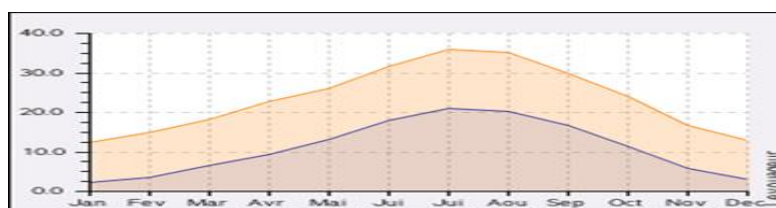


Figure II 5. Températures minimum et maximum (Source : Internet).

### ➤ Pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée à la station hydro-météorologie de Laghouat est de 167 mm par an. Les pluies tombent environ 36 jours pendant la période hivernale [19].

D'autre part il est important de signaler que des pluies torrentielles peuvent être enregistrées, c'est-à-dire une tranche de 20 à 25 mm au moins de précipitation en vingt quatre heures [19].

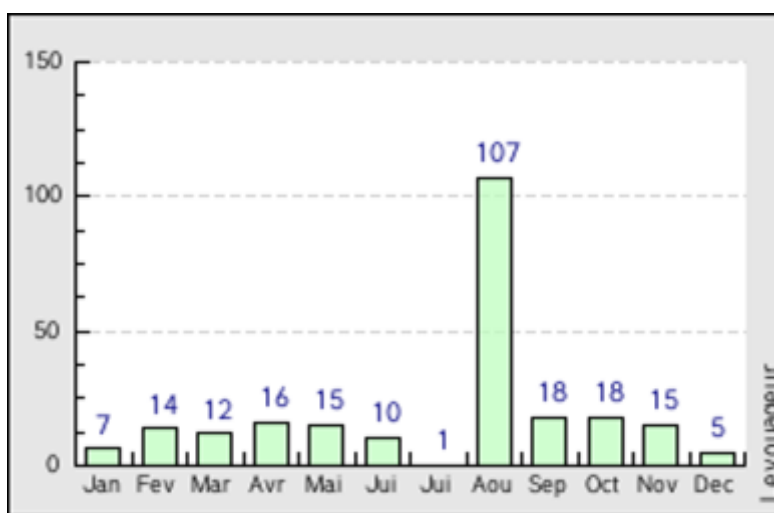


Figure II 6. Précipitations en mm (Source : Internet).

### ➤ Présentation du Bassin versant d'Oued M'zi

L'Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi, qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 km [20].

Il présente une superficie totale de 6153 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 390 km, s'identifie par un relief composé : d'une zone montagneuse et la vallée [20].

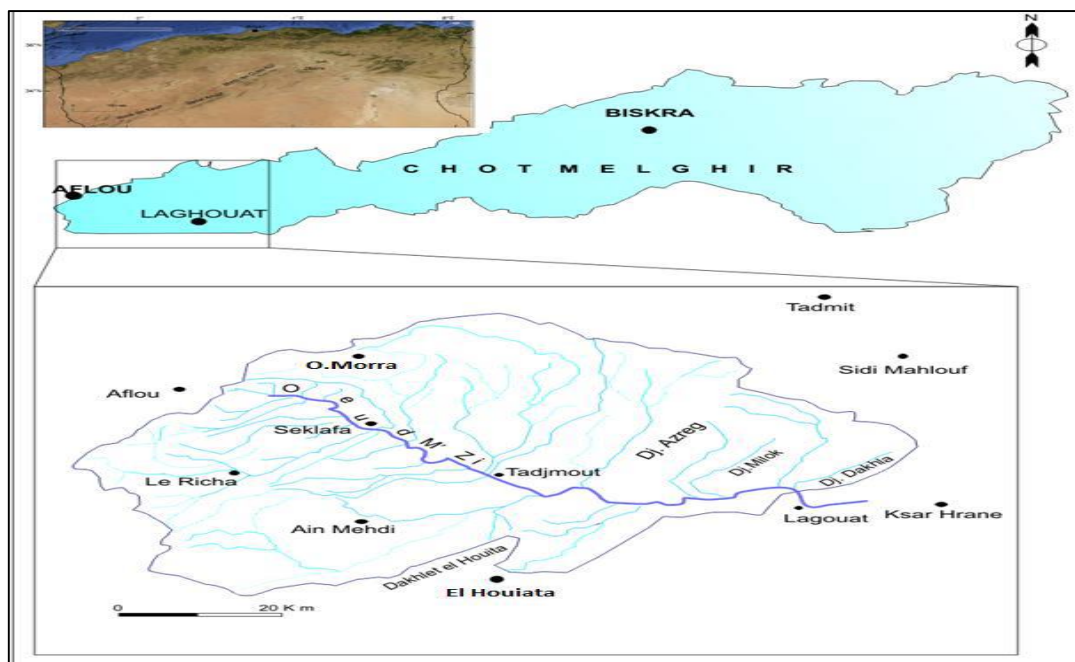


Figure II 7. Situation géographique du bassin versant de Oued M'zi [20].

### ➤ Température

La grande différence entre les températures moyennes de l'été et celles de l'hiver comme le montre le diagramme ci-dessous, explique bien la semi aridité du climat comme le montre les fortes températures et les faibles précipitations [21].

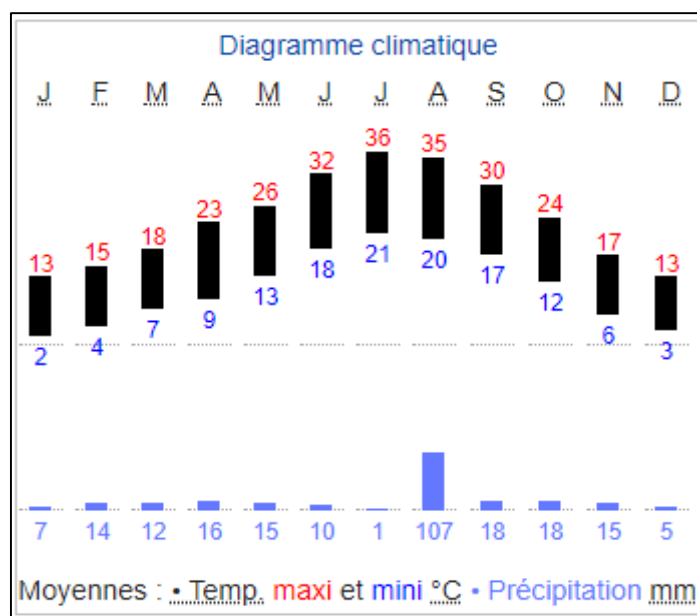


Figure II 8. Températures moyennes (Source : Internet).

### 2.2.5 L'accessibilité de la wilaya

#### ➤ Infrastructure Aéroportuaire

La ville est dotée d'un in aéroport situé à 14 Km de la ville de Laghouat, toutefois son activité reste limitée et pour cause le prix du billet [18].



Figure II 9. Laghouat aéroport Ahmed Madeghri [18].

#### ➤ Infrastructure routière

- La Route Nationale RN° 01.
- La Route Nationale RN° 23.

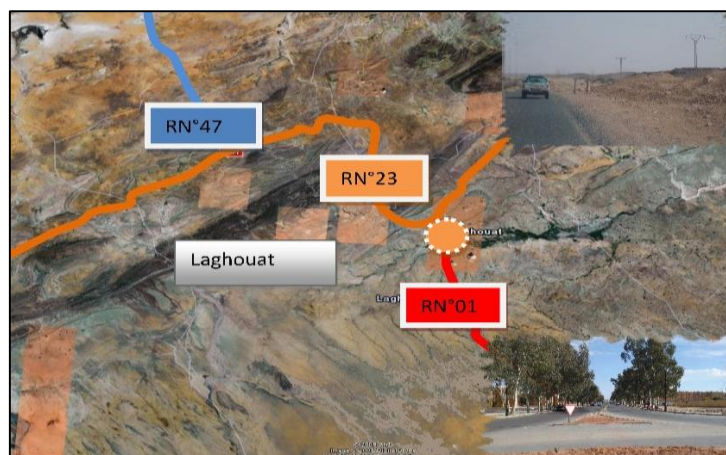
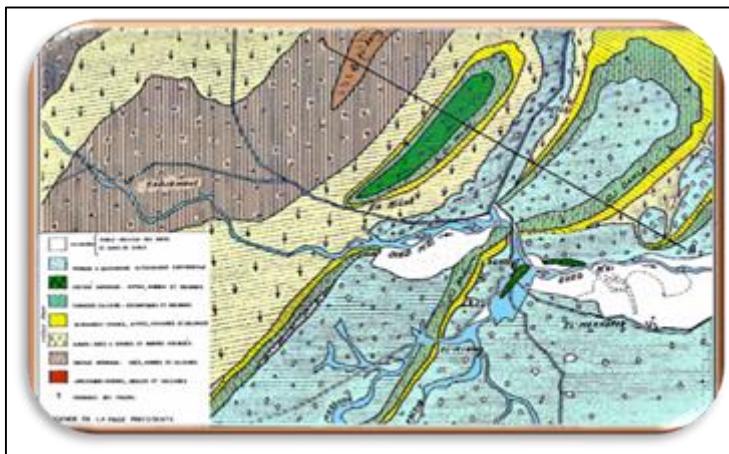


Figure II 10. Laghouat l'accessibilité terrestre [18].

La route de Khat El Oued était une route de contournement, où il y avait un grand mouvement de poids lourds, ce qui a conduit à la détérioration de la route et à la fragiliser de la route vis-à-vis des facteurs naturels.

### 2.2.6 Géologie de la ville

Le territoire de la commune fait partie de l'ensemble des plateaux sahariens dont les différentes formations géologiques meubles et gréseuses [20].



**Figure II 11.** Carte géologique de la ville de Laghouat (Source : Monographie 2008).

La ville de Laghouat a été construite entre le Kef Tizigrarine (830 m) à l'ouest et le Kef Séridja (790 m) à l'est sur 2 arêtes rocheuses, les plus basses (770 m) séparées par une profonde échancrure [20].

Actuellement la ville, coupée en 2 par un massif calcaire de direction Sud / Ouest, est bâtie sur des accumulations et des dépôts quaternaires (marnes).

Les régions Sud / Ouest, Ouest et Nord / Ouest sont constituées par des formations marno-calcaires appartenant au système crétacé supérieur (secondaire).

Le Nord/ Ouest est occupé par les dernières pentes du Djebel Ahmar avec présence d'accumulations de sable par endroits.

L'éperon rocheux est constitué de calcaire. Le sol des palmeraies et de la plus grande partie des futures zones à aménager est constitué de marnes.

L'épaisseur de cette couche est importante et atteindrait, dit-on la nappe phréatique (10 mètres au nord, 20 mètres au sud). Les quelques accumulations sont situés en général hors des zones non aedificandi [20].

### 2.2.7 Les caractéristiques socio-économiques

La ville de Laghouat abrite 520.188 habitants sur une superficie de 25.052 km<sup>2</sup>, avec une densité de 21 habitants au km<sup>2</sup> selon le recensement de 2008. Son taux d'urbanisation à fin de décembre 2010, est de 65.59% [20].

## 2.3 Présentation de la zone de Khat El Oued

La zone d'étude de Khat El Oued fait partie de la commune de Laghouat. Il s'étend sur une superficie presque de 41 ha et il est situé au nord-est de la ville de Laghouat. La zone de Khat El Oued Donnant sur la vallée avec une côte d'environ 2 km approximativement, et cela les rend menacés par l'inondation d'Oued M'zi.

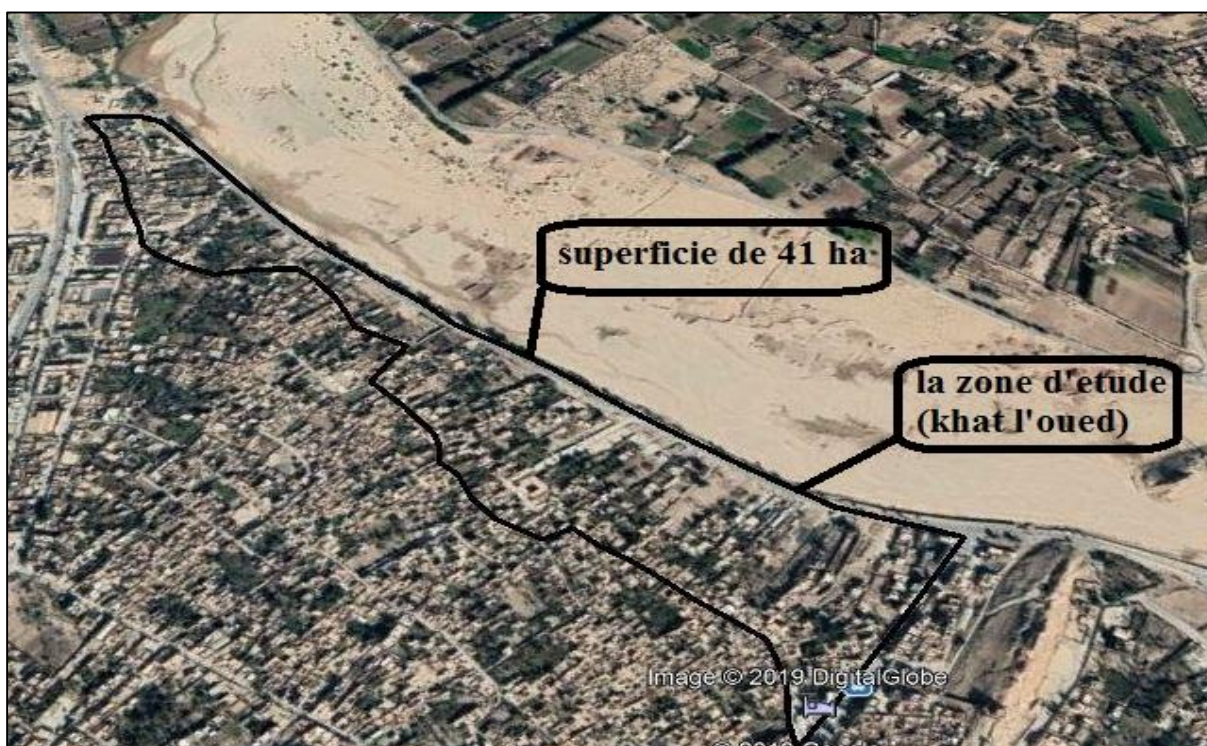


Figure II 12. Vue satellitaire de la zone de Khat El Oued (Source : Google Earth).

## 2.4 Historique sur les inondations de la commune de Laghouat

Les inondations ne cessent de causer des dégâts considérables. Les inondations les plus remarquables sont celles liées aux crues d'Oued M'zi, l'Oued le plus importante du réseau hydrographique de cette zone. Le risque inondation peut être défini à travers ses deux composantes essentielles à savoir l'aléa et la vulnérabilité. Leurs spatialisations permettront d'hierarchiser le risque au niveau de cette zone et proposer des mesures correctives conséquentes.

L'Oued M'zi qui traverse la commune de Laghouat, a été marqué par de nombreuses inondations causant de sérieux dégâts humains et matériels, et touchant les milieux urbains ainsi que rurales. Le tableau suivant montre les dates et la hauteur d'eau et le débit des inondations qui sont traversé à l'Oued M'zi a quelques années.

**Tableau II 1.** Les crues d'Oued M'zi (rapport de Protéction Civile).

<b>Date</b>	<b>Hauteur en (m)</b>	<b>Débit en (m<sup>3</sup>/s)</b>
15-09-1942	0.08	/
16-11-1942	0.07	/
24-04-1943	/	25
10-12-1943	/	403
09-09-1944	/	54
11-08-1955	/	/
13et14-10-1957	0.80-1.00	/
14-01-1961	/	130
1969	/	422
1986	0.85	357
1990	0.90	380
10-1997	H > 1.00	400

La ville de Laghouat subit annuellement des perturbations atmosphériques suivis de débordement qui se traduisent par les inondations consistantes au long du quartier de Zgag El-Kabou et causant des dégâts importants. L'inondation du 30 septembre 2016 en est un exemple. Durant chaque année, on enregistre des dégâts matériels très importants et une pertes économique considérable.

## 2.5 Description de la crue du 30 septembre 2016

La crue du 30 septembre 2016 est la plus importante mesurée à Laghouat sur ces dernières années. Les quantités de pluie ont été de 80 mm sur 12 heures des précipitations [21].

Vers 11 heures 00, l'écoulement du flux d'Oued M'zi a commencé hors du parcours, provoquant des inondations dans plusieurs zones de Laghouat [21].

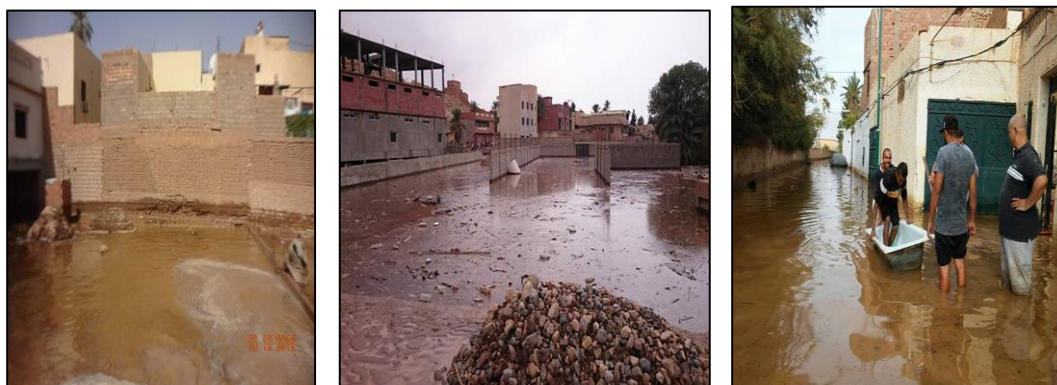


Figure II 13. La crue du 30 septembre 2016 (source : internet).

➤ **Les enjeux physiques :**

Les inondations peuvent être dévastatrices et avoir des conséquences aussi bien économiques, sociales que politiques. Et des enjeux physiques s'agit de l'effondrement d'habitations et d'ouvrages de communication terrestre (routes, ponts...etc.). À ces dommages physiques, il faut ajouter ceux d'ordre psychologique à travers le traumatisme subi et l'instabilité sociale à laquelle les victimes ont eu à faire face notamment avec le regroupement des familles dans des salles de classe...etc. On parle alors sur :

- Bâtiment à usage d'habitation.
- Equipements.
- Infrastructure de transport.



**Figure II 14.** Bâtiment à usage d'habitation inondé (source: internet).



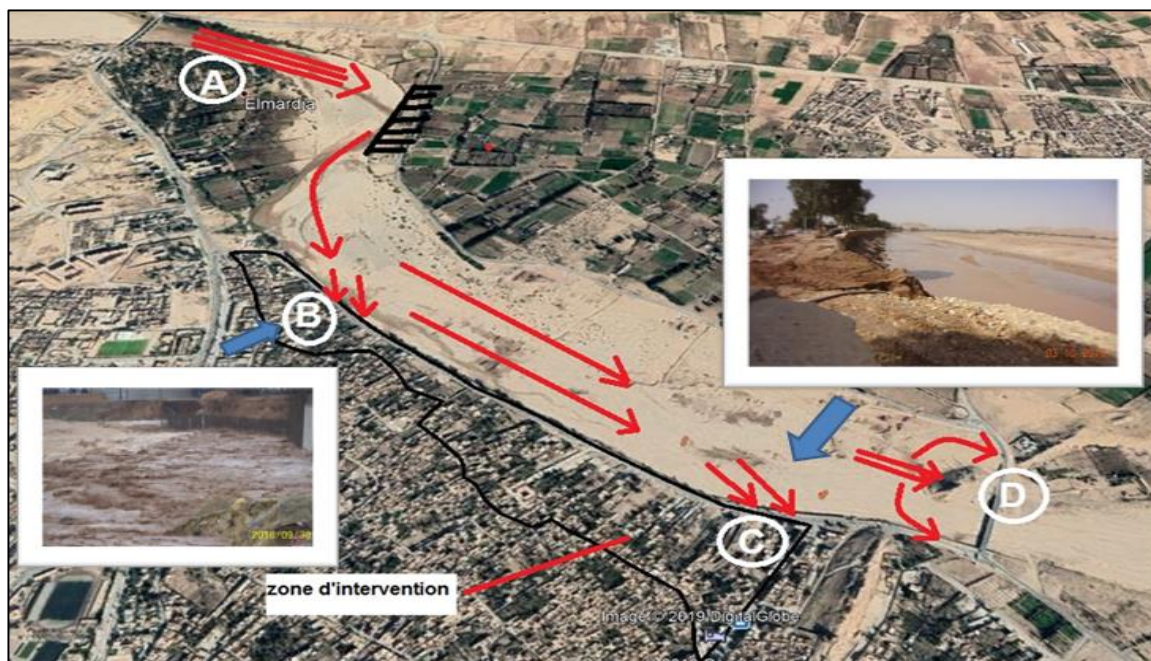
**Figure II 15.** Infrastructure de transports inondés (source: internet).

## 2.6 Problématique et état des lieux

L'étude et diagnostic de la vulnérabilité de bâti existant face à l'inondation se base essentiellement sur les trois indicateurs suivants : la source du risque, la

morphologie urbaine et le lever topographique. Le choix de ces indicateurs est bien argumenté, par le fait qu'ils ont une relation directe avec l'aléa et le milieu urbain.

Du point de vue technique et selon le témoignage d'experts dans la fonction des travaux publics, les conséquences de ces forts débordements à suivis un cheminement dotés de plusieurs obstacles qui ont changés la direction de l'Oued selon la figure II 16 suivante:



**Figure II 16.** La morphologie de risque d'Oued M'Zi (source: auteur).

Dans la figure précédente, nous pouvons voir comment le danger d'inondation d'Oued M'Zi dans la région de Khat El Oued, comme indiqué dans les points suivants :

- **Point A :** Nous remarquons que le cours de la vallée à cet endroit, est relativement étroit, ce qui entraîne une montée du niveau de la coulée de boue et une augmentation de la vitesse de son écoulement, ce qui entraîne une pression élevée qui entre en collision avec la barrière en face de celle-ci, qui se dirige vers la région d'El Mardja.
- **Point B et C :** Sur ces deux points, nous notons la présence d'une courbure au niveau du mur barrière, le rendant vulnérable aux forces verticales directes qui ont conduit à l'effondrement de l'ancien mur avec entrée de coulée de boue dans la zone C en raison de son niveau inférieur à la zone B par rapport au niveau d'eau.

- **Point D** : À ce point, le Mont de Sidi-Hakoum est vue comme un obstacle, contribuant au détournement du cours de la coulée de boue avec une augmentation relative du débit, de sa vitesse et de sa hauteur.

## 2.7 leviers topographiques de la zone d'étude

Dans notre étude du lever topographique, il existe un ensemble de sorte de dénivelés au niveau du lit Majeur et Mineur de L'Oued M'zi et au niveau des quartiers dans la zone urbaine adjacente, comme il est montré dans le tableau II 2 suivant :

**Tableau II 2.** La dénivelée de la zone urbaine (source: auteur).

Les points	Altitude (m)	Les secteurs	Altitude (m)	Dénivelée (m)
A	764	A'	768	4
B	765	B'	768	3
C	763	C'	768	5
D	761	D'	764	3

Pour étudier les différences de hauteur de la zone d'étude, nous avons pris la route comme point de repère topographique, où nous avons appris les points (A, B, C, D) au niveau de route, parallèles aux points (A', B', C', D') situés au niveau du quartier, de sorte que :

- **Au niveau de la route** : une différence de 4 mètres de haut a été enregistrée entre le point le plus élevé B et le point le plus bas D.
- **Au niveau du quartier** : différence de hauteur estimée à 4 mètres, entre le point le plus élevé A' et le point le plus bas D'.

Il y avait une différence de 3 mètres entre le point le plus bas au niveau de la route D et le niveau du quartier D'.

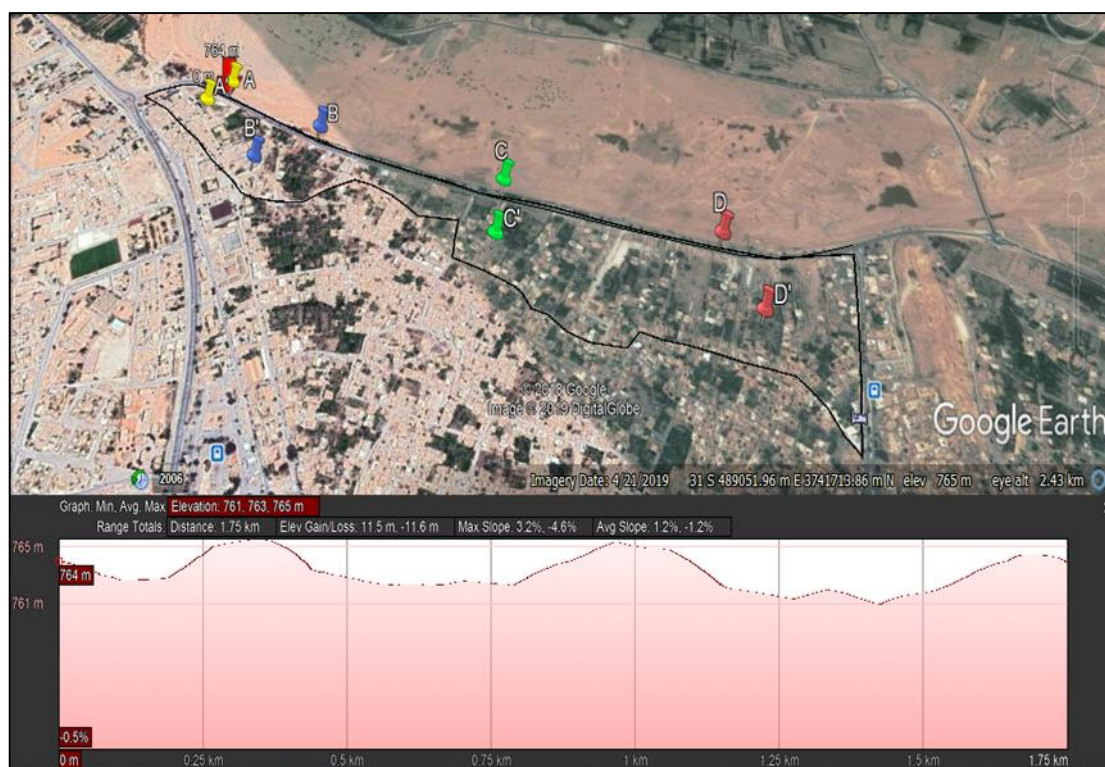


Figure II 17. La morphologie de risque d'Oued M'Zi (source: auteur).

## 2.8 Conclusion

Nous avons défini les données nécessaires pour notre zone d'étude les points de vue géomorphologiques, topographiques et hydrogéologiques. Ces données nous serviront à éclaircir l'image du site vis-à-vis de sa sensibilité à l'aléa inondation. De ce fait, il sera donc traité par la suite les informations et données de base afin d lancer la structuration et le diagnostic de l'état des lieux par type de construction et par espace d'occupation de la périphérie des quartiers exposés et qui se résume à Zgag El Kabou.

### 3.1 Introduction

Une inondation est le résultat du débordement d'un plan d'eau, elle ne peut être empêchée mais on peut apprendre à gérer les risques qui l'accompagnent. La clé d'une bonne réaction est l'anticipation par la prévention. En effet la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles.

Dans ce chapitre nous allons présenter notre zone d'étude et expliquer la méthodologie qu'on va suivre lors de la réalisation des cartes de vulnérabilité ainsi que les différentes phases pour réaliser notre SIG.

### 3.2 Concepts fondamentaux des systèmes d'informations géographiques

Dans cette partie, il nous est apparu utile d'introduire quelques notions essentielles sur les systèmes d'information géographique. Le concept de système d'information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970 [22]. Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition. Afin de bien situer le rôle et l'usage d'un SIG, nous allons également en préciser sa définition. Signalons qu'il n'existe pas encore une définition claire et communément admise par l'ensemble de la communauté scientifique. La plupart des définitions citées sont plutôt d'ordre général et couvrent un large spectre de sujets et d'activités.

L'intégration, le croisement et la superposition des données de télédétection et d'autres variables hydrogéologiques peuvent être facilités par le développement d'un système d'information géographique (SIG) [23]. Ce système remplirait les fonctions suivantes :

- Une fonction de stockages des informations après homogénéisation des données géocodées et classées.
- Une fonction de traitement et de vérification, de gestion et de mise à jour.
- Une fonction de distribution et de communication rapide des données numériques.
- Une fonction d'orientation des schémas directeurs pour l'aménagement, l'exploitation et la gestion des ressources en eau.

### 3.3 Définition de SIG

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace [24].

Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées.

C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision [25].

Un système d'information géographique, comme le monte la figure III.1, est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision [25].



Figure III 1. Définition d'un Système d'Information Géographique [25].

### 3.4 Définition les outils de SIG

D'une manière générale, la mise en œuvre d'un SIG peut être faite avec différents logiciels parmi lesquels les quatre suivants constituent les plus utilisés : Geoconcept, ArcView, ArcGis et Map-Info. Tous ces logiciels ont une même vocation : apporter des réponses à la problématique spatiale grâce à des analyses cartographiques ou des thématiques. Les fonctionnalités techniques sont très proches les unes des autres. Ces

logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leur choix devra être éclairé par [25] :

- Son cout dépendant évidemment du budget alloué au projet du SIG.
- L'ergonomie de son interface.
- La nécessité de former les chargés d'études pour sa prise en main.
- Ses atouts en termes d'apport de solutions d'analyses.
- Les possibilités d'échanges de données.
- La compatibilité de ses supports de données avec d'autres.

L'environnement Map-Info et ses sous programmes ont été utilisés dans ce travail.

### 3.5 Choix et fonctions du SIG

#### 3.5.1 Concepts fondamentaux de Map-Info

Confrontés aux nombreux systèmes d'information géographique adaptés au monde de la micro-informatique, notre choix s'est porté sur le système d'information géographique Map-Info (figure III.2) pour bénéficier d'un produit performant, évolutif, largement diffusé auprès des utilisateurs.



Figure III 2. Présentation du logiciel Map-Info [Google image].

### 3.6 Fonctionnalités d'un SIG

Un SIG complet, permettra non seulement de dessiner puis tracer automatiquement le plan, mais en outre [26] :

- De disposer les objets dans un système de référence géographique, de les convertir d'un système à un autre.

- De rapprocher entre elles deux cartes (deux plans) de sources différentes, de faciliter leur superposition comme c'est illustré dans la figure III.3.

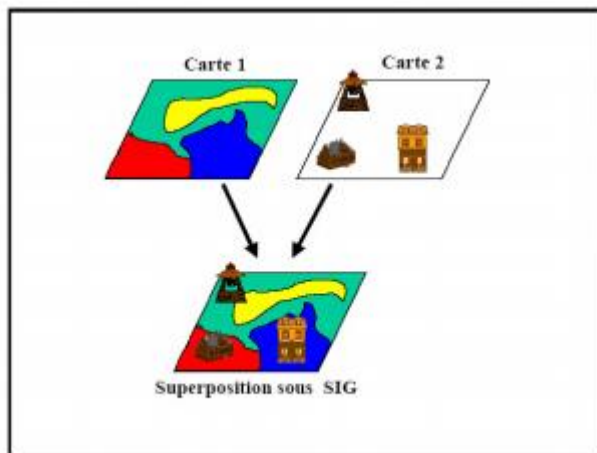


Figure III 3. Superposition sous un SIG [26].

- De corriger certains contours de la moins fiable en reprenant les coordonnées correspondantes de la plus fiable.
- D'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée, d'un carrefour, d'une route ou des rives d'un lac.
- D'extraire tous les objets situés dans un périmètre donné comme c'est présenté dans la figure III.4.

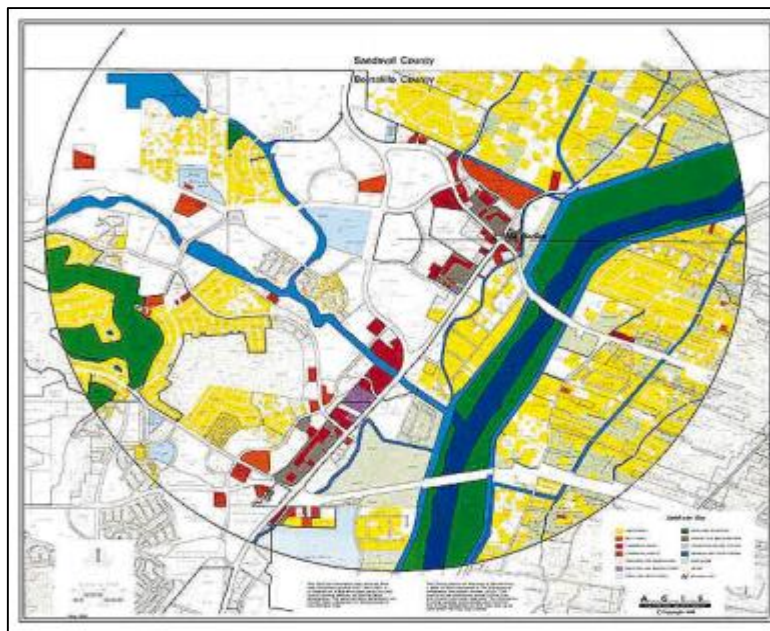


Figure III 4. Exemple de sélection [26].

- De fusionner tous les objets ayant une caractéristique commune, par exemple les parcelles adjacentes ayant la même densité de surface bâtie.
- De déterminer, sur un réseau, l'itinéraire le plus court pour aller d'un point à un autre.

### 3.7 L'avantage du SIG

Les systèmes d'information géographique (S.I.G) présentaient des avantages précieux, car ils sont capables à la fois de mémoriser la totalité de l'information disponible et de faciliter la manipulation et l'interprétation des données. Les avantages des SIG sont multiples surtout dans le domaine de planification et de la gestion des ressources naturelles tel que l'eau [27].

Le SIG est considéré parmi les outils les plus utilisés actuellement. En effet, le premier avantage de ce dernier c'est qu'il est capable de rassembler dans une même base de données des informations autrefois dispersées. Il peut fournir des éclaircissements sur des liens complexes que d'autres moyens ne permettent pas d'étudier ou d'observer facilement. Au lieu d'utiliser des cartes en deux dimensions, les logiciels SIG permettent de développer des vues en trois dimensions qu'on utilise par la suite dans des applications avancées, telles que la réalité virtuelle [27].

Les avantages du programme SIG peuvent être résumés dans les six points suivants :

- Saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition).
- Gestion de base de données (Archivage).
- Manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse).
- Mise en forme et visualisation (Affichage).
- Représentation du monde réel (Abstraction).
- La prospective (Anticipation).

### 3.8 Domaines d'application du SIG

Les approches ont mis en évidence le fait qu'un système d'information géographique est un outil de gestion et d'aide à la décision [28]. C'est un outil de gestion pour le technicien qui doit au quotidien assurer le fonctionnement d'une activité. Le SIG doit aussi être un outil d'aide à la décision pour le décideur (directeur, administrateur) qui doit bénéficier de sa puissance et disposer de cartes de synthèses pour prendre les meilleures décisions [29].

C'est cette finalité qui permet d'employer le terme de système d'information et de donner aux SIG les domaines d'applications suivants figure III.5 :

➤ **Pour les grandes échelles [30]**

- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces).
- La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement).
- La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière).
- La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone...).
- La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...).
- Les applications topographiques (travaux publics et génie civil).

➤ **Pour les échelles moyennes et petites**

- Les études d'impact (implantation d'un centre commercial ou d'une école).
- Les études d'ingénierie routière (constructions de routes ou d'autoroutes).
- Les applications liées à la sécurité civile (prévention des risques naturels et technologiques).
- La gestion des ressources naturelles (protection de l'environnement, études géologiques, climatologiques ou hydrographiques).

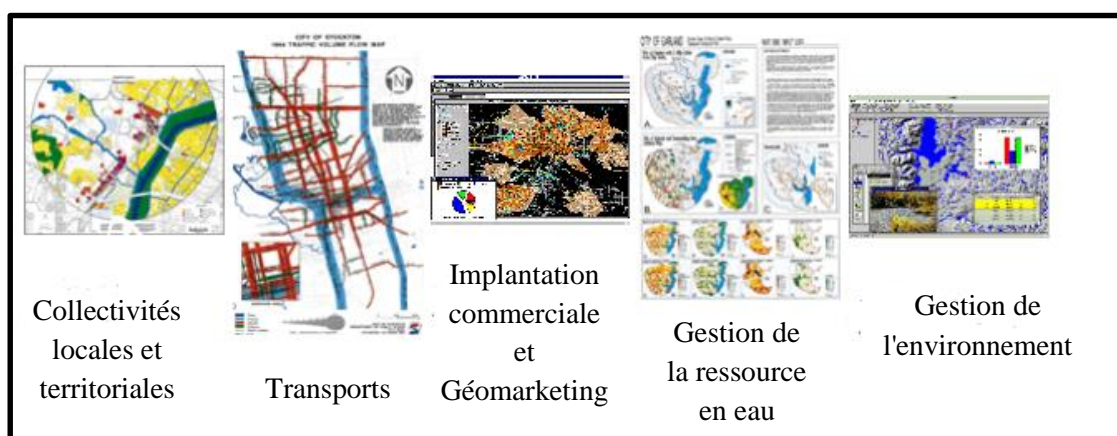


Figure III 5. Domaines d'application des SIG (Google image).

### 3.9 Utilisation des SIG pour la prévention et la gestion des inondations

Dans le domaine de la gestion d'inondation, le SIG joue un rôle majeur, il autorise la création des cartes de référence pour la prévention et la cartographie des dégâts, l'intégration de tout type d'information, une meilleure visualisation des différents scénarios, une meilleure présentation des idées et une meilleure appréhension de l'étendue des solutions possibles. Il aide à la prévention pour diminuer l'impact des risques, il permet aussi de développer et améliorer les modèles de prévision [30]. Un SIG est un outil fournissant des informations fiables, actualisées, objectives dans des délais très courts et de surveillance, d'élaboration de mesures réglementaires et de plans d'urgence en cas de catastrophes.

L'apport du SIG est donc de première importance non seulement pour la localisation des événements porteurs de risques, mais aussi la modélisation des risques et pour l'organisation des secours [30].

### 3.10 Méthodologie de travail

La réalisation d'un projet SIG nécessite une bonne démarche à suivre et une méthodologie bien précise, la méthodologie de notre travail peut être schématisée selon la figure III 6 suivant :

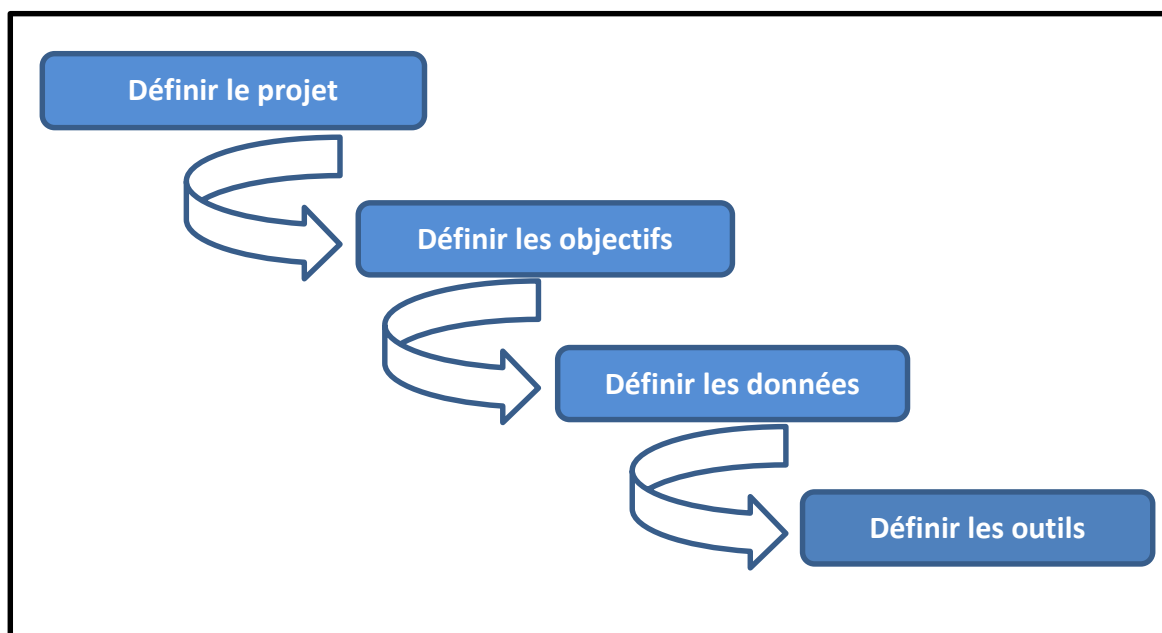


Figure III 6. Organigramme de la méthodologie [30].

### 3.10.1 Définition du projet

Ce travail consiste à réaliser « Un SIG pour la gestion des zones inondables » afin de réduire les effets des inondations dans la zone de Khat El Oued, wilaya de Laghouat.

### 3.10.2 Définition des objectifs

Ce travail s'inscrit dans la problématique de la modélisation des inondations pluviales d'un secteur urbanisé. Ses objectifs sont :

- Evaluer et spatialiser le risque d'inondation dans la zone de Khat El Oued, wilaya de LAGHOUAT, dans un souci de prévention, à travers l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG).
- Rechercher les points blues sur un MNT (Modèles Numériques de Terrain) et trouver les bâtiments affectés.
- Utiliser des modèles pour analyser le MNT.
- Localiser les zones affectées et les identifier.
- Gérer les zones à risque d'inondation et prendre les meilleures décisions.
- Modéliser et cartographier le risque d'inondation.

### 3.10.3 Définition des données

Le premier aspect auquel on pense quand on évoque la notion de logiciel de cartographie informatique ou de système d'information géographique est celui de manipuler les données. Dès lors, un certain nombre de questions se posent : Comment l'information contenue dans une carte peut-elle être stockée dans un ordinateur ? Quelles sont les données traitées par les SIG ? La section suivante apporte les réponses aux différentes questions posées et met le point sur les modes d'acquisition de données dans un SIG.

### 3.10.4 Modes d'acquisition de données

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, ont des modes d'acquisition différents, sont sur des médias différents, on dit qu'elles sont multi sources. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain (levés topographiques) ou captées à distance (système de positionnement Global GPS, photos aériennes, images

satellites), ou saisies à partir de cartes ou de plans existants, ou récoltées par des organismes de production de données et ensuite importées. Il s'agira d'intégrer ces données hétérogènes, de qualité, de fiabilité, de précision et d'extensions spatiales bien différentes. Nous présentons dans ce qui suit les principales méthodes d'acquisition de données [31].

**a) Numérisation**

La numérisation (digitalisation ou vectorisation) permet de récupérer la géométrie des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante. [31].

**b) Balayage électronique (scannérisation)**

Le balayage électronique (réalisé avec un scanner) est un autre moyen de saisir un plan existant. Il est plus rapide que la digitalisation manuelle [31].

**c) Photogrammétrie**

La photogrammétrie aérienne est utilisée de façon systématique pour constituer les cartes à moyenne échelle. Elle est retenue également dans les pays dont la couverture cartographique et géodésique est déficiente et utilisée pour la constitution de plans à grande échelle pour un coût qui peut être très avantageux. La figure III 7 présente un exemple de photos aériennes [31].



**Figure III 7.** Exemple de photos aériennes de Laghouat (Google Arth).

#### d) Import de fichiers

C'est une façon de réduire les coûts de saisie et de récupérer des données existantes et de les convertir au format, au système d'unités et au système de projection souhaités comme c'est illustré dans la figure III.8 Pour cela, on utilise des interfaces qui permettent :

- Soit de transformer directement les données dans le format interne du SIG récepteur grâce à des bibliothèques de conversions à ce format interne.
- Soit de passer par l'intermédiaire d'un format d'échange reconnu, par une fonction d'importation de données du SIG récepteur.

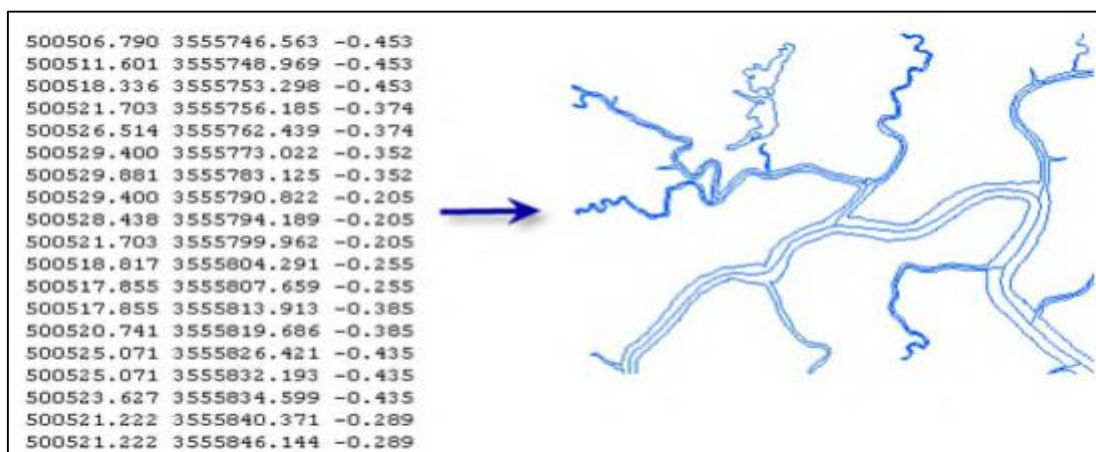


Figure III 8. Exemple d'importation de fichiers vers le SIG [31].

#### 3.10.5 Types de données dans un SIG

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies [32] :

- Sa position géographique dans l'espace.
- Sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie.
- Son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code).

Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées (figure III. 9).

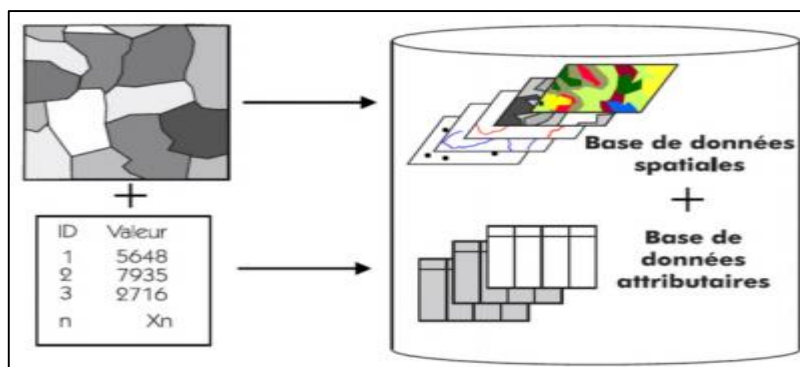


Figure III 9. Types de données dans un SIG [32].

### 3.11 Données spatiales

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques [32] :

- La localisation : coordonnée par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme : point, ligne, surface.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types (figure III.10) :

- Point : est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

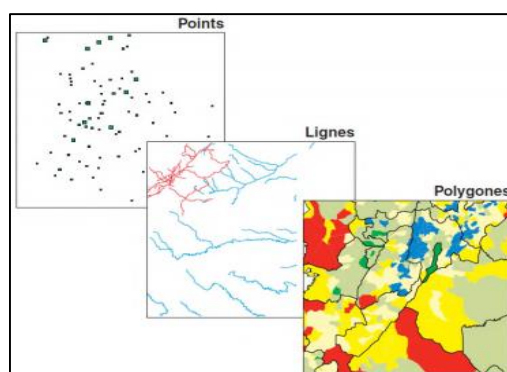


Figure III 10. Données spatiales [32].

### 3.11.1 Données associées

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale [33]. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. Parmi ces données il faut distinguer :

- a) **Données de classification** : Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie : limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau... Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement [33].
  
- b) **Données d'identification** : Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan : nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro permettant de l'identifier : numéro de parcelle, numéro de vanne [33].
  
- c) **Données attributaires** : Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié : le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau [33].

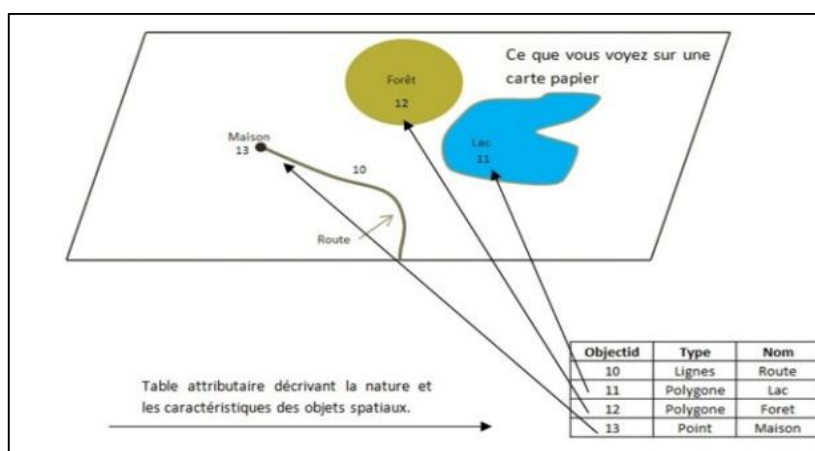


Figure III 11. Données associées [33].

Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet. En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin.

### 3.12 Analyse et traitement des données

Dans notre zone d'étude, pour calculer l'indice de la vulnérabilité du bâti, nous avons fait un plan Autocad au long de la zone de Khat El Oued, et au niveau de la superficie de la zone vulnérable le quartier de Zgag El Kabou, chaque cellule a sa donnée, et chaque donnée présente un niveau de la vulnérabilité, le type des données soit une carte topographique, une photographie aérienne, un tableau Excel.

L'établissement de la carte finale est en faire la superposition des tables traitées, chaque table représente un paramètre responsable de déterminer les risques d'inondation.

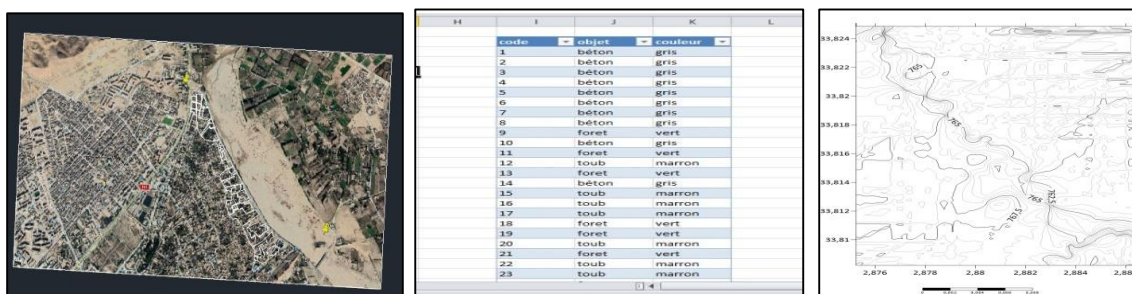


Figure III 12. Basse des données (source : auteur)

La tâche du traitement et l'analyse des données nous permet de formuler un nombre des informations répondant à diverses interrogations. Les informations effectuées ont permis d'avoir une analyse détaillée de la vulnérabilité du bâti existant face aux l'inondation.

### 3.13 Conclusion

Il est nécessaire d'améliorer l'évaluation des dommages causés par les risques naturels à travers des méthodes et des outils plus robustes. L'objectif de la présente étude est d'évaluer et spatialiser le risque d'inondation à travers l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour gérer et identifier les zones à risque d'inondation, et prendre les meilleures décisions.

Les caractéristiques spatiales et thématiques de la technologie SIG nous ont permis de superposer différentes données et nous ont facilité l'utilisation les opérateurs de gestion et de traitement de l'information. Ce géo traitement pourra permettre aux décideurs de prendre les mesures les plus efficaces à entreprendre en matière de prévention et de gestion des inondations.

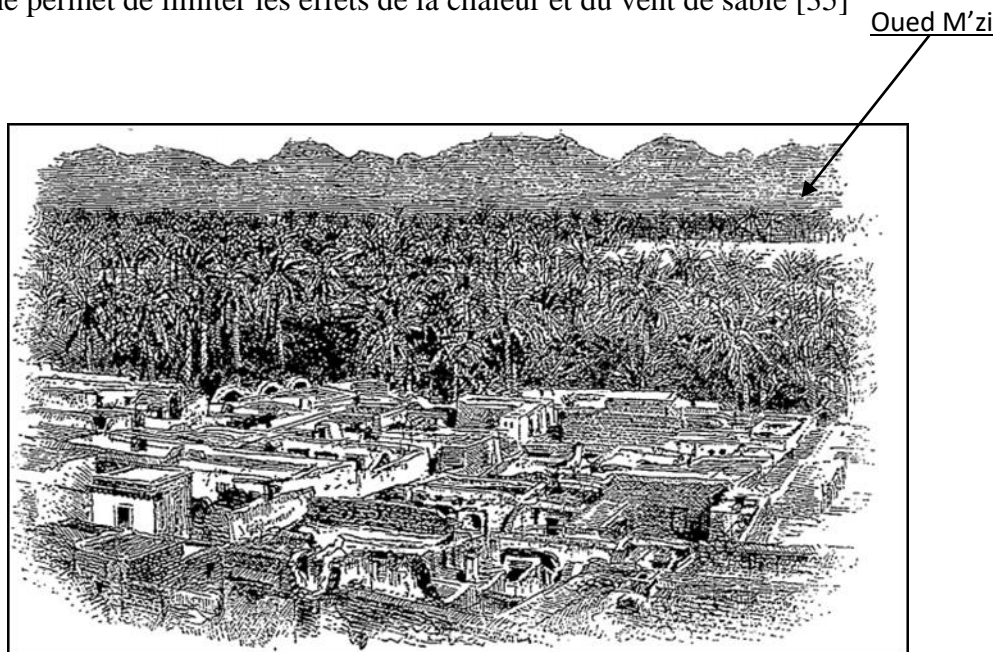
Les Systèmes d'Information Géographique permettent d'organiser et de structurer les informations, de les présenter, et de les visualiser dans un but d'aide à la décision dans la procédure de gestion du risque d'inondation.

## 4.1 Introduction

Pour l'étude et le diagnostic de la vulnérabilité de bâti existant face aux inondations, nous avons constatés que les trois indicateurs suivants : la source du risque, la morphologie urbaine et lever topographique, ont une relation directe avec l'aléa inondation et le milieu urbain. Pour cela nous avons mis au point l'élaboration des données numériques au service de la cartographie réelle afin de faire ressortir une carte de vulnérabilité nous permettant de mettre en évidence les quartiers à risque.

## 4.2 Description Historique urbaine de la zone d'étude

Les quartiers de Khat El Oued sont caractérisés par un ensemble d'habitations compactées et denses réparties sur le long de la berge d'Oued M'zi. Le tissu urbain est structuré par des places, des rues, des ruelles et des impasses [34]. Cette répartition urbaine permet de limiter les effets de la chaleur et du vent de sable [35]



**Figure IV 1.** Schématisation des quartiers de Khat El Oued en 1901.

C'est une zone particulièrement fertile où s'y développe une agriculture riche, caractérisé par des bâtisses d'exploitation ; des réseaux d'irrigation qui alimente jadis naturellement toute la région centre de la ville (archive). Au fil du temps, les constructions ont pris timidement un aspect plus moderne avec des matériaux de construction adéquats tel que le Béton et le Charpente Métallique.



Figure IV 2. Vue globale sur la mixture urbaine en nouveau et ancien.

### 4.3 Morphologie urbaine de la zone d'étude

La zone de Khat El Oued se caractérise par la diversité dans les constructions et dans la nature des structures en termes de composition. Cette mixture est accompagnée par des espaces vert entre jardins et palmerais. Nous remarquons que la majeure partie de la zone urbaine de Khat El Oued est en Toub, concernant les constructions en béton leurs existence s'est en extension aux bâtisses existantes.

Par conséquent, nous fournirons des cartes montrant toutes les caractéristiques de la zone d'étude en termes du type de construction. Cette classification a été réalisée par l'utilisation de l'outil informatique SIG. À l'aide de logicielle Map-Info, il est montré les emplacements de chaque type de construction et les jardins dans toute la zone d'étude afin d'identifier la zone submergée.

#### 4.3.1 Les jardins

Nous constatons que les espaces verts qui sont aprioris des jardins ou des espaces vacants, occupent la plus grande partie de la surface globale. D'après les témoignages enregistrés, suite à leurs présences, l'expansion du débordement d'Oued M'zi a pris une autre envergure.



**Figure IV 3.** Vue sur les jardins dans les quartiers urbains (source : auteur).

Dans la figure IV.4 ci-dessous, la grande expansion des jardins montre le niveau des quartiers et des constructions, ainsi que leur chevauchement, ce qui conduit à une amplification du risque en cas d'inondation.



**Figure IV 4.** Cartographie des jardins dans la zone d'étude (source : auteur).

### 4.3.2 Les constructions en Toub

Dans la zone d'étude, nous avons constaté que la plupart des constructions sont anciennes et présentent une composition structurale en Toub, avec des différences de méthode et de matériaux de constructions utilisés.

Le quartier de Zgag El Kabou caractérisé par un bâti traditionnel d'une architecture introvertie et des façades aveugle, mais l'état actuel de ce type de constructions est défiguré et a perdu son cachet patrimonial, à l'effet de plusieurs facteurs « l'effet du temps, vétuste du bâti, manque d'entretien, alternance dans les générations et changement dans les perceptions d'occupation. Cette mutation laisse une grande place au risque d'effondrement au cas de crues répétées.

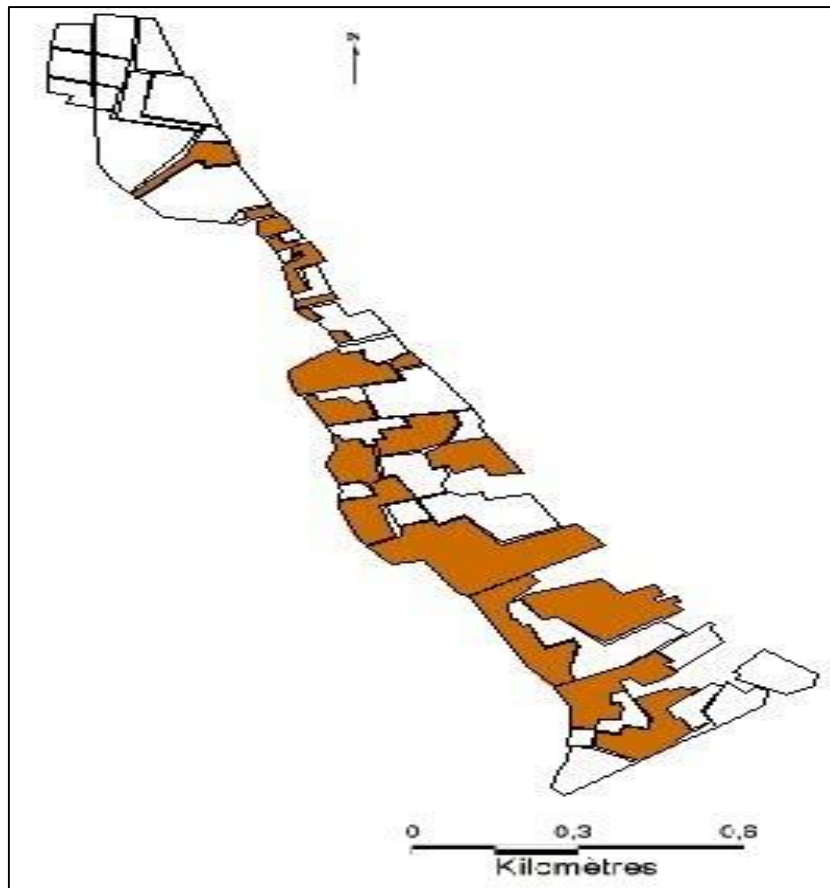


**Figure IV 5.** Vue sur les bâtisses en Toub (source : auteur).

Ces anciennes bâtisses, qui représentent la majorité de la région de Khat El Oued, n'ont pas été encore réhabilités et abrite une grande population de plusieurs générations, ce qui rend ces quartiers vulnérables aux pertes humaine et matériel suite à des inondations annuelle.

Afin d'intervenir sur le bâti existant tel qu'il est, nous avons établis un recensement de ces bâtisses de mettre en avant leurs vulnérabilité pour d'éventuels restaurations ou réhabilitations tout en gardant leur aspect initiale et patrimoniale.

La figure IV.6 suivante montre la répartition des bâtisses le long de la zone d'étude.



**Figure IV 6.** Cartographie des constructions en Toub dans la zone d'étude (source : auteur) .

### 4.3.3 Les constructions en Béton

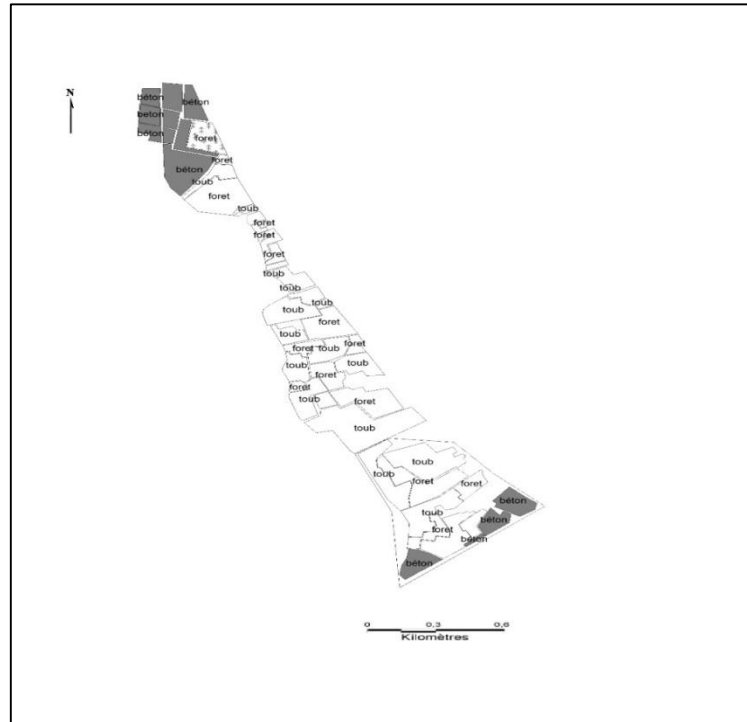
Il y a une timide proportion de constructions en béton qui ont vu le jour bien avant ces 30 dernières années et situé à l'extrémité de la zone d'étude. C'est à proximité d'El Merdja que l'on recense le plus grand nombre de constructions en béton dont elle bénéficie d'un bouclier naturel vis-à-vis d'Oued M'zi. Ce qui la rend assez invulnérable au risque d'inondation.



**Figure IV 7.** Vue sur l'expansion des constructions en béton au niveau de Khat El Oued (source : auteur).

Les structures en béton connus pour leurs résistance mécanique mais d'après la nature du sol de cette partie un risque d'affouillement des fondations est fort probable au cas de submersion répétées suit à des inondations annuelles.

La figure IV.8 suivante montre la répartition des bâtiments en béton dans la zone de la ligne de Khat El Oued :



**Figure IV 8.** Cartographie des constructions en Béton dans la zone d'étude (source : auteur).

#### 4.3.4 La zone mixte (Béton, Toub)

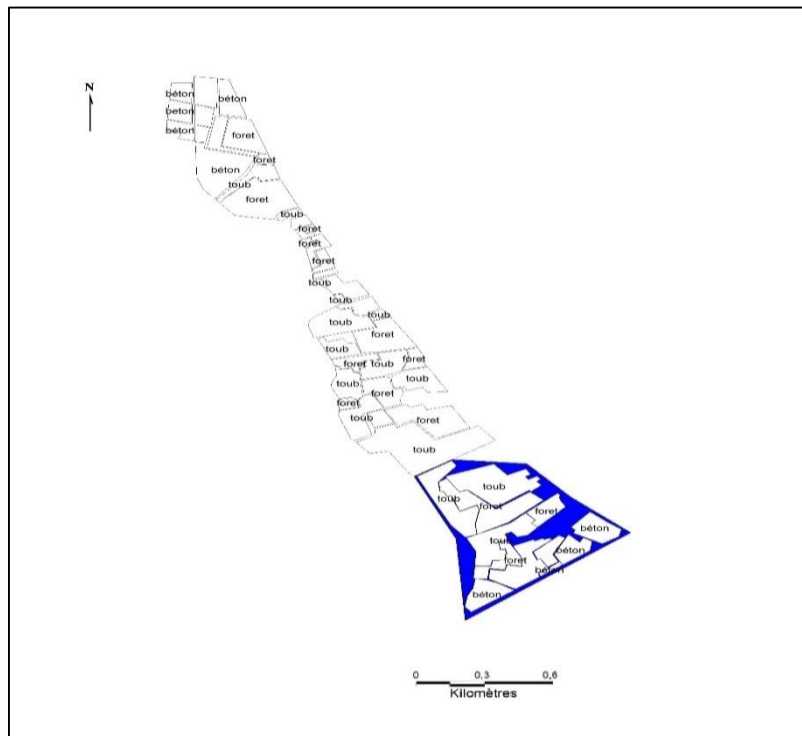
La destruction d'une partie du mur en gabions de la berge d'Oued M'zi a provoqué une vague violente d'une masse volumique importante de coulée de boue qui a trouvé refuge dans une zone de nivellement plus bas. Cela a causé de grave pertes matériels et par conséquent l'endommagement des structures de base des bâtisses existantes dans le Zgag El Kabou, à force d'inondation répétées annuellement cela peut engendrés l'instabilité structurelle de ces dernières.

Nous avons recensé près de 35 logements à travers les quartiers précités qui ont été gravement endommagés dont la nature des constructions était en Toub. Sachant que le nombre d'habitations effectifs ne dépasse pas les 350 bâtisses. Or un pourcentage de 10 %.



**Figure IV 9.** Vue globale sur la zone submergée (source : auteur).

La figure IV.10 suivante montre l'entrée des eaux de crue dans la région de Khat El Oued, qui se résumé à Zgag El Kabou :

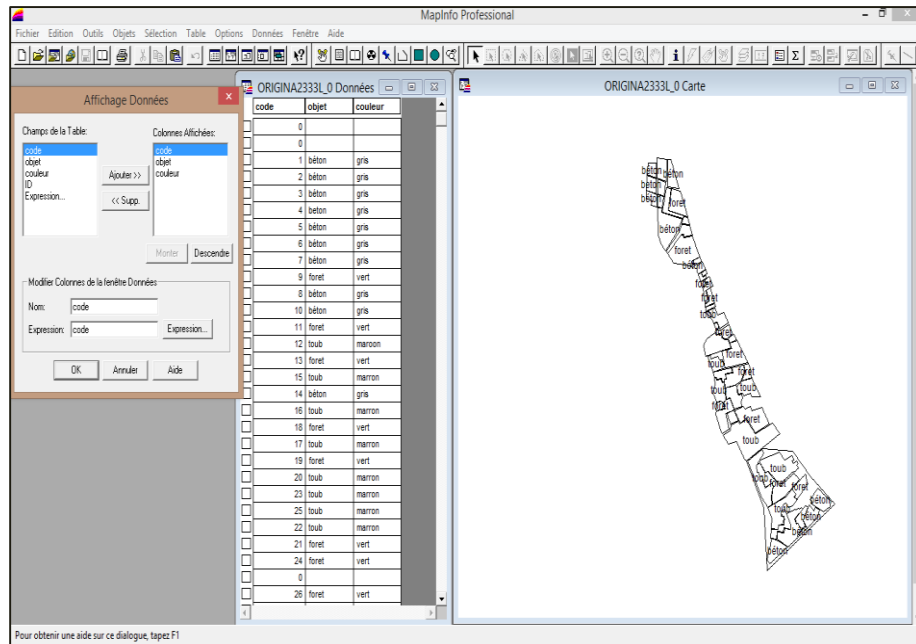


**Figure IV 10.** Cartographie de la zone submergée lors de l'inondation du 30 Septembre 2016 (source : auteur).

#### 4.4 La superposition des cartes des différentes zones

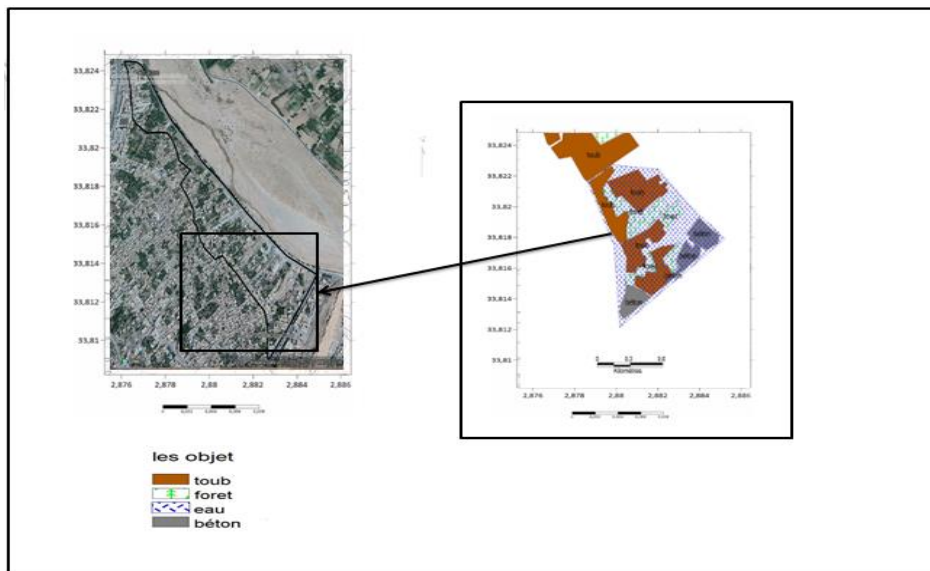
À partir des cartes obtenus précédemment, nous avons établis des données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral.

Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone de la zone d'étude.



**Figure IV 11.** Identification des données (source : auteur).

Dans la figure IV.12, il est présenté dans cette partie, les différentes caractéristiques d'habitations exposées directement ou indirectement à l'effet inondation. Dans le cas de la zone de Khat El Oued nous avons trouvé que les habitants du quartier Zgag El Kabou sont en face du risque d'inondations vue leurs situations topographiques vis-à-vis du niveau d'Oued M' Zi.



**Figure IV 12.** Les différentes caractéristiques d'habitations du quartier Zgag El Kabou (source : auteur).

#### 4.5 Identification des bâtisses à risque dans la zone d'étude

Une fois superposés les cartes à l'aide du programme Map-Info extraire la carte finale indiquant les types d'installations et de forêts de la zone d'étude. Comme indiquée selon la figure IV 13 suivante :



**Figure IV 13.** Les différentes caractéristiques d'habitations du quartier Zgag El Kabou (source : auteur).

Les polygones en couleurs marron sont des bâtisses en Toub situés au long de la zone d'étude et qui représente 28 % et ceux en couleurs grises correspondent aux constructions en Béton. Ils sont d'un nombre restreints et éparpillés au long de la zone d'étude, leurs présence est estimé à 33 %. Tandis que les polygones en couleurs verte représenté par des palmiers verts regroupent tous les espaces cultivés et les espaces vacants. Il représente 39 % de la totalité de la zone d'étude, comme le montre selon la figure IV 14 suivante :

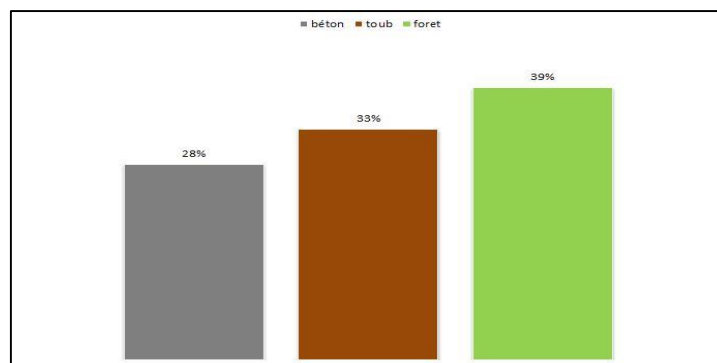


Figure IV 14. Pourcentage des caractéristiques de la zone de Khat El Oued (source : auteur).

#### 4.6 Analyse thématique

Lors de l'analyse thématique des données saisies dans le programme (Map-Info), nous avons obtenus une carte thématique montrant les zones vulnérables, exposées par niveau de gravité au risque d'inondation.

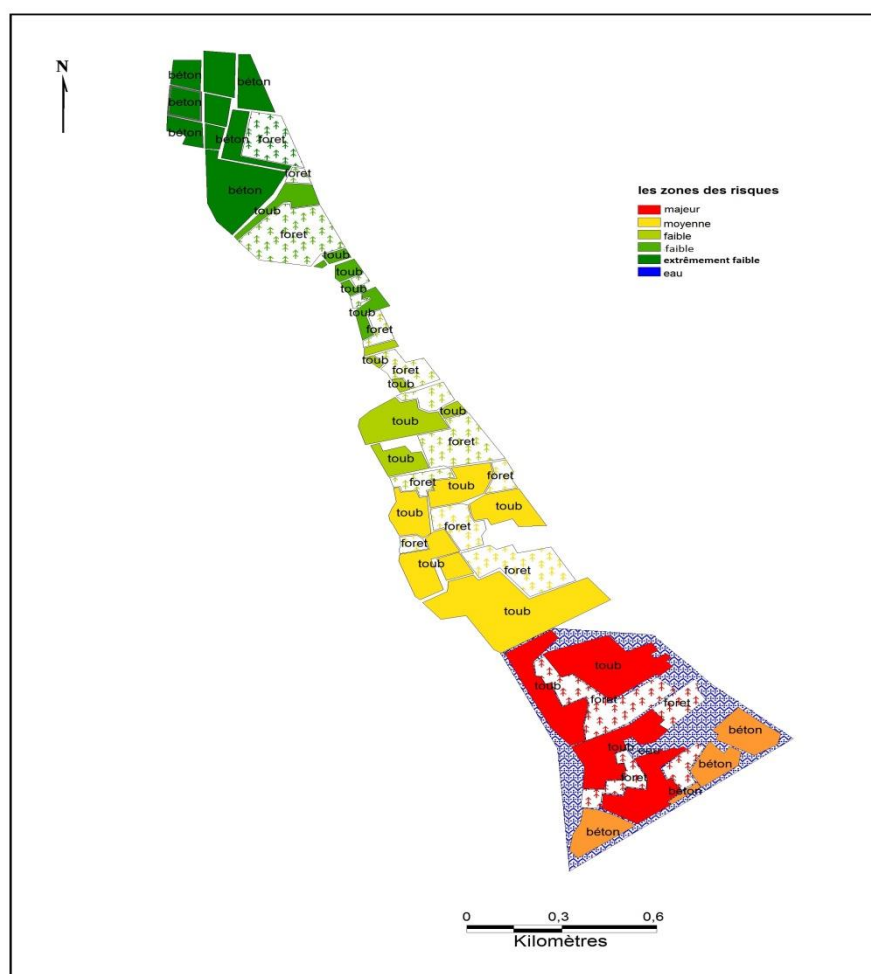
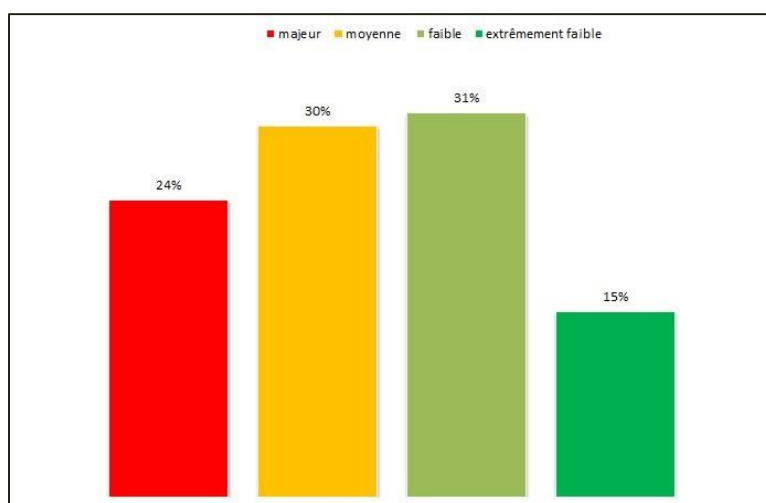


Figure IV 15. Carte thématique de la zone de Khat El Oued (source : auteur).

Grâce à ces données, nous avons pu développer un schéma permettant de déduire les risques d'inondation d'Oued M'zi pour la zone du Khat El Oued par pourcentage. De façon à pouvoir distinguer la vulnérabilité par gravité de chaque zone.

Il est représenté dans la figure IV.16 ce qui suit, le choix d'une coloration de chaque niveau de gravité. Selon les quartiers, nous avons :

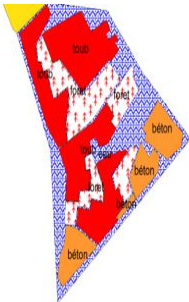

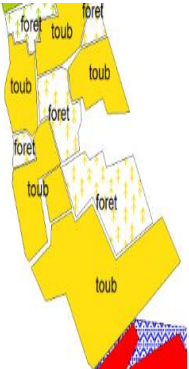



- **La zone rouge** qui occupe presque 24% de la surface totale du périmètre d'étude. C'est dans cette partie-là où l'on a trouvé une source de risque majeur.
- **La zone orange** qui occupe 30 % de la surface totale du périmètre d'étude. C'est dans cette partie-là où l'on a trouvé une source de risque moyen.
- **La zone vert clair** : qui occupe 31 % de la surface totale du périmètre d'étude. C'est dans cette partie-là où l'on a trouvé une source de risque faible.
- **La zone vert foncé** : qui occupe 15 % de la surface totale du périmètre d'étude. C'est dans cette partie-là où l'on a trouvé une source de risque extrêmement faible.



**Figure IV 16.** Les pourcentages du risque d'inondation dans la zone Khat El Oued (source : auteur).

Sur la base de la carte obtenue, nous avons subdivisé la zone d'étude en trois parties distinctes indiquant les caractéristiques des bâtisses mixtes et des espaces vert pour chaque quartier nommé plus haut , avec la possibilité de présenter la gravité du risque d'inondation de chaque partie comme il est indiqué dans le tableau IV.1 suivant :

**Tableau IV 1.** Identification et caractérisation des quartiers de la zone d'étude (source : auteur).

Les zones distinctes	La gravité du risque	La hauteur d'eau	Les photos	Commentaire
	Majeur	De 0,3 m à 1m		<p>Dans cette zone, les différentes bâtisses, les installations et les espaces verts sont gravement endommagés, et des pertes matérielles importantes ont été enregistrées suite à l'entrée des eaux de crue de coulée de boue soudainement et violement après la rupture du mur en gabions de la berge d'Oued M'zi</p>
	Faible	/		<p>Aucune entrée d'eau n'a été enregistrée dans cette zone, mais étant donné le pourcentage des bâtisses en Toub, elle représente une menace potentielle au cas de forte crue arrivant jusqu'à ce niveau. Rappelons que cette zone contient des jardins donnant sur la berge d'Oued M'zi et qui représente une ouverture potentielle ; ce qui l'expose à un grand danger d'immersion.</p>
	extrêmement faible	/		<p>Nous considérons que cette zone est relativement à très faible danger compte tenu de l'élargissement de la berge en un espace connu sous le nom d'El-Merdja. De plus, que son nivellement haut par rapport à la berge lui donne ainsi la possibilité d'être loin du risque d'inondation</p>

## 4.7 Analyse et Discussions

Dans le cadre de ce travail, nous limiterons à une lecture de carte numérique concernant la vulnérabilité au risque d'inondation. Nous avons constaté que la zone de Zgag El Kabou, représente la partie à haut risque de submersion dans le Contexte de la prévention des risques majeurs d'inondation, et d'après les témoignage des autorités locales, il a été suggérer des solutions technique de réalisation d'un mur de soutènement en béton armée avec pieux afin de servir comme bouclier de sécurité pour cette zone basse vulnérable. De ce fait, réduire au maximum l'ampleur des dégâts occasionnés chaque année.

## 4.8 Les propositions d'aménagement pour une meilleure gestion du risque d'inondation dans la zone d'étude

a) Réduire à moyen terme le cout des dommages liés à l'inondation :

- Etablir un décapage de la berge qui est en face à la ville pour permettre à l'Oued de prendre son court dans un espace plus élargis
- Une prise en compte de la gestion de l'exploitation du sable et tout venant de l'Oued pour éviter de déstabiliser l'écoulement naturel
- Renforcer le mur de soutènement prévu come ouvrage de protection par des digues en blocs de béton armé.
- Suppression d'une partie du mont de Sidi Hakoum située à la rive droite d'Oued M'zi

b) Un plan de secours des pour l'aire d'étude :

- Réhabilitation les anciennes maisons.
- Renforcement et renouvellement les éléments structuraux.
- Utilisation des caniveaux a niveau des ruelles

c) La nécessité d'un système d'alerte en cas de risque.

d) Le citoyen doit être formé et informer pour mieux connaître le risque en développant les connaissances et la compréhension des inondations ce qui donne un citoyen partenaire dans le système de gestion des inondations.

## 4.9 Conclusion

Nous avons tenté de développer les fondements de deux concepts composant la notion générale de la dualité du risque à savoir « Aléa » et « Vulnérabilité ». En effet, dès lors, nous avons émis comme hypothèse que la vulnérabilité urbaine est le fait de croisement des indicateurs qui ont une relation directe avec l'aléa d'inondation et le milieu urbain et à travers un échantillon représentatif nous avons pu démontré que cette évaluation en se basant sur la spatialisation et la cartographie des trois composant de la tryptique du risque traduisant par une carte de vulnérabilité.

## *Conclusion Générale*

L'urbanisation augmente le risque d'inondation non seulement en raison de la croissance urbaine et démographique dans un périmètre déterminé, mais aussi en raison d'aménagements installés, qui vont par la suite produire des obstacles contre l'écoulement de l'eau qui aggravent les conséquences de l'aléa. Ces inondations urbaines représentent un risque potentiel sur la santé humaine, sur l'environnement et le patrimoine culturel de la ville, elles causent dans le monde entier des ravages, des pertes humaines et des dommages matériels qui influent sur le développement économique, social et environnemental de la ville. Pendant une inondation, tous les moyens sont légitimement, entièrement consacrés à sauver les êtres humains et à préserver les biens collectifs, en oubliant la préservation du patrimoine culturel malgré sa fragilité et son importance comme ressources héritées du passé, car une fois perdues, elles ne sont pas renouvelables.

Nous avons défini les données nécessaires pour notre zone d'étude que ce du point de vue géomorphologique, topographique et hydrogéologique. Ces données nous ont servis à éclaircir l'image du site vis-à-vis de sa sensibilité à l'aléa inondation. De ce fait, il a été donc traité par la suite les informations et données de base afin de lancer la structuration et le diagnostic de l'état des lieux par type de construction et par espace d'occupation de la périphérie des quartiers exposés et qui se résume à Zgag El Kabou.

Les caractéristiques spatiales et thématiques de la technologie SIG nous ont permis de superposer différentes données et nous ont facilité l'utilisation des opérateurs de gestion et de traitement de l'information.

Nous avons tenté de développer les fondements de deux concepts composant la notion générale de la dualité du risque à savoir « Aléa » et « Vulnérabilité ». En effet, dès lors, nous avons émis comme hypothèse que la vulnérabilité urbaine est le fait de croisement des indicateurs qui ont une relation directe avec l'aléa d'inondation et le milieu urbain et à travers un échantillon représentatif nous avons pu démontrer que cette évaluation en se basant sur la spatialisation et la cartographie des trois composants de la tryptique du risque traduisant par une carte de vulnérabilité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Mr Mahfoudi Brahim, Système expert pour le diagnostic des structures bâtiment, Mémoire de Magister, École Nationale Polytechnique, décembre 2006.
- [2]. Amrani Aya, La réduction de la vulnérabilité des monuments historique aux inondations (Cas d'étude L'Amphithéâtre romain de Tébessa), Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en Architecture, Université Larbi Tébessi – Tébessa, 2015/2016.
- [3]. Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, Vulnérabilité des réseaux d'infrastructures aux risques naturels, Volume 1, n° 008414-01, Septembre 2013.
- [4]. Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-H-451, Diagnostic de vulnérabilité d'une ville. Méthodologie d'analyse de la vulnérabilité sociale et fonctionnelle du système urbain, R 40382, Décembre 1998.
- [5]. M<sup>r</sup> AISSA MADAOUI Oussama & AISSA MADAOUI Rabie, Protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain Fezza-Tlemcen, Projet de Fin d'Etude Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique, Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, Promotion 2015/2016.
- [6]. CEPRI, Le bâtiment face à l'inondation Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Guide méthodologique, Mars 2010.
- [7]. Narcisse MALANDA, Paul LOUZOLO-KIMBEMBE, Yannick Destin TAMBA-NSEMI, Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre, Document de recherche, Université Marien N'GOUABI, Octobre 2017.
- [8]. SALMI Safia, La construction en pise entre performances énergétiques et perception des usagers (cas du village kabyle Ait Itchir), Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri– TIZI OUZOU, 26/02/2014.
- [9]. J. Mater, Réhabilitation du patrimoine architectural en terre, un héritage à sauvegarder, ISSN : 2028-2508, CODEN : JMESCN, 7 /10/ 2016.
- [10]. Diane Saint-Laurent, « Inondations en milieux urbains et périurbains », Environnement Urbain, Volume 2 | 2008, consulté le 01 juillet 2019.
- [11]. M<sup>me</sup> ASSOUL.D, Assurance et réassurance des risques liés aux catastrophes naturelles en Algérie, Mémoire de fin de cycle, en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Economiques, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Promotion 2013.

- [12]. Marion Tanguy, Développement d'une méthode de caractérisation et d'évaluation du risque humain lié aux inondations en urbain, Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophie doctorat (Ph.D.) en sciences de l'eau, Université du Québec, 2016.
- [13]. HABOUL KHADIDJA et Mr SEHRAOUI AMEL, La prise en compte des risques d'inondations dans la planification urbaine «cas de la ville de Bab El oued », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master 2, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, 25/6/2018.
- [14]. BOUGUETOF Asma, La Vulnérabilité urbaine face au risque d'inondation (cas d'un périmètre témoin de la ville de Tébessa), Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en Architecture, Université Larbi Tébessi – Tébessa, 2015/2016.
- [15]. Les collectivités en Europe pour la prévention du risque d'inondation, Le bâtiment face à l'inondation. Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Mars 2008.
- [16]. Réflexion, UNE VILLE, UNE HISTOIRE : Laghouat, la ville aux tableaux de sables, Mardi 10 Octobre 2017.
- [17]. Hamdi Meriem Nour El Houda, Renouveau de l'ancien quartier Zgag el hedjadj de la ville de Laghouat, Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.
- [18]. Saci Aek, Naama Yacine, Yagoubi Selmane, Hôtel a Laghouat, Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'état d'architecture, Université Ammar Thlidji Laghouat, juin 2006.
- [19]. Tadj Imane Djaouida, Aménagement de la berge de l'oued M'zi au niveau de la ville de Laghouat par les concepts de développement durable, Mémoire de projet de fin d'étude, Université Amar Thelidji Laghouat, 2011/2012.
- [20]. M<sup>me</sup> Aissaoui Asma, Hydrologie et Hydrogéologie du bassin versant de l'Oued M'zi (Laghouat, Algérie), Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister, Université d'Oran 2, 2016.
- [21]. Site// [www.elwatan.com/edition/actualite/inondations-a-laghouat-le-maire-pointe-du-doigt-07-10-2016](http://www.elwatan.com/edition/actualite/inondations-a-laghouat-le-maire-pointe-du-doigt-07-10-2016).
- [22] [https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG\\_a24.html](https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html).
- [23]. [https://www.researchgate.net/publication/324149696\\_Cours\\_de\\_systeme\\_d'information\\_geographique](https://www.researchgate.net/publication/324149696_Cours_de_systeme_d'information_geographique).
- [24]. <https://fr.geoconcept.com/sig-systeme-d'information-geographique>.

[25]. Clélia Bilodeau, Présentation des SIG Systèmes d'Information Géographique, Université Paris Diderot-Paris 7, 2013.

[26]. <https://www.calameo.com/read/00089986979f77f991180>.

[27]. HADJ SEYD et ABOUB, Mise en place d'un SIG pour la valorisation et gestion des eaux de la wilaya d'Ouargla, Rapport de recherche, Université Kasdi Merbah de Ouargla, mai 2015.

[28]. <https://www.notre-planete.info/terre/outils/sig.php>.

[29]. <https://www.calameo.com/read/00089986979f77f991180>.

[30]. Hajji Hicham, Gestion des risques naturels : Une approche fondée sur l'intégration des données, Pour l'obtention de grade de Docteur en Informatique, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.

[31]. SITAYEB AICHA et HAMADENE IMANE, Cartographie et analyse spatiale de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune de Mohammadia, Mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, 13 /06 / 2018.

[32]. [https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG\\_a24.html](https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html).

[33]. <http://www.arcorama.fr/2015/01/sig-3d-35-conception-de-donnees-3d.html>.

[34]. Plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé ; Le vieux ksar de Laghouat N°11-141 du 28 mars 2011/ JO N°20 du 30/03/2011.

[35]. A.N. Si Amer. La prise en compte des attributs touristiques dans le processus de patrimonialisation de l'espace oasien : cas de l'Oasis de Zgag El Hadjadj à Laghouat, Algérie. Colloque internationale ; Ressources patrimoniales et alternatives touristiques : entre oasis et montagnes, Ouarzazate, Maroc. Nov. 2011.

**عنوان المذكرة:** دراسة وتشخيص هشاشة المباني الحالية المواجهة للفيضانات. خط الواد. الأغواط.  
**المؤطر:** بولغمان فريدة  
**اللقب:** ناني  
**الاسم:** أسامة  
**بارود**  
**أحمد عبد الصمد**

**ملخص:** تعد مشكلة مخاطر الفيضانات موضوعًا هامًا، خاصة في ضوء الفيضانات السنوية الأخيرة التي مرت بها مدينة الأغواط على مدار السنوات العشر الماضية. لهذا السبب، اخترنا معالجة مشكلة تشخيص هشاشة المباني القائمة على مستوى خط الواد. في الواقع، أصبحت إدارة هذا الخطر ضرورة أكثر فأكثر والتي يجب أن تشمل جميع الجهات الفاعلة وجميع الوسائل المتاحة الممكنة. الهدف من هذا العمل هو تحديد الطرق المختلفة التي يمكن استعمالها لتنفيذ إجراءات الحد من هشاشة المباني في زقاق القابو المهتدة بتأثير الفيضان في وادي مزي. لهذا، تستند هذه الدراسة إلى مفاهيم نظرية يمكن تطبيقها والتحقق منها في منطقة خط الواد. العديد من عمليات التعداد وجمع البيانات والرحلات الميدانية تم تدوين الملاحظات من زيارات ميدانية مختلفة لتسليط الضوء على المعلومات التي سوف تسمح لنا بتطوير الدراسة الرقمية. قدمت نظم المعلومات الجغرافية مساهمة خاصة في تطوير أبحاث مخاطر الفيضان، حيث كشف تشخيص الضعف والهشاشة أن المؤشرات الثلاثة التالية: مصدر الخطر، التشكل الحضري والمسح الطبوغرافي، لها علاقة مباشرة بمخاطر الفيضان والبيئة الحضرية. لذلك قمنا بتطوير البيانات الرقمية في خدمة التعيين الفعلي لتسليط الضوء على خريطة الضعف العامة للمنطقة التي تسمح لنا بتسليط الضوء على الأحياء المعرضة لخطر الانغمار بمياه الأمطار.  
**كلمات مفتاحية:** التشخيص، الفيضان، خط الواد، المباني، نظم المعلومات الجغرافية، الهشاشة.

**Memory title :** Study and Diagnosis of the Existing Buildings Vulnerability to Floods. Khat El Oued. Laghouat

**Name:** NANI  
BAROUD

**First name:** OUSSAMA  
AHMED ABDESSAMAD

**Directed by:** F.BOULAGHMEN

**Abstract:** The problem of flood risks is an important topic, particularly in light of the last annual floods that the city of Laghouat has experienced over the past ten years. For this reason, we have chosen to address the issue of the vulnerability diagnosis in existing buildings at Khat El Oued area. Indeed the management of this risk becomes a necessity, which must include all the actors and available means possible. The objective of this work is to identify the different methods that can be implemented to carry out actions to reduce the vulnerability of housing in El Kabbou district threatened by the overflow effect of Oued M'zi. However, this study is based on theoretical concepts that can be applied and verified in the Khat El Oued area. Several consensus where operated, data collection and field trips with taking notes about different surveys in order to highlight parameters that will allow us to develop the digital study. Geographic Information Systems (GIS) has made a particular contribution to the evolution of flood risk research. The vulnerability diagnosis revealed that the three following indicators: source of risk, urban morphology and topographic survey, have a direct relationship with the flood hazard and the urban environment. For this we have developed the digital data in the service of the actual mapping to highlight a global vulnerability map allowing us to highlight the district at risk of immersion. The key to a good reaction is anticipation through prevention.

**Keywords:** Diagnosis, Flood, Khat El Oued, SIG, Vulnerability.

**Titre du mémoire :** Étude et Diagnostic de la Vulnérabilité de Bâti Existant Face aux Inondations. Khat El Oued. Laghouat

**Nom :** NANI  
BAROUD

**Prénom :** OUSSAMA  
AHMED ABDESSAMAD

**Promotrice :** F.BOULAGHMEN

**Résumé :** La problématique des risques d'inondation est un sujet d'actualité, notamment aux regards des dernières grandes crues annuelles que la ville de Laghouat a connu ces dix dernières années. Pour cette raison, on a choisi d'aborder la thématique du diagnostic de la vulnérabilité du bâti existant au niveau de Khat El Oued. En effet la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit inclure tous les acteurs et tous les moyens disponibles possibles. L'objectif de ce travail est d'identifier les différentes modalités pouvant être mises en œuvre pour conduire des actions de réduction de la vulnérabilité des habitations du Zgag El Kabbou menacées par l'effet de débordement d'Oued M'zi. Pour cela, cette étude s'appuie sur des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans la zone de Khat El Oued Il a été traité plusieurs opérations de recensement, collecte de données et sorties sur terrains avec prise de note de différents sondages afin de mettre en évidence les paramètres qui nous permettrons par la suite de développer l'étude numérique. Les systèmes d'information géographique (SIG) ont apporté une contribution particulière dans l'évolution des recherches sur les risques d'inondations. Le diagnostic de la vulnérabilité nous a permis de constater que les trois indicateurs suivants : la source du risque, la morphologie urbaine et le lever topographique, ont une relation directe avec l'aléa inondation et le milieu urbain. Pour cela nous avons mis au point l'élaboration des données numériques au service de la cartographie réelle afin de faire ressortir une carte de vulnérabilité global nous permettant ainsi de mettre en évidence les quartiers à risque d'immersion. La clé d'une bonne réaction est l'anticipation par la prévention.

**Mots clés :** Diagnostic, Inondation, Khat El Oued, SIG, Vulnérabilité.

# **Introduction Général**

# **Chapitre I**

## **Présentation de la Zone d'Étude et Démarche Méthodologique**

**Chapitre III**  
**Présentation de Logiciel SIG**  
**Analyse et Traitement des**  
**Donnés**

## **Conclusion Général**



## **Chapitre IV**

### **Résultat, Analyse et Discussion**



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIE**