



REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE AMAR THELIDJI- LAGHOUAT

FACULTÉ : GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT : GÉNIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

OPTION : STRUCTURE

Intitulé :

IDENTIFICATION DE LA VULNERABILITE DES STRUCTURES
AU DEBORDEMENT D'OUED MESAAD AU NIVEAU
DU QUARTIER DE KSAR LEBZAYM. LAGHOUAT

Présenté par :

CHIBOUT wissal aicha & SEHAIRI Zoubida

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
<i>M^{me} B.BENCHAA</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>
<i>M^r A.FERHAT</i>	<i>MAA</i>	<i>Examinateur</i>
<i>M^{me} F.BOULAGHMEN</i>	<i>MAA</i>	<i>Promotrice</i>
<i>M^r A.GUERROUDJ</i>	<i>MAA</i>	<i>Co-Promoteur</i>

Promotion Septembre - 2021 -

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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 M^{me} F.Boulaghmen pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet de fin d'étude, qui nous a soutenus moralement et cognitivement et a tenu à notre réussite tout au long du projet. On la remercie infiniment pour tous les conseils instructifs et judicieux. Nous tenons sincèrement à la remercier pour sa disponibilité toute au long de ces 06 mois de projet de fin d'étude.

Je remercie les institutions et services qui ont contribué à ce projet, qui sont représentés au sein de la Direction de la Protection-Civil de Laghouat.

*Nous tenons à remercier également les membres de jury : **Pr B.BENCHAA** et **Mr A.FERHAT** pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail afin d'achever à bien de mémoire et le rendre à la disponibilité des promotions futures*

Nous exprimons nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie-Civil qui, grâce à leurs conseils et à leurs efforts pendant toutes ces années de formations, nous ont permis de mener à bien la Formation pour l'obtention du Diplôme de Master 2 en Structures et nous ont permis de nous accomplir comme étant cadre toute en gardant des souvenirs inoubliable au sein du département de Génie-Civil, Faculté de Génie-Civil et d'Architecture Université Amar Telidji.

Un grand merci pour les bon moments de fraternité, de complicité ainsi que de compétitivité au sein de la Promotion Master 2 Structures 2021

Dédicaces

*A Ma Très Chère Mère : **Mokhbi. Dalila***

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 ton 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 tendresse. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te faire durer ton bonheur à mon tour.

*A Mon Très Cher Père : **Chibout. Mohamed-Fateh***

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 je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté. Que Dieu tout puissant te préserve et t'accorde santé, bonheur et quiétude de l'esprit.

*À mon unique cher frère : **SAMIH** dont tous repose sur ses épaules. À mes très chères quatre sœurs : **SABIL, YOUMNA, ROAA, RAHIK** dont la vie ne peut être rose sans elles, Merci pour tout
Je dédie ce modeste travail aux défunts :*

*À la mémoire de ma chère grand-mère **Kiboub Aicha** qui, grâce à son soutien jadis, je suis parvenue à forger ma personnalité, et je présente également ce travail à la mémoire de ma tante **Chibout, Alia** dont elle est toujours vivante dans mon cœur.*

*A ma grande famille : la famille **Chibout** et la famille **Mokhebi**.*

À la promotion Master 2 Structures 2020/2021 dont on a passé des moments inoubliables

Chibout Aicha -Wissal

Dédicaces

*A Mon Très Cher Père : **Sehairi Nacer-Eddine***

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 tout Puissant te garde pour moi en bonne santé et une longue vie

*A Mon Très Cher Mère : **Touhami Kheira***

La lumière de ma vie, la source de ma joie, ma confidente et mon amie pour toujours, celle que j'aime plus que tout et qui m'a soutenu tout au long de ce projet,

*À mes très chère six Sœurs que j'adore et qui font la fierté de mon père et dont je partage beaucoup de choses, à **Fatima, Sarah, Iman, Noura et Aicha.***

*Je dédie ce modeste travail à ma grande famille pour leurs conseils, aides, et encouragements et dont je suis fierte: la famille **Sehairi**, la famille **Touhami** et la famille **Chettih.***

*A ma chère binôme: **Chibout. Wissal** Celle qui a été à mes côtés le long de ce projet de fin d'étude merci du fond du cœur.*

*À mes amies très chères **B. Latifa, R. Malika***

À la promotion Master 2 Structures 2020/2021 dont on a passé des moments inoubliables

Sehairi- Zoubida

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 oued Mesaad. 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 ksar lebzayem , chetit et Ksar faroug menacées par l'effet de débordement d'Oued Mesaad. Pour cela, cette étude s'appuie sur des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans la zone de El-Oued Mesaad 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 : Oued -Mesaad, Vulnérabilité, Inondation, SIG

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 Oued Messaad. 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 ksar lebzayem, ksar faroudj, chtyet neighborhoods threatened by the overflow effect of Oued Messaad. However, this study is based on theoretical that can be applied and verified in the oued Messaad 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: oued messad, Vulnerability, Flood, SIG Vulnerability

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 واد مساعد. 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: قصر البرزائم وقصر الفروج الشطيط المهدة بتأثير الفيضان في وادي مساعد لهذا ، تستند هذه الدراسة إلى مفاهيم نظرية يمكن تطبيقها والتحقق منها في منطقة قصر البرزائم 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:، هشاشة، فيضانات ،دراسة حول واد مساعد , SIG ,

SOMMAIRE

PAGE

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Introduction Générale.....	01

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES INONDATIONS ET LA VULNÉRABILITÉ DES STRUCTURES

I.1 La vulnérabilité	03
I.1.1 Type de vulnérabilité	04
I.1.2 Evaluation de la vulnérabilité	04
I.1.2.1 Démarches quantitatives	05
I.1.2.2 Démarches qualitatives	05
I.1.2.3 La vulnérabilité des bâtiments	05
I.1.2.4 La vulnérabilité liée à la sécurité des personnes	05
I.1.2.5 La vulnérabilité liée au retour à la normale	06
I.1.2.6 La vulnérabilité liée aux effets domino	07
I.1.2.7 La réduction de la vulnérabilité au risque inondation.....	07
I.1.2.8 La vulnérabilité dans les bâties en brique de terre (toub)	08
I.2 Inondation	09
I.2.1 Paramètres influençant les inondations	11
I.2.2 Influence des facteurs naturels.....	11
1.3. L'aléa	12
1.4. Principaux paramètres spécifiant l'aléa aux inondations	12
1.4.1. Période de retour de crue	13
1.4.2. Hauteur et durée de submersion	13
1.4.3. Vitesse du courant	13
1.4.4. Volume de matière transportée	13

CHAPITRE 2

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DÉMARCHE

MÉTHODELOGIQUE

II.1 Introduction	15
II.2.Présentation de la ville de Laghouat	15
II.2.1 Étymologie	15
II.2.2 Situation administrative.....	16
II.2.3 Situation géographique	17
II.2.4 Situation climatique.....	18
II.2.5 L'accessibilité à la wilaya.....	19
II.2.6 Géologies de la ville de Laghouat	20
II.2.7 Les caractéristiques socio-économiques	21
II.3 Présentation de la zone de d'oued Mesaad	21
II.3.1 Etude de Oued Mesaad.....	22
II.3.1.1 Situation géographique.....	22
II.3.1.2 Climatologie	22
II.3.1.3 Hydrogéologie.....	23
II.3.1.4 La population	23
II.4 Activité économique.....	23
II.5. Caractérisation de la région de 'ksar-faroudj'	23
II.6 Description de la crue du 07 septembre 2019.....	24
II.6 Problématique et état des lieux.....	25

CHAPITRE 3

Matériels et méthode de calculs des crues

III.1 Étude des crues de l'Oued Mesaad.....	28
III.1.1 Étude du bassin versant.....	28
III.1.2 Projection du problème	30
III.2 Définition de SIG	31
III.2.1 Définition les outils de SIG.....	31

III.2.2 Choix et fonctions du SIG	32
III.2.2.1 Concepts fondamentaux de Map-Info	32
III.2.3 Présentation de Map-Info.....	37
III.2.4 Présentation du logiciel HEC-RAS	39
III.2.4.1 Méthodologie de travail en HEC-RAS	39

CHAPITRE 4

RÉSULTATS, ANALYSE ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction	42
IV.2 Constations et description urbaine de la zone d'étude	42
IV.3 Conditions hydrauliques	42
IV.4 Modélisation	43
IV.4.1 Identification des zones à risque dans la zone d'étude	43
IV.4.1.1 Résultats de la cartographie sous Map-Info	43
IV.4.1.2 Résultats de la cartographie sous Arc-GIS	44
IV.4.1.3 Résultats de la modélisation sous Hec-Ras	45
IV.5 Solutions et Propositions.....	49
Conclusion Générale.....	53
Références Bibliographie.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1. Variabilité du débit selon l'intensité	29
Tableau 2. Évaluation des hauteurs d'eau le long de la zone d'étude	51

Liste De Figures

Figure 1. Risque relationnel multidisciplinaire.....	03
Figure 2. La vulnérabilité la zone de Ksar Lebzayem.....	08
Figure 3. Les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment	09
Figure 4. Type de catastrophes survenues dans le monde de 1996-2005.....	10
Figure 5. Problèmes et Enjeux associés aux Inondations.....	11
Figure.6. Vue sur la barrière végétale existante protégeant La ville de Laghouat des inondations...	15
Figure 7. Situation de Laghouat au niveau national	16
Figure 8. Carte administrative de la wilaya de Laghouat.....	17
Figure 9. Situation Géographique des différents sites de la wilaya	18
Figure 10. Températures minimum et maximum de la ville de Laghouat (ANRH).....	18
Figure 11. Précipitations en mm de la ville de Laghouat(ANRH).....	19
Figure 12. Laghouat aero port Ahmed Madeghri (intrent).....	19
Figure 13. Laghouat L'accessibilité terrestre	20
Figure 14. Carte géologique de la ville de Laghouat (Source : Monographie 2008).....	20
Figure 15. Vue satellitaire de la zone de KSER BZAYM	22
Figure 16. Vue sur la désertification de ksar Lebzayem vis-à-vis de Oued Mesaad.....	23
Figure 17. La crue du 07 septembre	24
Figure 18. Vue sur l'ampleur de la crue du 07 Septembre 2019	25
Figure 19. Les désordres du mur en brique de terre (Toub) à Ksar Lebzayem.....	26
Figure 20. Le quartier à risque concerné par le débordement d'Oued Mesaad.....	26
Figure 21. Définition d'un Système d'Information Géographique.....	31
Figure 22. Présentation du logiciel Map-Info [Google image].....	33

Figure 23. Superposition sous un SIG.....	33
Figure 24. Exemple de sélection.....	34
Figure 25. Carte satellitaire de la ville de Laghouat. Quartie ksar lebzayem [Google Earth- Map-Info]	35
Figure 26. La représentation graphique de l'interface utilisé de Map-Info.....	37
Figure 27. La représentation graphique des bâtiments à risque sur photo satellitaire par Map-Info...	38
Figure 28. La conversion du fichier du format Map-info Tab en format ship.....	39
Figure 29. Introduction des données de simulation de l'Oued.....	40
Figure 30. Insertion des informations sur le débit d'eau de crue.....	40
Figure 31. Section transversale et profondeur de l'eau à la station n°1400.50	42
Figure 32. Présentation de la section réelle d'Oued Mesaad.....	43
Figure 33. Identification des zones à risque d'inondation sous Map Info.....	44
Figure 34. Représentation de la carte sous MNT superposé à la carte satellitaire dans Arc-GIS.....	45
Figure 35. Représentation de la simulation d'inondations sous Hec-Ras.....	46
Figure 36. Section transversale et profondeur de l'eau à la station.....	47
Figure 37. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras. Section.....	48
Figure.38. Photo réelle recueillis de témoins résidants à la section en Amont de Oued Mesaad.....	48
Figure 39. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras. Section.....	49
Figure 40. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras.....	49
Figure.41. Identification urbaine de la section.....	51

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Les inondations sont à l'origine de Plus de 80% des catastrophes naturelles enregistrées dans le monde. La problématique de ce travail est d'identifier les différentes modalités pouvant être mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité existante des habitations des quartiers Ksar Lebzayem et qui sont menacés par l'effet de débordement d'Oued Mesaad. Pour cela, cette étude s'appuie sur des concepts théoriques susceptibles d'être appliqués et vérifiés dans la zone d'étude.

Afin de mettre en évidence notre problématique, Il a été traité plusieurs opérations de recensements, collectes de données et sorties sur terrain avec prise de notes de différents sondages afin de mettre en évidence les paramètres qui nous permettront par la suite de développer l'étude numérique.

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 Ksar Lebzayem, la commune de Laghouat. Il est présenté la méthodologie à suivre des zones vulnérables ainsi que les différentes phases pour réaliser le système d'information géographique SIG. Le diagnostic de la vulnérabilité de bâti existant face aux inondations va nous permettre de constater que les trois indicateurs suivants : la source du risque, la morphologie urbaine et le lever topographique, qui ont une relation directe avec l'aléa inondation et le milieu urbain caractérisent le site étudié. Pour cela il a été 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.

En conséquence, nous allons présenter les outils de calculs et la méthodologie adoptée afin d'établir les applications nécessaires des différentes phases pour réaliser les cartes de vulnérabilité selon l'utilisation des SIG.

Le résultat attendu est de définir l'enveloppe des zones inondables pour les crues de différentes périodes de retour, en exploitant les résultats obtenus lors de l'étude hydrologique. En outre, On s'intéresse aux conditions d'écoulements sur tous les secteurs pris comme enjeux et les zones jouant un rôle important dans la propagation des crues (secteurs de confluence, zones d'expansion des crues).

CHAPITRE 1

***GÉNÉRALITÉS SUR LES INONDATIONS ET LA
VULNÉRABILITÉ DES STRUCTURES***

I.1 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.

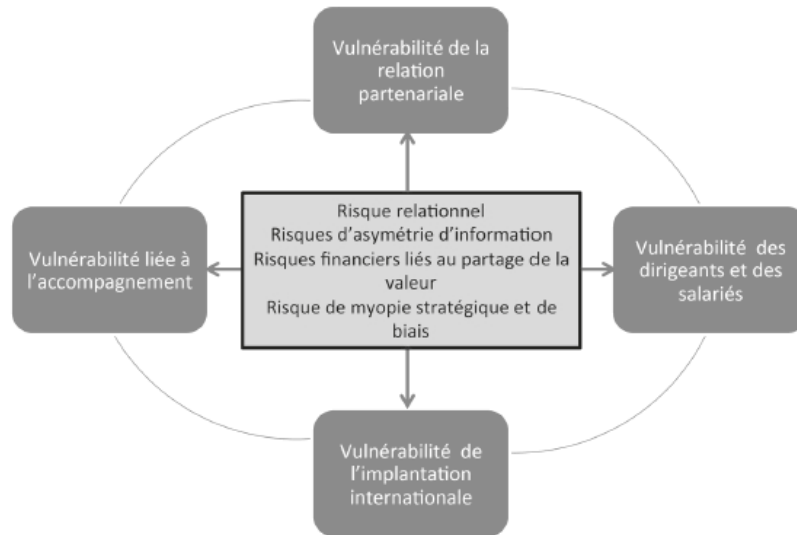


Figure 1. Risque relationnel multidisciplinaire

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...)[1]. 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 recouvrer son fonctionnement après la crise. Les mesures et travaux de réduction

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

de la vulnérabilité concernent principalement les vulnérabilités physiques et systémiques [2]. 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.

I.1.1 Type de vulnérabilité :

Cette vulnérabilité décline en [3]:

- 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.).

I.1.2 Evaluation de 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) [3]. 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 [2]. 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

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

et analyser les effets dommageables de l'aléa sur les enjeux. Différentes démarches méthodologiques permettent d'analyser et d'évaluer la vulnérabilité :

I.1.2.1 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 dévaluer des biens et des courbes d'endommagement. [4]

I.1.2.2 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. [4]

I.1.2.3 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.)

I.1.2.4 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[5].

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

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 ruptures de canalisations.
- A l'intoxication par des produits polluants (stockage de matières dangereuses) ou 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 déformation 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 son dissimulées par la présence d'eau résiduelle (risques de chute, blessure voire de noyade).

I.1.2.5 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. 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. 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) [5]. Le tableau I 3 suivant propose une classification des degrés de vulnérabilité susceptibles d'être atteints

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

du point de vue des délais de retour à la normale du fait de l'endommagement du bâtiment

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.

I.1.2.6 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 [5].

I.1.2.7 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 [5]. 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 [5].

- **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 [5]:

- **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 bleu : les mesures concernent les fluides et les équipements.
- En vert : les mesures concernent l'environnement du bâtiment.



Figure 2. la vulnérabilité la zone de Ksar Lebzayem

I.1.2.8 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 [6].

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.

- **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 conditio [7] :

- 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. Montre les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment. Plus-le matériau est poreux, plus les précautions ne doivent être drastiques.

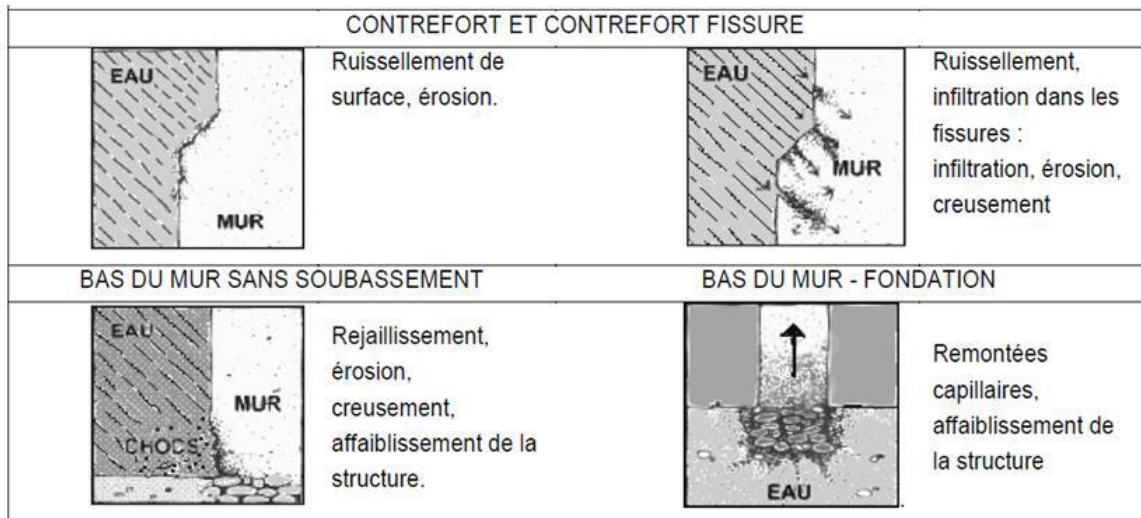


Figure 3. Les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment [7]

- Les désordres du mur en brique de terre (Toub) [8]:

- Déchaussement des briques de terre crue. → Diversement 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).

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[8].

I.2 Inondation :

Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles qui causent des pertes et des dommages matériels dans le monde. Elles constituent le risque le mieux distribué sur la

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

planète (White, 1999). De plus, leur grande fréquence dans certaines régions du globe, leur dépendance face aux changements climatiques et la pression démographique de plus en plus forte sur les rives des cours d'eau en font des événements de plus en plus préoccupants et difficiles à gérer. Selon l'Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI), pour la période 1996-2005, environ 80 % des catastrophes naturelles étaient d'origine météorologique ou hydraulique, et les inondations auraient lors de cette décennie affecté en moyenne 66 millions de personnes par an entre 1973 et 1997. Ce sont les catastrophes naturelles qui produisent le plus de dégâts [9].

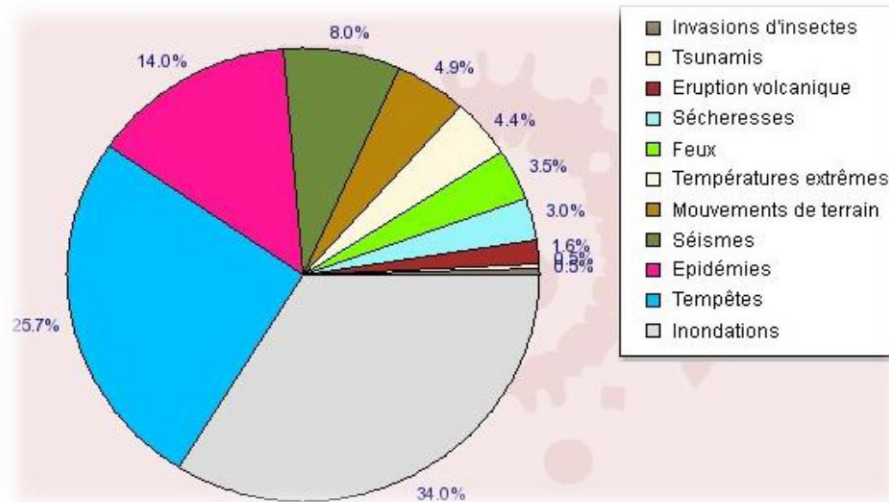


Figure 4. Type de catastrophes survenues dans le monde de 1996-2005 (Source: EM-DAT):

The OFDA/CRED International Disaster Data base, 2008 L'inondation est l'un des risques majeurs naturels présentés par une submersion, plus au moins Rapide, d'une zone habituellement hors d'eau, pouvant être habitée, avec des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement variables. « L'inondation est une submersion (rapide ou lente) d'une zone pouvant être habitée. Elle correspond au débordement des eaux lors d'une crue. Une crue correspond à l'augmentation du débit d'un cours d'eau, dépassant plusieurs fois le débit moyen ; elle se traduit par une augmentation de la hauteur d'eau » (XAVIER .L et JEAN.P) [10].

D'Oued Mesaad, le choix du modèle s'est donc porté sur un modèle hydrologique distribué. Ce modèle, appelé RRI (Rainfall-Runoff-Inondation model) développée par le Centre international de gestion des risques associés à l'eau (ICHARM). Le modèle a été appliquée dans plusieurs bassins versant dans le monde (Thaïlande, Pakistan, Japon, Indonésie, etc...). Le modèle RRI simule simultanément les processus de ruissellement pluvial et les inondations en deux dimensions grâce aux équations de l'onde diffusive il permet de calculer les hauteurs d'eau dans chaque cellule régulière d'une grille et à

chaque pas de temps, et peut donc simuler la propagation dynamique des ondes de crue sur les plaines inondables à topographie complexe. La première partie de ce mémoire présente une recherche bibliographique sur les problèmes et enjeux associés aux inondations, dans la deuxième partie nous présentons le modèle RRI. La troisième et quatrième partie seront réservées respectivement la présentation de la région d'études la mise en oeuvre du modèle RRI sur le domaine d'étude. La cinquième et dernière partie est consacrée à la présentation et la discussion des résultats obtenus[10].

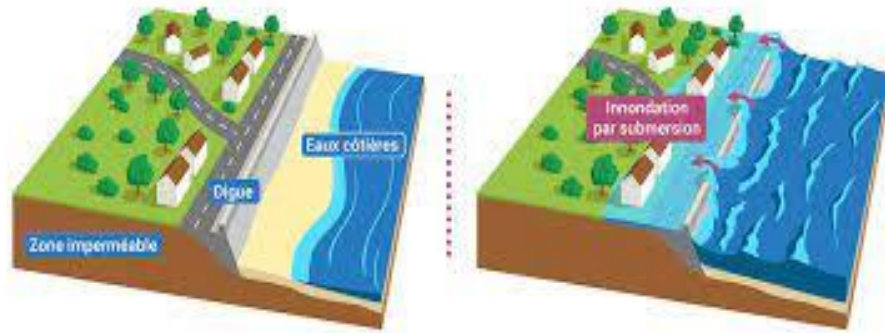


Figure 5. Problèmes et Enjeux associés aux Inondations

I.2.1 Paramètres influençant les inondations :

Un grand nombre de facteurs autres que celles dictés précédemment intervient, souvent de façon Aggravante, dans les dégâts occasionnés par les inondations [13]. Parmi ces derniers, on peut rappeler l'influence des facteurs naturels et anthropiques.

(Ledoux et al, 2006)[11].

I.2.2 Influence des facteurs naturels:

Surface et forme du bassin versant : ainsi pour une même surface, l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente suivant la forme du bassin versant ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « coefficient de compacité ». En principe plus cet indice est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées (De France, 2009)[11].

Configuration du relief des lits des cours d'eau : La pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue Si le profil en long du cours d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil entraver est aussi important ; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

cours d'eau à profil plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements.

Densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant : ainsi la densité des cours d'eau était fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméables ont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses (Baroco, 2006)[12]. Facteurs biogéographiques : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous-couche

1.3. L'aléa :

L'aléa semble le terme le plus adéquat pour définir le phénomène physique, naturel et non maîtrisable, d'occurrence et d'intensité donnée (définition du Ministère algérien de l'environnement). Cette définition révèle le caractère hasardeux du risque et le fait de différencier de sa définition linguistique qui le présente comme un risque et non pas un de ses composantes. Dans notre cas où le risque est l'inondation l'aléa n'est que le phénomène naturel de crue non maîtrisable d'occurrence et d'intensité aléatoires, cette prévision est probabiliste et la détermination de l'intensité et la fréquence de crue est basé sur le traitement stochastique de l'historique des événements où la longueur de la série observée joue un rôle principal sur la validité des prévisions. Néanmoins la notion de période de retour est purement statistique et elle ne correspond qu'à l'appréciation de l'intensité du phénomène en comparaison à d'autres

1.4. Principaux paramètres spécifiant l'aléa aux inondations :

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation:

1.4.1 Période de retour de crue :

La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène; $T=1/P$. Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est

Chapitre 1 Généralité sur les inondations et la vulnérabilité des structures

vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants. Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q 10) et la crue centennale (Q 100). [15].

1.4.2 Hauteur et durée de submersion :

La hauteur d'immersion peut avoir un impact important sur le cadre, notamment lorsqu'il dépasse la taille de référence. Lors de plongées prolongées, des problèmes d'assainissement peuvent survenir: l'eau est souvent sale, contaminée par les égouts et parfois du carburant s'écoule du réservoir. Pour l'homme, une eau d'une hauteur de plus de 50 cm est généralement considérée comme dangereuse. Par exemple, une voiture flotte sur une surface d'eau de 30 cm de haut [15].

1.4.3 Vitesse du courant :

La vitesse de l'écoulement est déterminée par la pente du fond et sa rugosité, le débit dépend du couple hauteur / vitesse. Par exemple, à partir de 4 m / s, la vitesse du courant devient dangereuse pour les personnes, ce qui peut entraîner le détournement ou la blessure du cours d'eau par les objets transportés. Haute vitesse [15].

1.4.4 Volume de matière transportée :

Ce volume est communément appelé "transport continu". Ce sont les matériaux (argiles, limon, sable, gravier, galets, rochers, etc.) qui se trouvent dans les cours d'eau et dont le transport peut être effectué soit en se suspendant dans l'eau, soit en se déplaçant vers le bas du lit pour le plaisir de force actuelle. Le risque d'inondation d'une rivière précipitée sera essentiellement il se caractérise par une vitesse de courant élevée et un transport permanent puissant. [15].

CHAPITRE 2
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DÉMARCHE
MÉTHODELOGIQUE

II.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 ».

II.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 km², elle est dotée d'une population de 520.188 habitants.

II.2.1 Étymologie :

Laghouat, **El-Laghouat** 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 » [14] .



Figure 6. Vue sur la barrière végétale existante protégeant

La ville de Laghouat des inondations (Source: archive).

II.2.2 Situation administrative:

La wilaya de Laghouat occupe une position importante vue sa situation à l'inter section des 02 axes principaux :

- 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 552 m [13]. 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.



Figure 7. Situation de Laghouat au niveau national (Source : internet)

La ville de Laghouat est limitée administrativement par [14]:

- 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**.

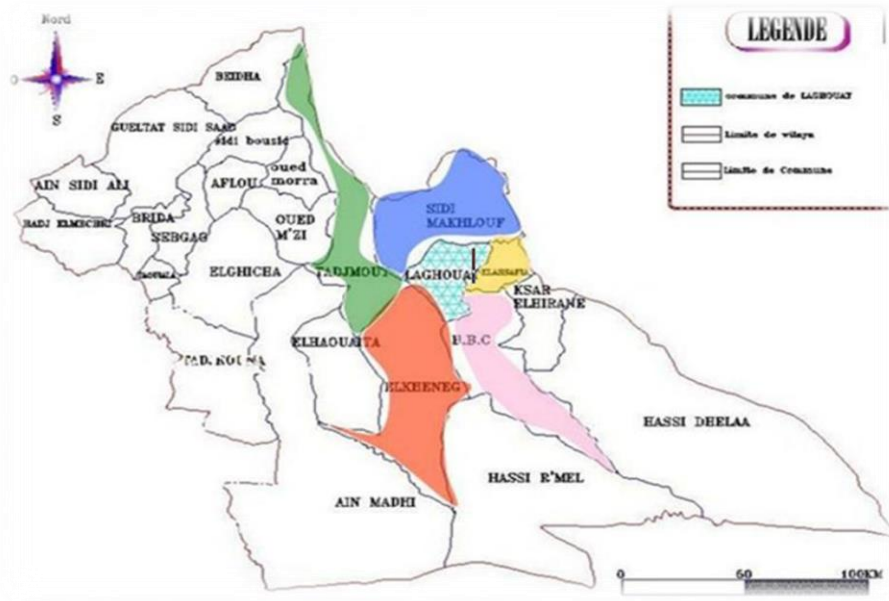


Figure8. Carte administrative de la wilaya de Laghouat.

La wilaya est répartie sur 10 Daïras (circonscriptions administratives)[15].

1. Aflou 6. Hessi Ramel
2. Ain Mahdi 7. Ksar El Hirane
3. Brida 8. Laghouat
4. El Ghicha 9. Oued Morra
5. Guellet Sidi Saad 10. Sidi Makhloof

II.2.3 Situation géographique :

- Latitude: 33-46N.
- Longitude: 002-56E.
- Altitude: 765 m.

Laghouat est le lieu où les monts de l'Atlas et le Sahara conjuguent leur beauté et leur charme étranges. Au Sud, en dehors de l'Oasis, à perte de vue, c'est le désert ; c'est l'immensité inconnue et redoutable, c'est le silence extraordinaire et mystérieux. 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". La wilaya de Laghouat se distingue par la diversité des régions géographiques :

- les montagnes : **Aflou**, et ses environs.
- les plateaux : **Sidi Makhloof, Laghouat, Mékhareg...**
- le désert : **Hessi Ramel, Hessi Delà ...**

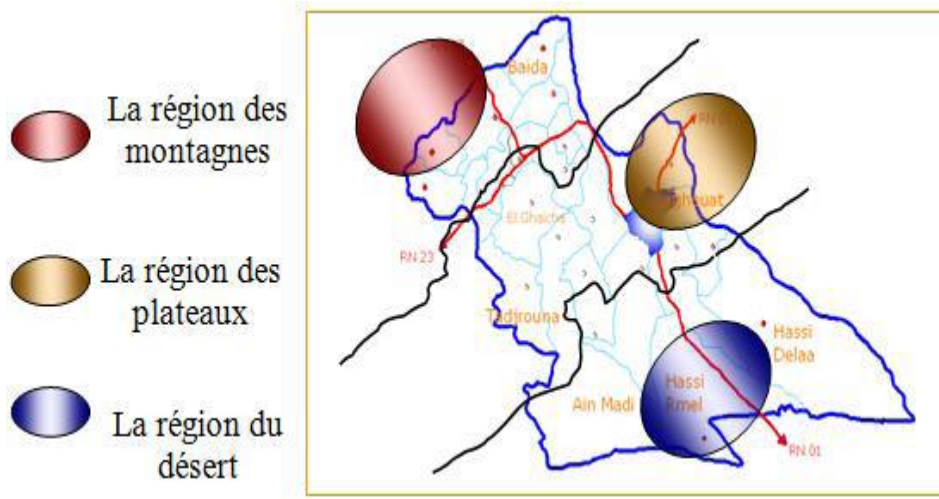


Figure 9. Situation Géographique des différents sites de la wilaya [16].

II.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. Des gelées sont Observées pendant l'hiver les températures sont basses, ils avoisinent le 0° Pendant la nuit. La valeur de précipitation reste très faible et très variable d'une année à une outré[17].



Figure 10. Températures minimum et maximum de la ville de Laghouat (ANRH)

➤ Pluviométrie:

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée à la station hydro métrologie de Laghouat est de 167 mm par an. Les pluies tombent environ 36 jours pendant la période hivernale. D'autre part il est important de signaler que des pluies torrentielles peuvent

Chapitre 2 Présentation de la zone d'étude et démarche méthodologique

être enregistrées, c'est-à-dire une tranche de 20 à 25 mm au moins de précipitation en vingt quatre heures[17].

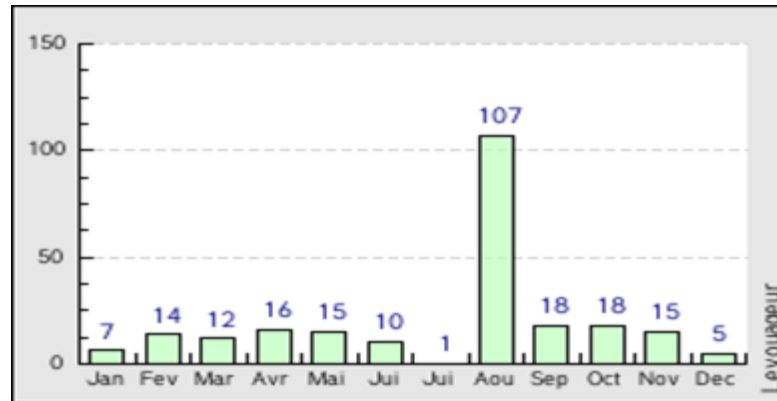


Figure 11. Précipitations en mm de la ville de Laghouat(ANRH)

➤ 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 [18].

II.2.5 L'accessibilité à la wilaya:

➤ Infrastructure Aéroportuaire:

La Ville est dotée d'un aéroport situé à 14 Km de la Ville de Laghouat, toutefois son activité reste limitée et pour cause le prix du billet[19].



Figure 12. Laghouat aéroport Ahmed Madeghri (intégré)

➤ Infrastructure routière :

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



Figure 13.Laghouat L'accessibilité terrestre [19]

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

II.2.6 Géologies de la ville de Laghouat :

Le territoires de la commune fait partie de l'ensemble des plateaux salaires dont les différentes formations géologiques mumbles et gréseuses.

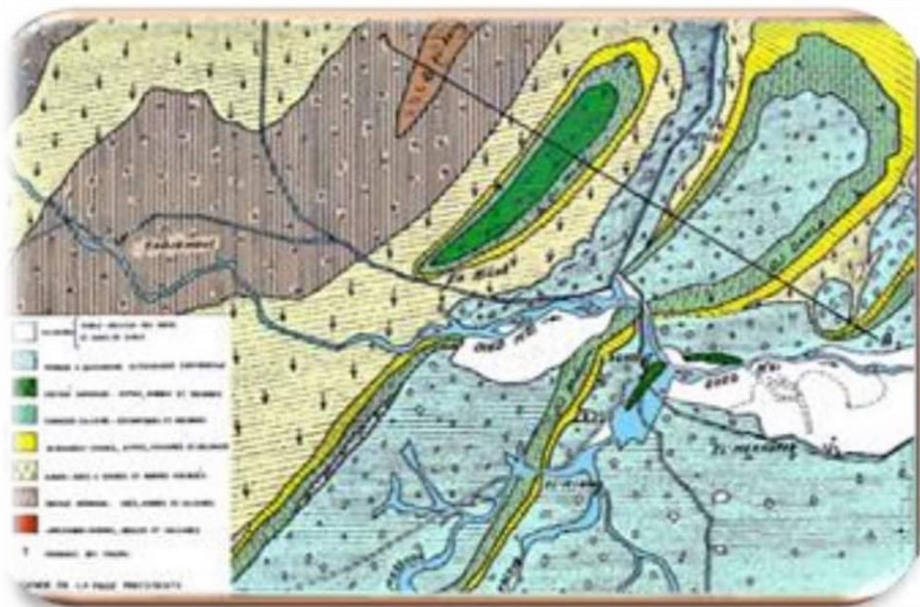


Figure 14. Carte géologique de la ville de Laghouat (Source : Monographie 2008)

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 profane échancrure. 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 nappes phréatique (10 mètres au nord, 20 mètres au Sud). Les quelques accumulations sont situés en général hors des zones non aedificandi[20].

II.2.7 Les caractéristiques socio-économiques :

La ville de Laghouat abrite 520.188 habitants sur une superficie de 25.052 km² , avec une densité de 21 habitants au km² selon le recensement de 2008. Son taux d'urbanisation à fin de décembre 2010, est de 65.59%.

II.3 Présentation de la zone de d'oued Mesaad :

Dans cadre de la protection de l'environnement la cadastre s'est intéressée à l'épuration des eaux usées de Laghouat la station d'épuration projetée au lieu ditumamoura (sud ouest de la ville) se voit menacer par les inondations exceptionnelles des crues de l'oued Mesaad .ces inondations peuvent toucher la zone industrielle les localités urbaines environnant l'oued[21].



Figure 15. Vue satellitaire de la zone de KSER BZAYM (Source : Google Earth).

II.3.1 Etude de Oued Mesaad:

La zone d'étude dans l'état de Laghouat. Oued Mesaad est situé dans un quartier résidentiel à environ un kilomètre au nord du centre-ville et couvre une superficie d'environ 27 hectares. La zone de Qasr Lebzayem surplombe la vallée avec un littoral d'environ un kilomètre, ce qui la rend menacée par les inondations de l'oued Mesaad.

II.3.1.1 Situation géographique:

La ville de Laghouat se situe au sud du massif oued –nail, traversée par la R .N.1 et sert de carrefour entre nord sud –est ouest du pays .elle est distante de 400 KM d'Alger (altitude:752).

II.3.1.2 Climatologie :

Le climat qui règne est caractéristique sahariennes. La pluviométrie moyenne annuelle atteint 167 mm. Des ouages de courtes durées et a des intensités considérables peuvent survenir. Les températures moyennes mensuelles enregistrent un minimum de 8°C en janvier et un max de 30°C en juillet[22].



Figure 16.vue sur la désertification de ksar Lebzayem vis-à-vis de Oued Mesaad

II.3.1.3 Hydrogéologie:

La nappe souterraine se situe a 80 m de profondeur environ la géologie de la zone comporte :

-une croute calcaire d'environ 1m d'épaisseur ; sable et galets ; grés moyen a grossiers (D'après des sondages fait au niveau de la zone industrielle).

Nous estimons que des couches persistent au niveau de l'axe de la digae.

II.3.1.4 La population :

Suivant le recensement de 77 la population comptait 40,156 hab. avec un taux de croissance de 3,5% les calculs montrent qu'elle peut atte-indre le chiffre de 125,600haba l'horizon 2030 [22].

II.4 Activité économique:

Laghouat est une chef-lieu de wilaya, l'implantation de la zone industrielle induit des postes d'emplois abondants, tel sont toutes les sociétés nationales et les unités économiques au niveau de la wilaya On compte aussi 6800 emplois a l'horizon future Ainsi, l'agriculture est développée, aux larges de oued élevage ovin est abondant et constitue une ressource potentiel.

II.5. Caractérisation de la région de 'ksar-faroudj' :

Elle borde les constructions urbaines de 'ksar-faroudj' en ouest, vers le sud se trouve la route R.N.1.elle derive ses eaux dans l'oued Mesaad au nord .elle est bordée vers l'est

Chapitre 2 Présentation de la zone d'étude et démarche méthodologique

par des élévations qui constituent le lit majeur de l'oued .une pente naturelle vers l'oued Mesaad permet un écoulement sensible des eaux, elle s'évalue à 2%environs.

II.6 Description de la crue du 07 septembre 2019:

La crue du 07 septembre 2019 est.la plus importante mesurée à Laghouat sur ces dernières années. Les quantités de pluie ont été de 80 mm durant 11 heures de précipitations. Vers 11 heures 00, l'écoulement du flux d'Oued Messaad a commencé hors de son parcours, provoquant ainsi des inondations dans plusieurs zones de Laghouat.



Figure 17.La crue du 07 septembre 2019 (source : internet)

- **Les enjeux physiques :**

Les inondations peuvent être dévastatrices et avoir des conséquences aussi bien économiques, sociales que politiques. Aux enjeux physiques s'agout 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 [23]:

- a. Bâtiment à usage d'habitation.

- b. Equipements.
- c. Infrastructure de transport.



Figure 18. Vue sur l'ampleur de la crue du 07 Septembre 2019

II.6 Problématique et état des lieux:

L'étude et diagnostic de la vulnérabilité du bâti existant face aux inondations du 07 septembre 2019 a fait ressortir une fragilité dans les bâtiments en pierres en bas du quartier de Ksar Lebzayem avec des structures en état de ruine de certaines anciennes bâtisses (Figure 19).



Figure 19. Les désordres du mur en brique de terre (Toub) à Ksar Lebzayem

Rappelons que le diagnostic de la vulnérabilité se base essentiellement sur les trois indicateurs suivants: la source du risque, la morphologie urbaine et le lever topographique [23]. Le choix de ces indicateurs est bien argumenté, par le fait qu'ils ont une relation directe avec l'aléa et le milieu urbain de la zone du bas de Ksar Lebzayem. Du point de vue technique et selon le témoignage d'experts dans la fonction des travaux publics à Laghouat, 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 20



Figure 20. Le quartier à risque concerné par le débordement d'Oued Mesaad

CHAPITRE 3

Matériels et méthode de calculs des crues

III.1 Étude des crues de l'Oued Mesaad:

Dans le cadre d'assainissement des cours d'eau, l'oued Mesaad a fait l'objet d'une étude ou a été constaté qu'après des âges de 20 m moyennant une intensité de 28 mm par heure, le tirant d'eau risque de provoquer des inondation au niveau des bas – fonds et menace une grande partie des équipements économiques existants, notamment les unités S. E . M. P. A. C. et la zone industrielle. Toutefois l'implantation d'une station d'épuration sur la frontière de l'oued demanda une éventuelle protection.

Donc, notre présente étude se résume en[22] :

- L'étude du bassin versant de l'oued Mesaad ses caractéristiques.
- Prédétermination du débit max de la crue d'orage.
- L'étude des possibilités d'intervention pour une protection adéquate de la zone industrielle, de la station d'épuration et du centre urbain côtoyant l'oued en aval [22] :

III.1.1 Étude du bassin versant:

A l'aide d'une carte au 1-100000 (carte d'Algérie, type 1965, zone de Laghouat) nous avons pu limiter le bassin versant en se référant au réseau hydrographique existant.

- Longueur du flue principal : 20 km²
- La surface totale du Bassin versant. : 260,5 km²

Détermination de la pente moyenne Im :

Après le tracé d'un profil le long de l'oued et plus précisément au niveau de notre exutoire. Il nous a été délivré des mesures à l'échelle toutes les variantes de la formule suivante :

$$I_m = 0.55 \% \quad L / \sum IK$$

I_m = pente moyenne (m-m) LK = longueurs élémentaires des tronçons

IK = pentes élémentaires suivant LK L = longueur totale [23].

Étude du débit max de crue :

1- Variabilité de l'intensité pluviale :

Dans notre cas, l'intensité pluviale présentée par l'administration au niveau de l'oued Mesaad s'évalue à 40 l/s/ha. Les calculs prise sur une gamme d'intensités 40 à 100 l/s/ha conformément aux conditions climatiques locales existantes. Ainsi il a été adopté une intensité de 80 l/s/ha. Pour évaluer cette intensité en mm/h, nous avons. 1 mm/h= 10 m³/h /ha [23]

Donc: 40 l/s /ha =0,04m³/s /ha =144 m³/h /ha =14,4 mm/h

Cette intensité est sujette à d'énormes pertes par infiltration et interception, nous l'évaluerons à 4 à 5 mm/h[23].

2_ Etude du tirant d'eau sur une section rectangulaire:

Ayant un débit max qui transite au niveau de la section rectangulaire de largeur B proposée ,il est prescrit d'évaluer la hauteur correspondante au niveau de cette section. $Q = S/ V. = S. C$

_ Le coefficient de Chézy :

$$C = 1 \quad R = 1 / 6$$

Avec :

R : rayon hydraulique et coefficient de $\lambda = B. H / B + 2 H$

R = section mouillée / périmètre mouillé

H est le tirant d'eau au niveau de la largeur B

Puisque B est infiniment grand devant H (pour le cas d'Oued Messaad)

(B de l'ordre des centaines de mètres, et H de l'ordre du mètre).

Il est procédé à une amplification qui nous permet de l'utiliser comme suit :

$$H \leq B = B + 2H \neq B$$

Donc : ce cas, R sera égale [23] :

$$R = B. H / B + 2H \quad B. H / E. H$$

ET, notre formule de débit se résume en t :

$$Q = B . H / B . 2H \approx B. H / B \approx H$$

$$Q = 1 / \eta . R^{1/6} . B. H . R$$

$$D'où \quad H = (Q / 1.49 . B)^{3/5} \text{ (en /m) (23)}$$

3_Discution de la hauteur d'eau le long de l'oued :

IL est supposé que la largeur B change le long de l'oued, la formule montre que pour chaque section B correspond un tirant Hb le long de l'oued, pour chaque débit aussi (donc pour chaque intensité d'averse).

De ces résultats, il a été calculé suivant une gamme de débits Qm et une série de largeur B la hauteur correspondante Les résultats de la combinaison sont résumés dans le tableau ci-après [22].

Tableau 1 : Variabilité du débit selon l'intensité

Intensité S / ha	Intensité Mm/ h	Débit max de transite $Q_n = Q_{un} \cdot P_n$	Hauteur (m)du tirants d'eau en moyenne sur trois stations distant de 100m
40	14 ,4 / 10	115, 27	0,3806
60	21 ,6 / 17	195,96	0,5233
70	25 ,2 / 21	242,07	0,5934
80	28,8 /25	288 ,17	0,6593
90	32 ,4 / 28	322,75	0,7063
100	36 / 32	368,86	0,7653

III.1.2 Projection du problème :

1- données de départ :

Le raisonnement qui a été adopté se base sur deux hypothèses concrètes [23] :
Ayant choisi une section de passage gestions que tout le débit du bassin de l'oued Mesaad transite par la seule section B dont l'hypothèse d'un rectangle de section B et de hauteur H [23].

2 -Caractérisation de toute la zone de ksar lebzaym :

Selon trois profils en long nous avons essayé de mettre en relief le terrain naturel et évaluer la pente partielle suivant 3 principaux axes

Il définit la section de passage B se longueur moyenne est de 54 m, Elle se situe entre deux petites soulines avant pour cote de crête 50 ,00 m par rapport à la vallée d'une cote de 43,50 m.

Au niveau de cet axe, le programme de calcul donne une hauteur de 0,7653selon les couples de valeur (Q, B) de (368,86 m³/s 520).

Cette valeur a été calculée pour les conditions des plus défavorable car :

- 1- 368 ,86 m³/s correspond à une intensité pluviale $i = 100$ I/s /he qui est surestimé.
- 2- 520 m de largeur les sections est minimum car une moyenne se situe à548 m.

Cela favorise bien la hauteur d'eaux.

III.2 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. Un système d'information géographique, comme le montre la figure 20, 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].

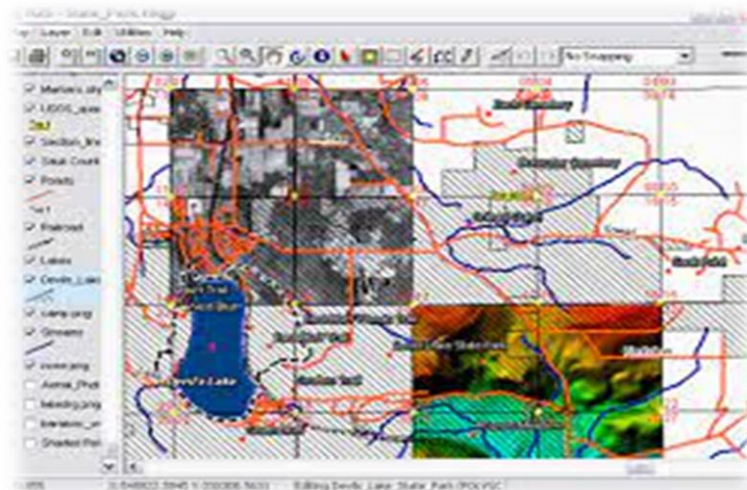


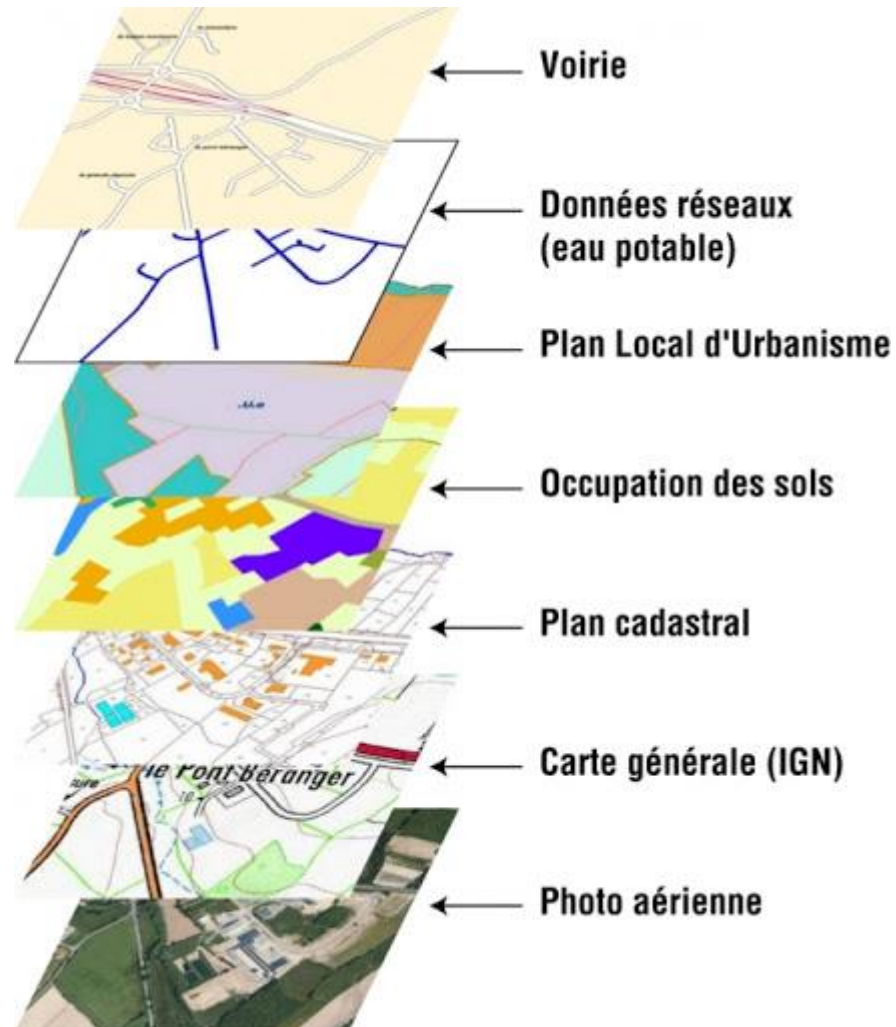
Figure 21. Définition d'un Système d'Information Géographique

III.2.1 Définition des 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 : Ge concept, Arc-View, Arc-Gis 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 Présentation de Logiciel SIG Analyse et Traitement des Donnés 44 logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leur choix devra être éclairé par [25]:

- Son coût 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.



III.2.2 Choix et fonctions du SIG :

III.2.2.1 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 Mapp-Info (figure 21) pour bénéficier d'un produit performant, évolutif, largement diffusé auprès des utilisateurs.

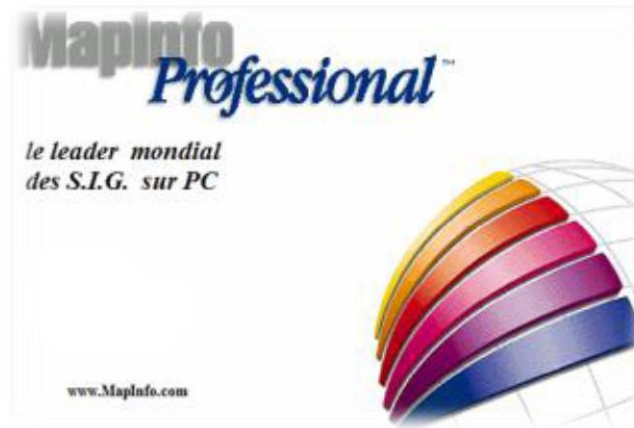


Figure 22. Présentation du logiciel Map-Info [Google image].

➤ 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. Présentation de Logiciel SIG Analyse et Traitement des Données 45

- De rapprocher entre elles deux cartes (deux plans) de sources différentes, de faciliter leur superposition comme c'est illustré dans la figure 23.

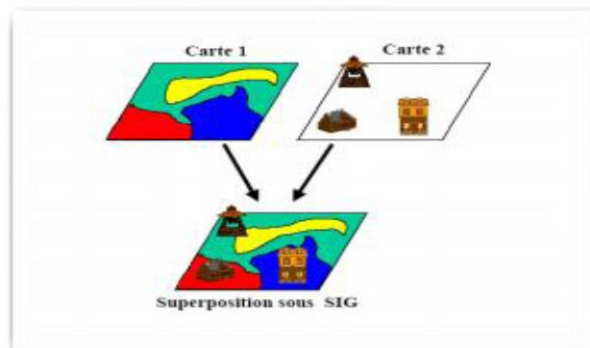


Figure 23. Superposition sous un SIG[26].

- 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 24.

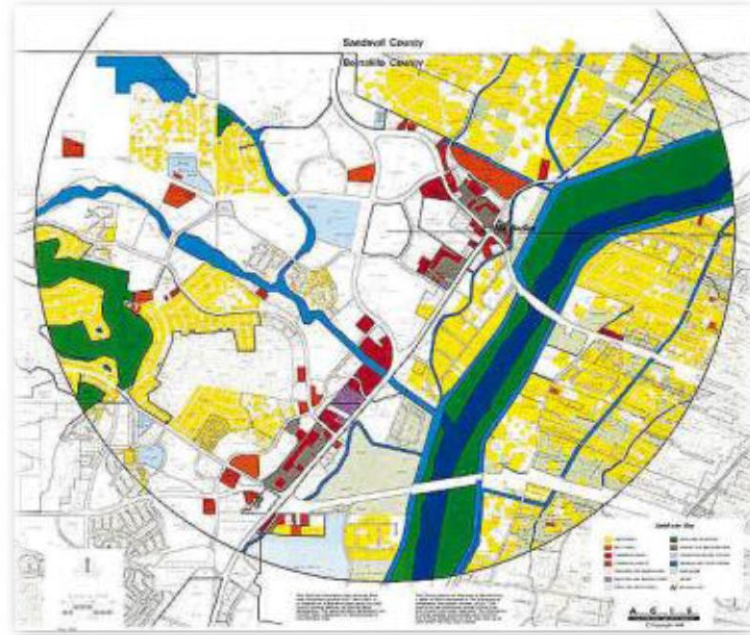


Figure 24. Exemple de sélection[26].

- 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.

L'avantage du SIG :

Les systèmes d'information géographique (S.I.G) présentent 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. 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).

❖ **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 des 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 25.



Figure 25. Carte satellitaire de la ville de Laghouat. Quartie ksar lebzayem [Google Earth- Map-Info].

❖ **Pour les grandes échelles [30]:**

- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul des 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).

❖ **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. 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].

❖ **Méthodologie de travail en SIG**

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.

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

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 ksar Lebzayem, wilaya de Laghouat, dans un souci de prévention, à travers l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG).

- Rechercher les points vulnérables sur un MNT (Modèles Numériques de terrain)

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.

-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 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.

III.2.3 Présentation de Map-Info

Map-Info est un logiciel SIG bureautique permettant de créer, traiter et manipuler l'information géographique par des requêtes spatiales et de les cartographier (*cartes, graphes, cartesthématiques...*)

❖ Méthodologie de travail en Map-Info

Afin de travailler selon le logiciel Map-Info, nous effectuons d'abord plusieurs démarches en téléchargeant une carte satellitaire de la ville de laghouat, notamment la zone que nous souhaitons étudier au niveau du quartier ksar lebzayem, ainsi que le chemin de Oued Mesaad [31].

1- L'objectif est d'identifier les bâtiments résidentiels et les structures urbaines qui peuvent être endommagés en raison de la montée du niveau des eaux après l'inondation d'Oued Messad.

2-Dans les étapes suivantes, après avoir ouvert Map-Info, nous choisissons la projection, puis nous choisissons la première option, qui est (Longitude/Latitude). Il est présenté l'interface principale de travail [32]:

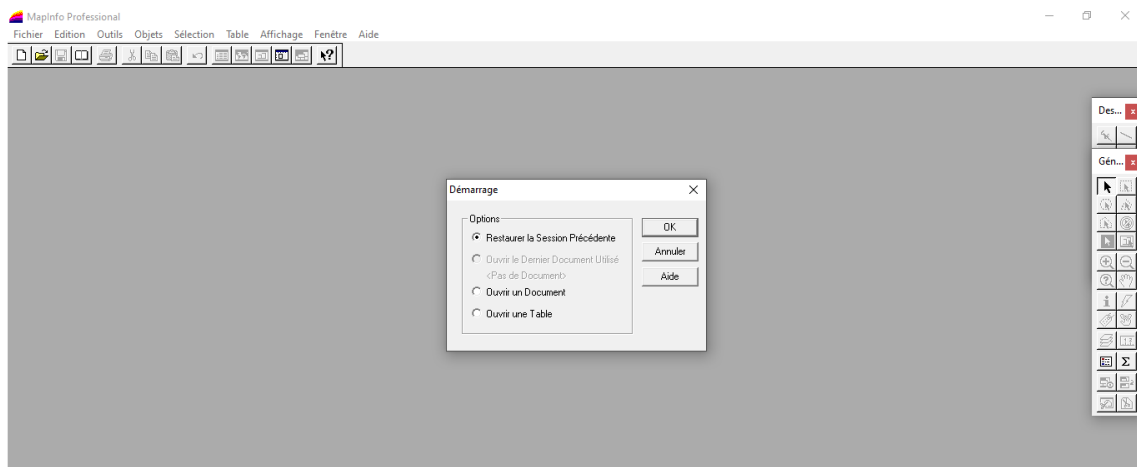


Figure 26. La représentation graphique de l'interface utilisé de Map-Info

3-Nous avons élaboré des cartes à l'aide de calques (habitations, Oued, ponts) sur lesquelles sont dessinés en complément à la carte d'origine. Sur ces calques se trouvent les indications de l'espace qu'occupent les habitations, l'oued et les ponts existants ; qui par la suite, seront utilisés pour la simulation sur le logiciel Hec-Ras.

Dans l'étape suivante, il est défini la zone urbaine ainsi que le cours d'eau de la vallée passant par la ville de Laghouat. Afin d'établir une carte numérique sur Map-Info, il est impératif de suivre les étapes citées ci-dessous.

- Etablir le tracé des limites des bâtiments de la zone urbaine située au niveau du quartier ksar Lebzayem en couleur rouge ;
- Dessiner les bords de la vallée (Oued Mesaad) en bleu ;
- Dessiner la représentation des ponts de la région en vert ;

Nous obtenons le résultat comme le montre la figure 26 suivante [32]:

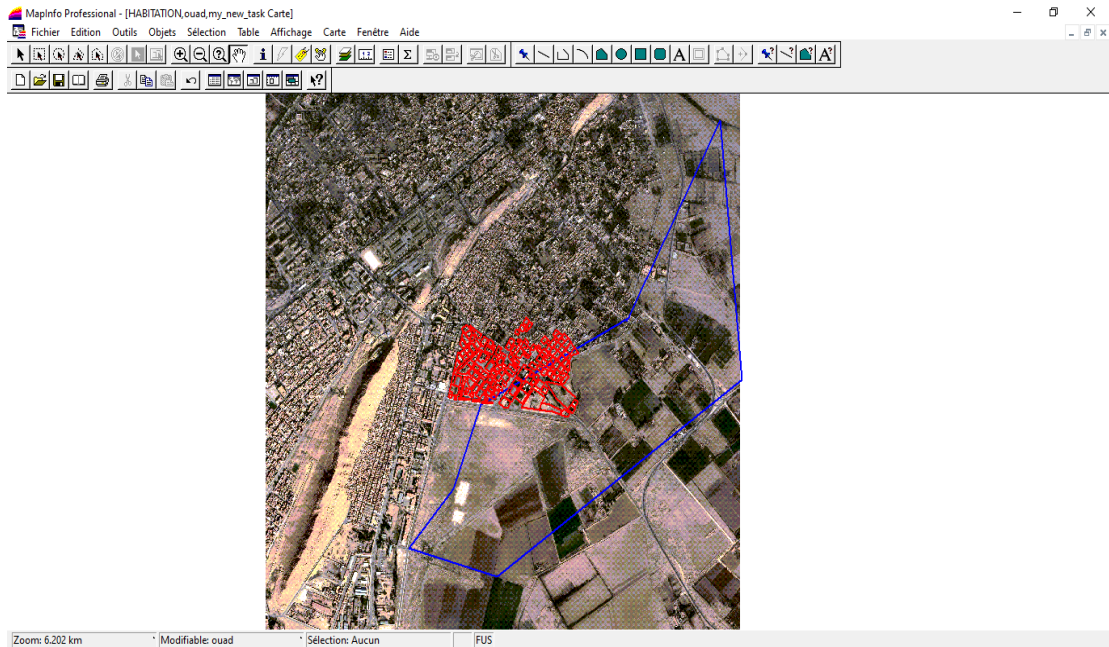


Figure 27. La représentation graphique des bâtiments à risque sur photo satellitaire par Map-Info

4- Ayant introduit les données sur Map-Info, nous faisons la conversion en fichier adapté au format HEC-RAS pour passer à un jeu de données afin d'établir une simulation en HEC-RAS telles que le débit de crue et les dimensions de la vallée (longueur, largeur, hauteur). Il est précisé que cela comprend la recherche des zones à risque qui peuvent être submergées lors d'une forte crue engendrant le débordement de l'Oued Mesaad et l'identification des bâtiments qui peuvent être endommagés par une éventuelle inondation [32].

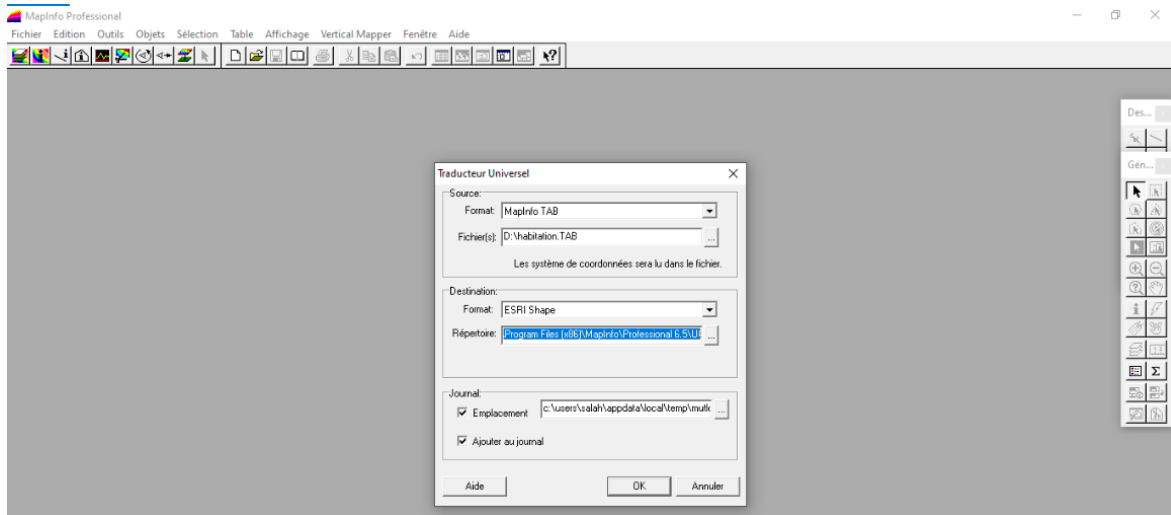


Figure 28. La conversion du fichier du format Map-Info Tab en format ship

III.2.4 Présentation du logiciel HEC-RAS :

Le logiciel Hec-Ras est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le modèle utilisé jusqu'à la version 5.0 était unidimensionnel, ce qui signifie qu'il n'existait pas de modélisations directe des variations hydrauliques dues aux changements de forme de la section transversal, à la présence de coudes ou autres aspects d'un écoulement 2D ou 3D. Depuis la version 5.0, il est possible de réaliser des modélisations 1D ou 2D de la rivière et des plaines d'inondation [32].

III.2.4.1 Méthodologie de travail en HEC-RAS :

1- Il est précisé que l'importation des fichiers sur lequel nous avons travaillé en mode logiciel Map-Info ont été transféré à l'aide de la fenêtre "Geometric Data", puis nous utilisons "GISTools" et nous choisissons "Breaklines Coordinates Table" afin que l'on puisse importer les données sous formes de data sous "Import Lines". La procédure est comme suit.

2- L'étape suivante consiste à visionner la vallée dans (Géométric Data). Nous traçons une ligne qui passe par le milieu d'Oued, afin de déterminer la direction du flux de cure ensuite les données de simulation se font introduire sous (Cross Section), telles que les mesures (longueur, largeur et hauteur)[32].

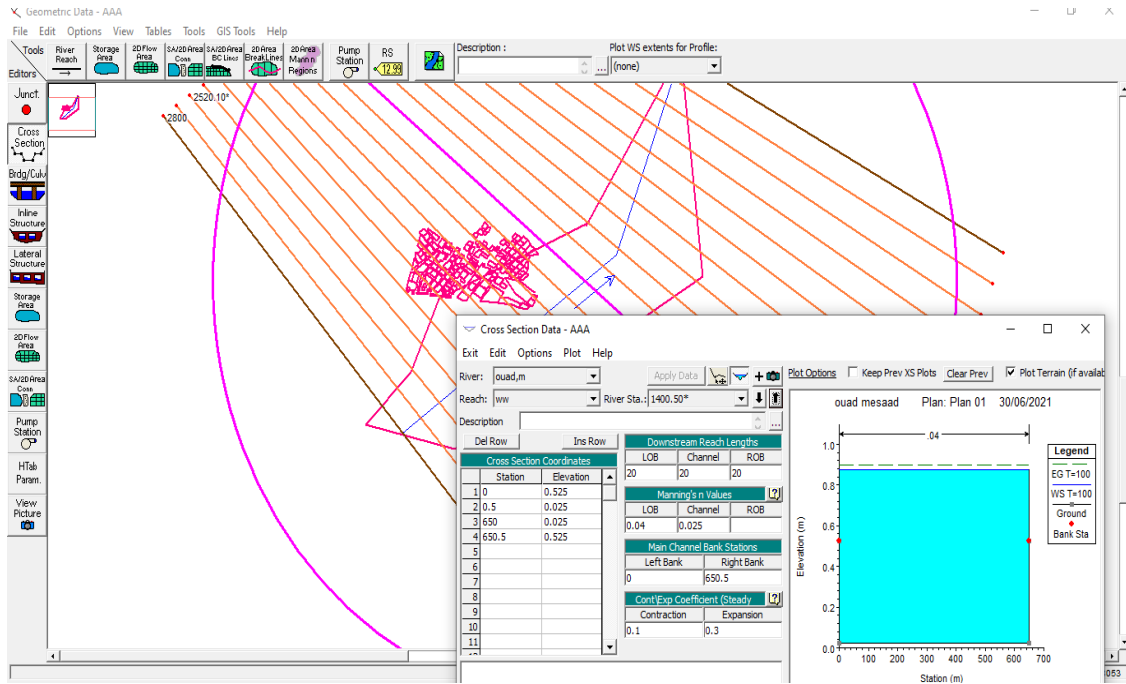


Figure 29. Introduction des données de simulation de l’Oued [32]

Il est impératif de subdiviser l’oued en section linéaire de l’ordre de 100 mètres et le jeu de simulation se fait sous les différents valeurs de débits : trois débits sont pris en considération en $Q(m^3/s)$ en termes de fréquence temps c’est (T=20 ans, T=50 ans, T=100 ans) [32].

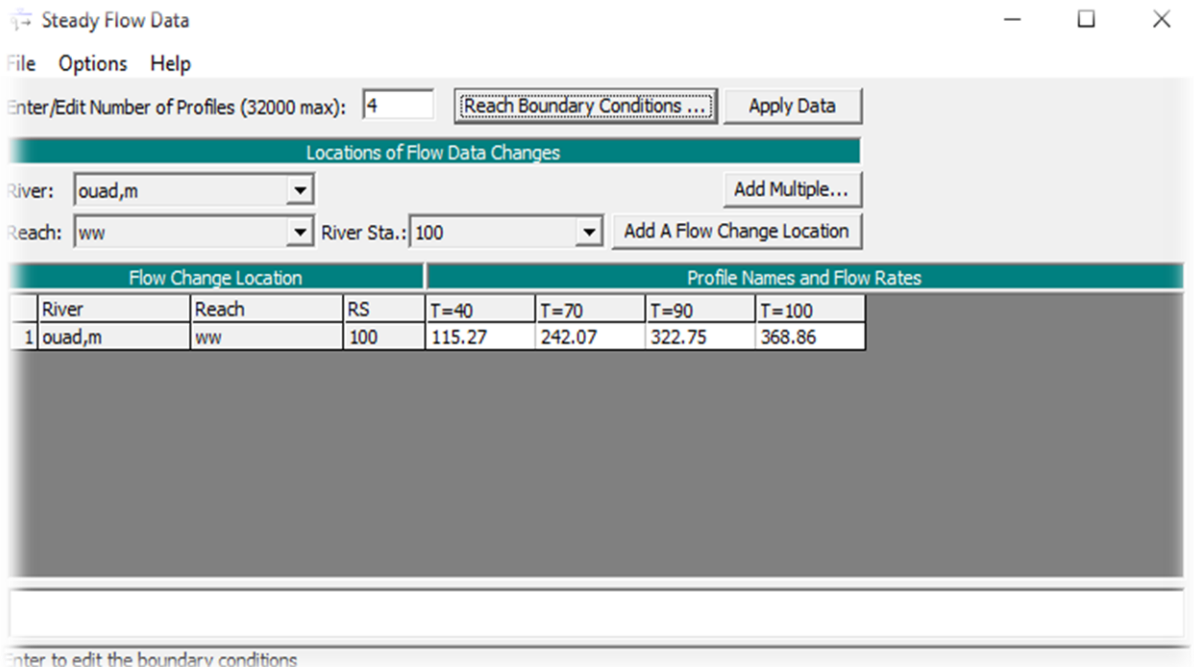


Figure 30. Entre les informations sur le débit d'eau de crue [32]

CHAPITRE 4
RÉSULTATS, ANALYSE ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction :

Pour l'étude et le diagnostic de la vulnérabilité de bâti existant face aux inondations, nous n'avons constatés 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 évidences les quartiers à risque .

IV.2 Constations et description urbaine de la zone d'étude :

Les quartiers de Ksar lebzayem sont caractérisés par un ensemble d'habitations compactées et denses réparties sur le long de la berge d'Oued Mesaad. Le tissu urbain et structuré par des places, des rues, des ruelles et des impasses [33] . Cette répartition urbaine permet de limiter les effets de la chaleur et du vent de sable [34].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 sud de la ville (archive). Au fils 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.

IV.3 Conditions hydrauliques :

Les conditions hydrauliques utilisées reposent sur le calcul numérique aux conditions limites selon l'étude bibliographique établis. La simulation sera faite en régime permanent. La figure.31. nous montre l'introduction des débits en terme de fréquences dans le logiciel HEC-Ras .

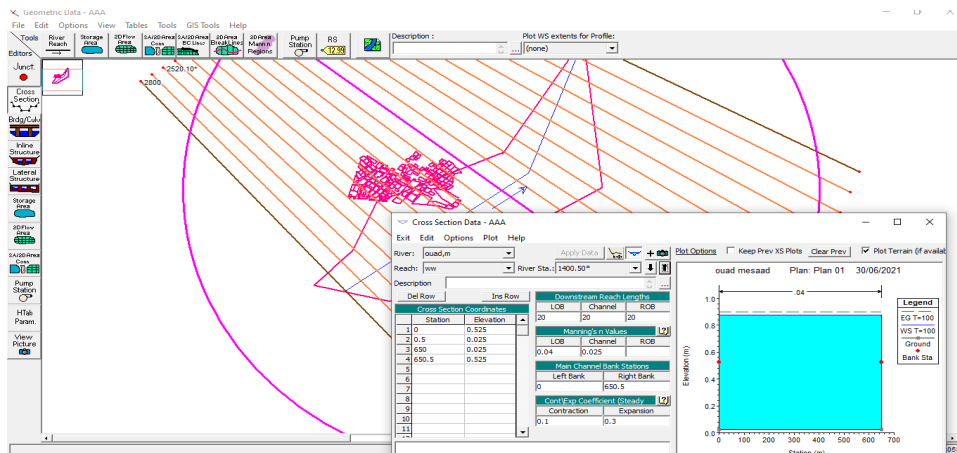


Figure 31: Section transversale et profondeur de l'eau à la station n°1400.50.

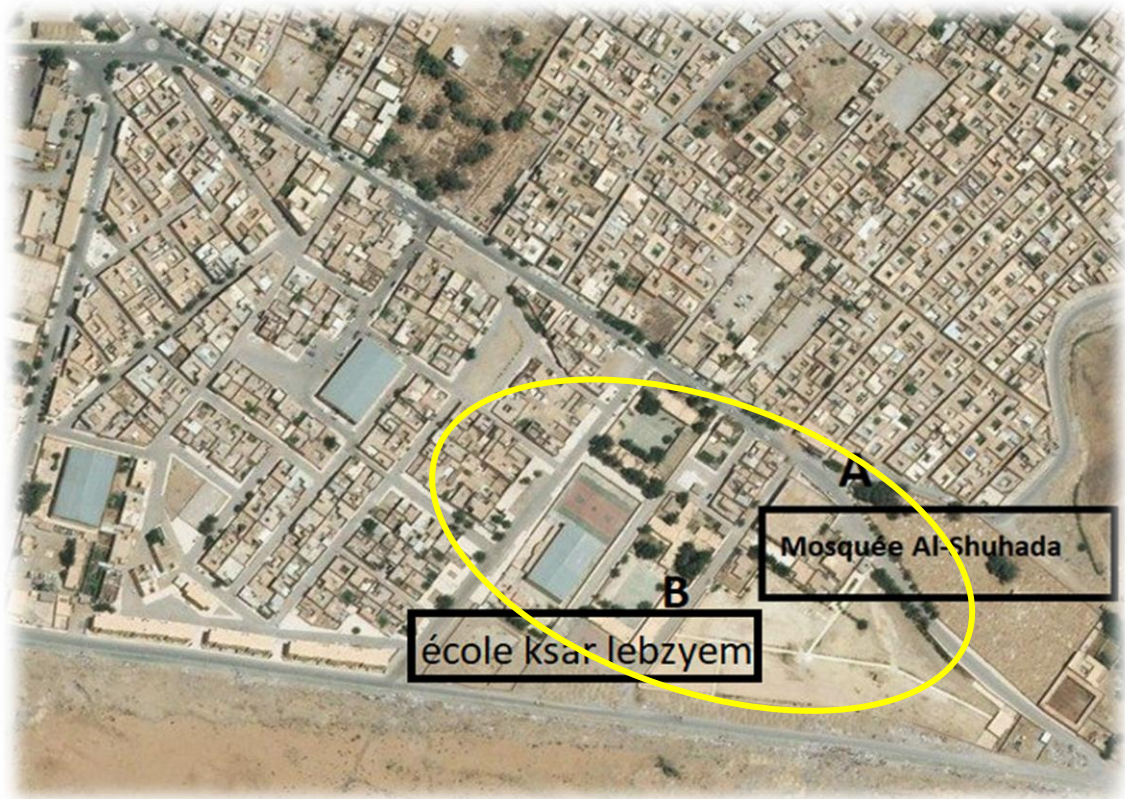


Figure 32. Présentée la section réelle de Oued mesaad

IV.4 Modélisation :

IV.4.1 Identification des zones à risque dans la zone d'étude :

IV.4.1.1 Résultats de la cartographie sous Map-Info :

Une fois les données cartographiques introduites sous le programme Map-Info, nous avons identifié les zones à risque d'inondation au quartier ksar Lebzyem point par point vis-à-vis de l'étendu de Oued Mesaad dans cette partie de la ville de Laghouat comme il est indiqué sur les données effectuées sur le logiciel HEC.



Figure 33. Identification des zones à risque d'inondation sous Map Info

IV.4.1.2 Résultats de la cartographie sous Arc-GIS :

Pour le travail sur le programme Arc-GIS, Les résultats obtenus dans Map-Info sont exploités pour avancer dans notre étapes de détermination de la zone à risque mais cette fois en désignant un périmètre au long de Oued Mesaad comme il est indiqué sur la figure 34.

Par la superposition des cartes, il est indispensable d'insérer une carte MNT pour connaître les altitudes et les niveaux topographiques, et en superposition avec la carte satellitaire qui définit les zones à risque d'inondation ainsi nous obtenons la combinaison du tracé du relief de toute la vallée considéré dans notre zone d'étude du quartier ksar Lebzayem pendant l'inondation avec les données hydrogéologique

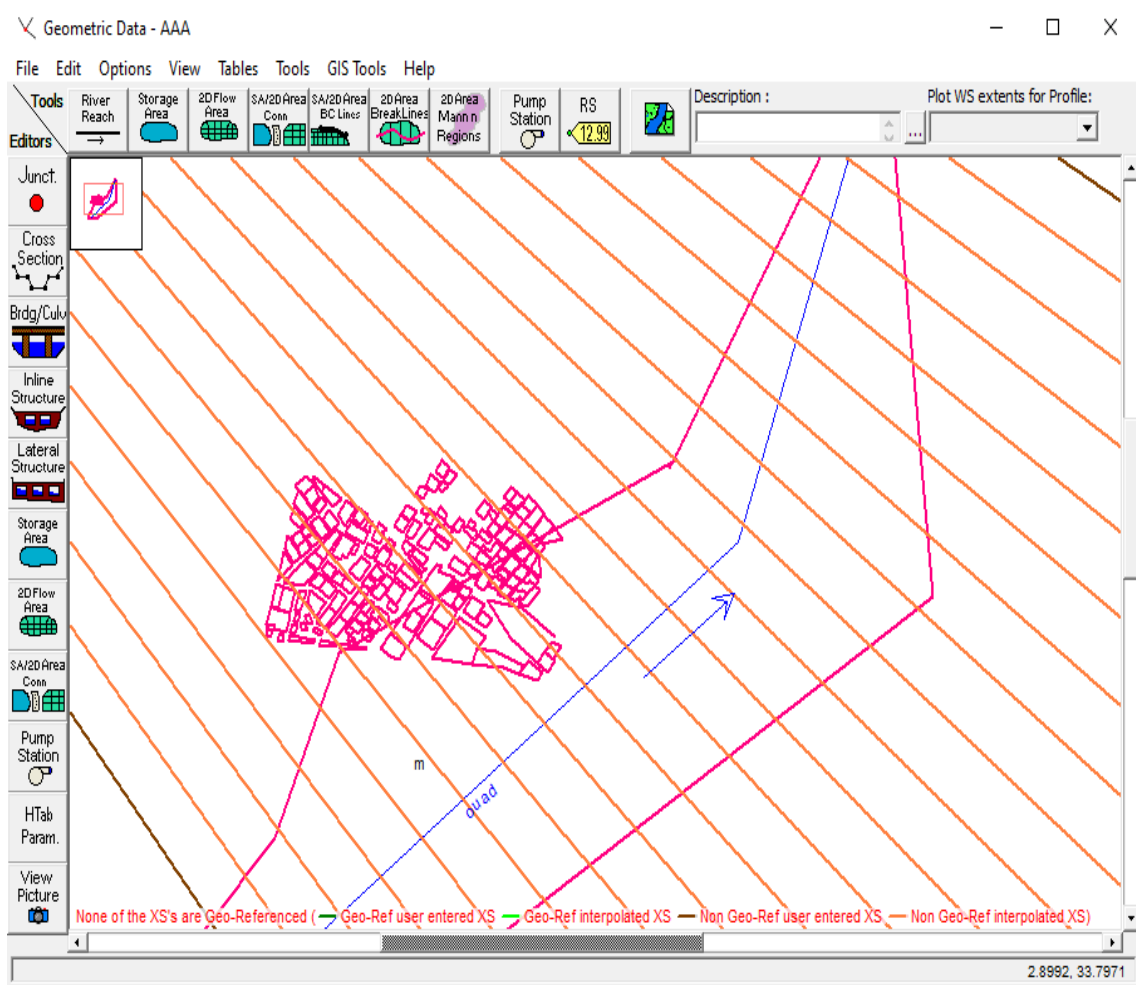


Figure 34. Représentation de la carte sous MNT superposé à la carte satellitaire dans Arc-GIS

IV.4.1.3 Résultats de la modélisation sous Hec-Ras

La simulation des crues d'Oued Mesaad pour différentes périodes de retour établis selon l'historique recueillis de la région a été très difficile car aucun enregistrement de débit de crue n'a été trouvé lors de notre enquête sur terrain. Par la suite, nous avons généré la cartographie des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en utilisant les hauteurs d'eau enregistrée durant les crues précédente. Ces deux paramètres serviront dans les étapes suivantes à établir les cartes d'aléa au risque d'inondation.

- Présentation des résultants sous HEC Ras:

Il est précisé que les données géométriques sont représentées par des profils en travers (numérotés par ordre croissant de l'aval vers l'amont), la distance entre chaque profil, le coefficient de Manning du lit mineur et des lits majeurs de droite et de gauche. A cela, il

faut rajouter les ouvrages spécifiques transversaux. Les conditions aux limites sont de deux types : les débits entrants dans chaque cours d'eau modélisé et les conditions de niveau aux extrémités et c'est considéré selon le type d'écoulement, ces conditions ne sont pas les mêmes et à chaque opération nous effectuons une modification des données :

Pour un écoulement fluvial, les conditions aux limites nécessaires se situent en aval (La hauteur normale ou bien une hauteur d'eau connue).

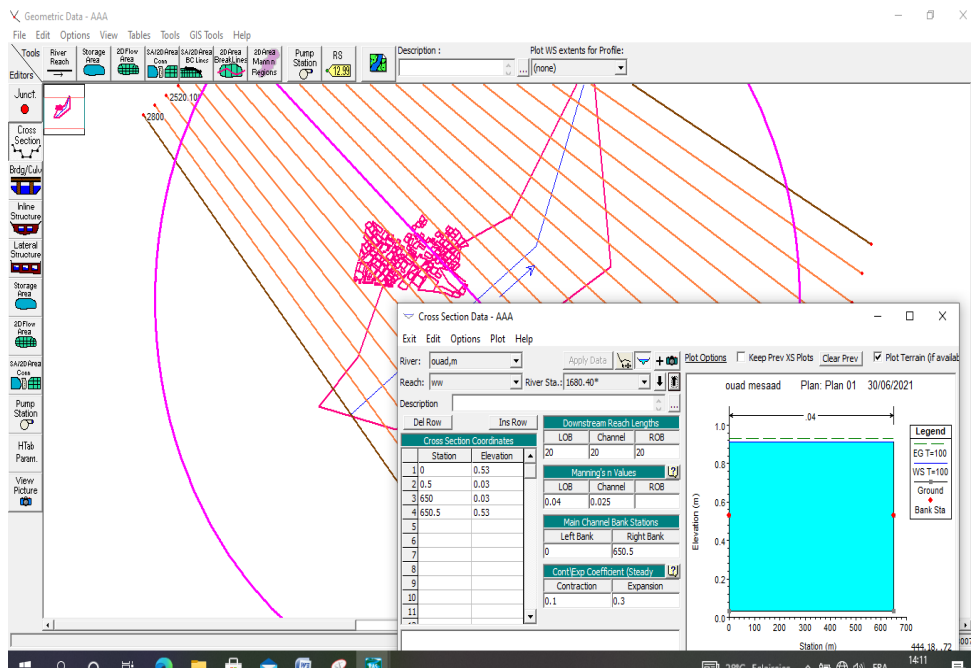


Figure 35. Représentation de la simulation d'inondations sous Hec-Ras

- Analyse des calculs :

L'oued Mesaad qui débouche sous forme de plaines basses (Daïas) au niveau de la ville de Laghouat C'est une zone particulièrement fertile où s'y développe une agriculture riche, caractérisé par des bâtisses d'exploitation purement agricole ; 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. Cette occupation anarchique jusqu'au au niveau du lité d'Oued représente une menace certaine, mis à part de l'écoulement venu des hauteurs en amont de Oued Mesaad, si une pluviométrie élevée s'abat sur la région l'oued Mesaad pourrait débordée dans cette partie étroitement occupés par des construction sur son tracé pourraient engendrer des conséquences plus graves encore.

Ksar Lebzayem constitue une cuvette de 34m de cote à la base, son remplissage peut déborder soit vers la zone industrielle soit vers la dépression de « Daïa Màmoura », L'étude des données et l'analyse des documents qui nous ont été remis nous permettent de dégager les points suivants :

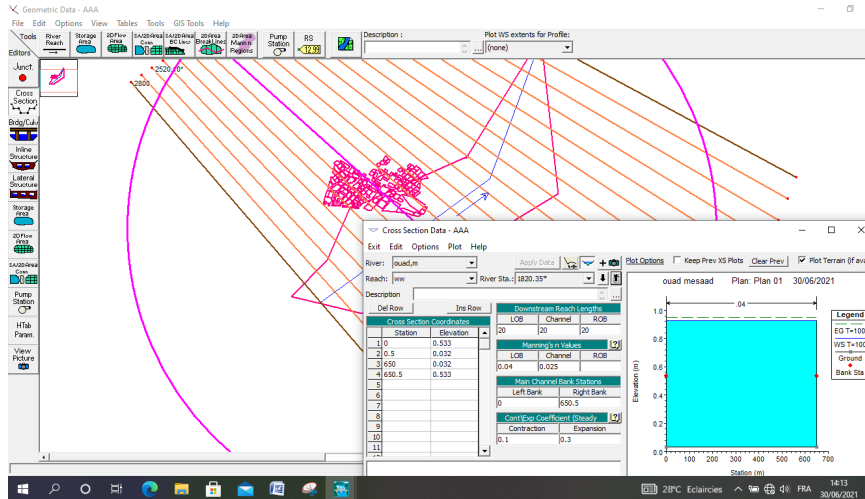


Figure. 36. Section transversale et profondeur de l'eau à la station

Pour une pluie d'intensité maximale 40 l/s /ha (orage de 20mn) la quantité maximale d'eau véhiculée par le cours de l'oued a été estimée très approximativement à 2000000 m3.ksar Lebzayem constitue une cuvette de 34m de cote à la base, son remplissage peut déborder soit vers la zone industrielle soit vers la dépression de « Daïa Màmoura », Pour cela on tient compte des facteurs suivants :

- Assemblage des bassins versants dont les eaux de pluie rejoignent le cours de l'oued.
- Les affluents de l'oued.
- Les quantités d'eau qui ne rejoignent pas le cours de l'oued : eau ruisselée -eau stagnée -eau évaporée.

Cette partie du quartier ksar lebzayem est très anciennes et d'après l'historique des inondations recueillis au niveau de la direction de la protection civil, il y'a eu des dommages sur les murs de clôture des constructions ainsi que pertes n'est pas protégé des inondations car il n'y a pas de protection. Les murs sont en pierres, ce qui signifie qu'il s'agit d'un ancien mur de soutènement ainsi que d'un court.

1- Sur la figure 37, il est représenté la montée du surplus d'eau par simulation, qui est de l'ordre de 0,75 mètre, ce qui a causé d'après des témoignages des dommages dans cette partie du quartier ksar lebzayem

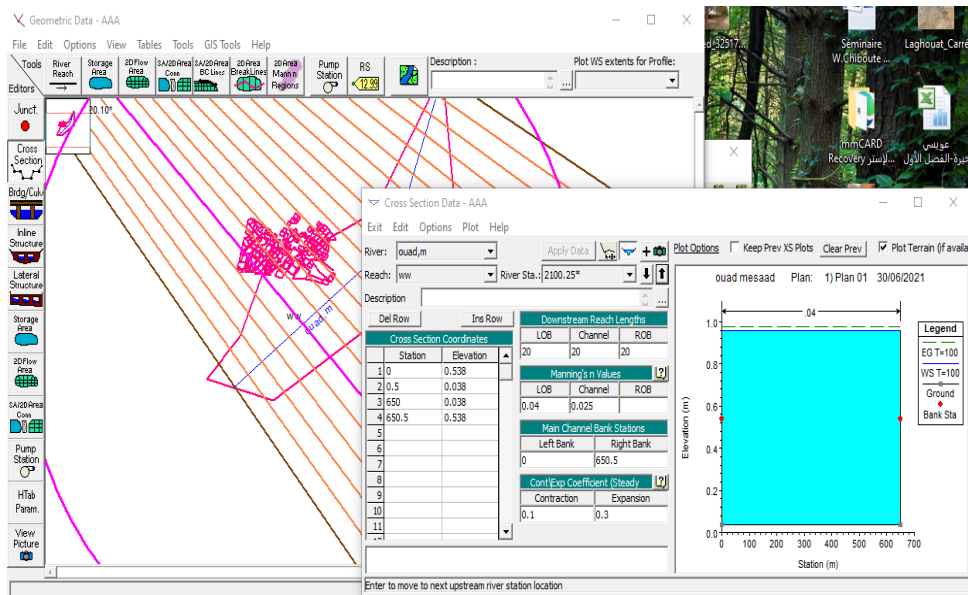


Figure .37. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras. Section

2- Sur la figure 38, une image réelle recueillis de témoins résidants le quartier qui nous à cette endroit où le débordement est de l'ordre de 0.75mètre à quelque mètre de la berge de l'Oued Mesaad nous constatons la paralysie de la circulation avec immersion des véhicules des habitants.



Figure.38. Photo réelle recueillis de témoins résidants à la section en Amont de Oued Mesaad

3- Sur la figure 39, il est représenté la montée du surplus d'eau par simulation, qui est de l'ordre de 0,60 mètre en qui a diminué du niveau précédent de hauteur de 0,75 mètre, Mais reste-t-il que l'Oued Mesaad déborde toujours dans cette partie de la ville de Laghouat.

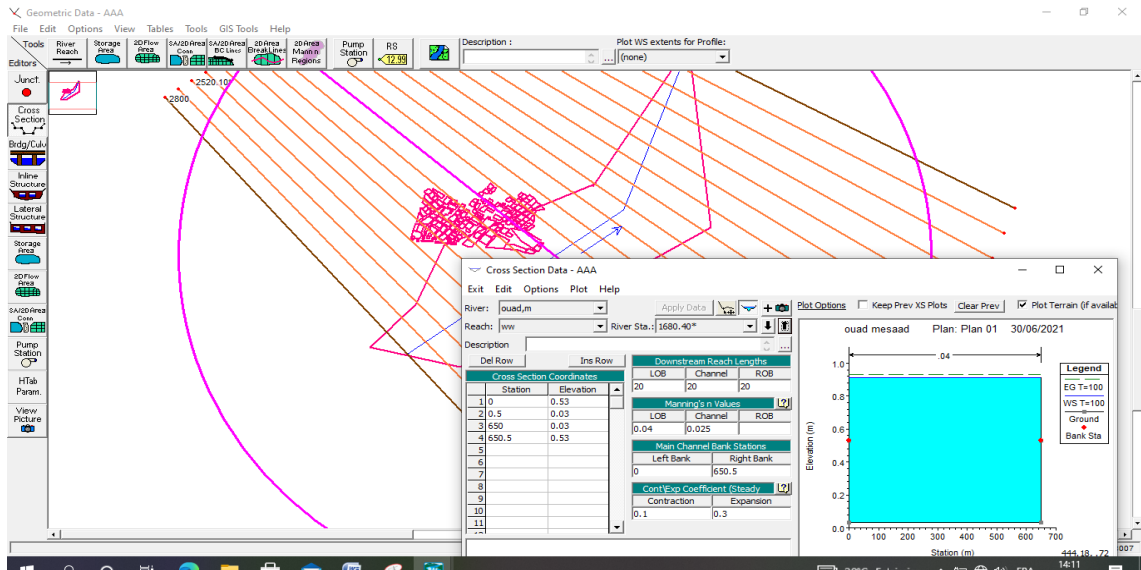


Figure 39. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras. Section

4- Sur la figure 40, il est représentée la montée du surplus d'eau par simulation, qui est de l'ordre de 0,55 mètre n qui a diminué du niveau précédent de hauteur de 0,60 mètre, Mais reste-t-il que l'Oued Mesaad déborde toujours. Comme la largeur à ce point augmente nous pensons que c'est la raison de cette diminution.

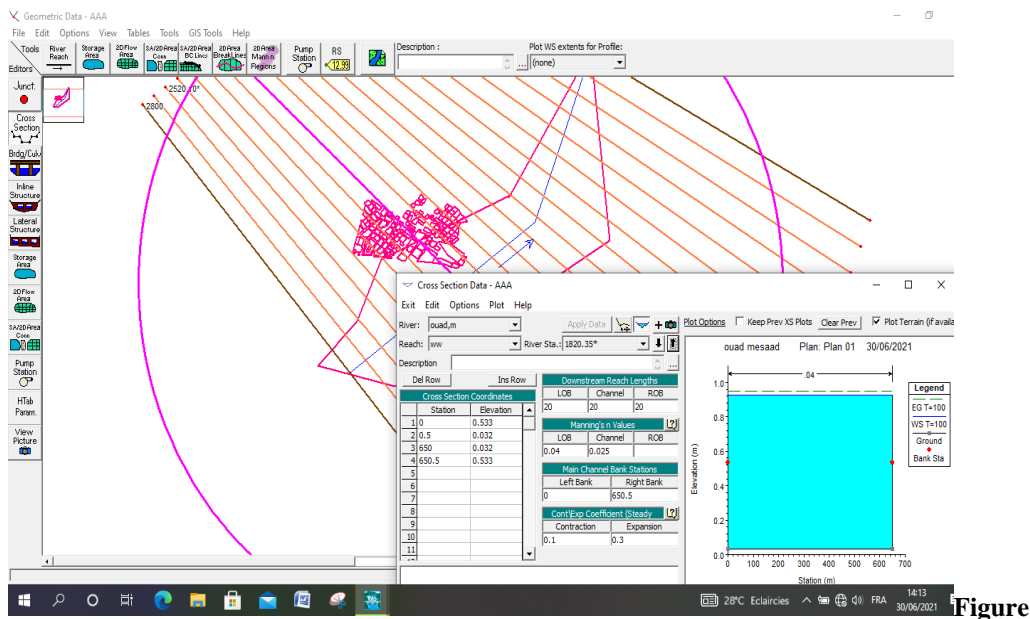


Figure 40. Indication des résultats obtenus par jeux de données sous Hec-Ras

IV.5 Solutions et Propositions:

Comme solutions nous proposons de délimiter et de définir le mur de soutènement de part et d'autre de l'oued en fonction de la hauteur à risque calculé.

- Définir le mur qui constituera la digue de protection ;
- Procéder à tous les calculs hydraulique et de génie-civil des ouvrages ;
 - Déterminer et dimensionner les ouvrages ;

C'est les solutions les plus adéquates pour éviter d'inonder les constructions urbaines ou suburbaines sur la Niveau gauche. Rappelons qu'il existe déjà une muraille d'une hauteur de 4.00m Selon le calcul obtenu dans le chapitre 03, la proposition adéquate est de rajouter un autre mur de soutènement est de 07 mètres qui rejoindra la côte des hautes eaux lors des grandes orgues

- **Emplacement du mur de soutènement :**

Cet ouvrage doit suivre une certaine courbe de niveau qui borde l'Oued et dont l'emplacement du mur de soutènement est possible pour soutenir la muraille.

Toutefois, ce mur de soutènement doit protéger les habitations au bord de l'Oued et ne pas permettre aux eaux de défoncer la muraille existante car il se dirige droit sur l'école présentée en Figure dont la mosquée se trouve dans le revert de la bâtisse

Sur la figure 41, il est représenté une image réelle du quartier ksar lebzayem au niveau d'Oued Mesaad, montrant l'axe que peut prendre la direction de fortes crues et à quel point les habitations et jardins des particuliers sont proches de l'ancienne muraille en pierres et de faible profondeur, et cela constitue une réelle menace pour les habitants de la zone.



Figure 41. Identification urbaine de la section

La rive est de 'ksar Lebzayem' est bordée par un mur de protection suivant un profil en long qui détermine la limite et hauteur efficace du mur. la longueur efficace s'évalue à 760 m alors que la hauteur moyenne s'évalue à 1,20 m.

Selon nos calcul, le programme permet d'évaluer le tirant d'eau le long du cour d'eau, nous avons choisis quatre sections moyenne sur les quelle nos calculs se sont basés.

TABLEAU N°2: Evaluation des hauteurs d'eau le long de la zone d'étude:

Débit de transit	Longueur Moy-de section	Hauteur
368,86m ³ /s	B1=420 m	H1=0,728m
368,86m ³ /s	B2=640 m	H2=0,565m
368,86m ³ /s	B3=920 m	H3=0,455m
368,86m ³ /s	B4=970 m	H4=0,440m

Après analyse des résultats obtenus en simulant les crues des périodes de retour de T à l'état critique (T=10 ; T=50 et T=100) à l'aide des logiciels HEC-RAS et Arc-GIS, nous avons obtenu des hauteurs d'eau en total allant jusqu'à 7 mètres environ à partir de la vallée la plus basse au niveau de la zone à risque.

Afin d'éviter les conséquences dévastatrices des inondations du quartier ksar Lebzayem, il a été suggéré de protéger les résidents et les bâtiments du danger d'inondation par la construction d'un mur de soutènement en béton armé à la place du vieux mur de soutènement existant en pierres sur les deux bords d'Oued Mesaad qui fait partie de la commune de Laghouat à forte densité urbaine ou l'oued passe juste au milieu.

D'après plusieurs recherches que nous avons menées, nous avons opté pour un choix optimal de construction d'un mur de soutènement en béton armé selon les caractéristiques géotechnique localisé dans la zone à risque.

Dans cette dernière partie, nous avons essayé d'interpréter les résultats obtenus en fonction de chaque sections tout en précisant les causes et conséquences afin d'identifier les sections à risque de débordement d'Oued Mesaad et proposer une solution de protection urbaine dans une ville aussi importante que Laghouat que ce soit de par sa position géographique que par son rang économique vis-à-vis des wilaya du Sud du pays en considération le taux de perte humaines et matérielles sans d'autant oublier l'aspect technique et économique à des fins de réduire les risque les inondations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ayant définis en général les risques d'inondations et la vulnérabilité des structures aux risques de débordement ; le cas d'Oued Messaad dans la vallée de Ksar Lebzayem est l'objectif de cette étude de Projet de fin d'étude est de mettre en avant les données de base concernant la possibilité d'un phénomène extrême dans cette région retiré de la ville de Laghouat et qui connaît des crues annuelle. Par conséquent, peut causer des cas de catastrophe naturelle par la perte de vie humaines et des biens.

Dans l'étude de la zone, le quartier de Ksar Lebzayem subit un fort développement urbain alors qu'elle est précisément située dans une zone basse du bassin d'Oued Messaad.

Nous nous sommes penchés sur la possibilité d'exploiter les données technologies et les systèmes modernes d'information géographique.

Dans cette partie, l'étude appliquée des logiciels informatique (Map-Info et HEC-RAS) nous ont permis de réaliser la numérisation de la zone d'étude à des fins d'identification de la zone inondable et de faire ressortir les parties à risque de débordement mettant ainsi la zone urbaine dans une position vulnérabilité. Par la manipulation du logiciel (HEC-RAS), il est possible de cartographier en mode (GÉO-RAS) les étapes de simulation dans un but de déterminer jusqu'où les structures peuvent être submergé par Oued Messaad est de proposer une solution technique de protection de ces zones à risque du quartier Ksar Lebzayem.

Les solutions les plus adéquates pour éviter d'inonder les constructions urbaines ou suburbaines au niveau de la zone d'étude qu'il existe déjà une muraille d'une hauteur de 4.00 m. Selon le calcul obtenu dans le chapitre 03, la proposition adéquate est de rajouter un autre mur de soutènement est de 07 mètres qui rejoindra la côte des hautes eaux lors des grandes orgues.

Cet ouvrage doit suivre une certaine courbe de niveau qui borde l'Oued et dont l'emplacement du mur de soutènement est possible pour soutenir la muraille. Toutefois, ce mur de soutènement doit protéger les habitations au bord de l'Oued et ne pas permettre aux eaux de défoncer la muraille existante car il se dirige droit sur l'école présentée en Figure dont la mosquée se trouve dans le revers

L'analyse spatiale montre ces zones à risqué d'inondation et les bâtiments exposés aux débordements d'Oued Mesaad. La simulation vis Hec-Ras nous a permis de faire

Conclusion General

ressortir les coupes (sections) ou l'on peut mesurer la hauteur de hauteur de débordement.

La finalité cette analyse à convergé ver la délimitation des zones prédisposées que ce soient permanant ou temporaires commanditant la présence des divers aléas sur cette partie de la ville. .Ainsi on peut schématiser les atouts et les contraintes au développement de l'espace urbain et les risques générés sur cette espace géographiques comme interaction physique et composante territoriale sociale économique et environnementale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1]. 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.
- [2]. Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, Vulnérabilité des Réseaux d'infrastructures aux risques naturels, Volume 1, n° 008414-01, Septembre 2013.
- [3]. 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.
- [4]. Mr 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 BELKAIDTLEMEN, Promotion 2015/2016.
- [5]. CEPRI, Le bâtiment face à l'inondation Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Guide Méthodologique, Mars 2010.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. J. Mater, Réhabilitation du patrimoine architectural en terre, un héritage à sauvegarder, ISSN : 2028-2508, CODEN : JMESCEN, 7 /10/ 2016.
- [9]. Diane Saint-Laurent, « Inondations en milieux urbains et périurbains », Environnement Urbain, Volume 2 | 2008, consulté le 01 juillet 2019.
- [10]. Mme 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.

Références Bibliographie

- [11]. 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.
- [12]. 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.
- [13]. Les collectivités en Europe pour la prévention du risque d'inondation, Le bâtiment face à l'inondation. Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Mars 2008.
- [14]. Réflexion, UNE VILLE, UNE HISTOIRE : Laghouat, la ville aux tableaux de sables, Mardi 10 Octobre 2017.
- [15]. Monographiede djelfa (2012).
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. Mme 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.
- [19]. Site// www.elwatan.com/edition/actualite/inondations-a-laghouat-le-maire-pointe-dudoigt-07-10-2016.
- [20]. https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html.
- [21]. https://www.researchgate.net/publication/324149696_Cours_de_systeme_d'information_Géographique.
- [22]. archives hydrauliques.
- [23]. archives hydrauliques.
- [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]. HADJ SEYD et ABOUB, Mise en place d'un SIG pour la valorisation et gestion des eaux de la wilaya d'Ouargla, Rapporte de recherche, Université Kasdi Merbah de Ouargla mai 2015.
- [27]. <https://www.notre-planete.info/terre/outils/sig.php>.

Références Bibliographie

- [28]. <https://www.calameo.com/read/00089986979f77f991180>.
- [29]. 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.
- [30]. 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.
- [31]. https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html.
- [32]. <http://www.arcorama.fr/2015/01/sig-3d-35-conception-de-donnees-3d.html>.
- [33]. 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.
- [34]. A.N. Si Amer. La prise en compte des attributs touristiques dans le processus de Patrimonialisation de l'espace oasien: Laghouat, Algérie. Colloque internationale ; Ressources patrimoniales et alternatives touristiques : entre oasis et montagnes, Ouarzazate, Maroc. Nov. 2011.