

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : métiers de la ville

Spécialité : géomatique et gestion du foncier

Par : BERRAL Abdelwahab & BOUCHAKOURE Abdallah.

Thème

**OUTILS GÉOMATIQUES AU SERVICE DE LA PRÉVENTION DES
INONDATIONS PAR LA TÉLÉDÉTECTION ET SIG APPLIQUÉS A
BECHAR.**

Soutenu publiquement, le 21/06/2026, devant le jury composé de :

M TERKI HASSAINE I. Eddine	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mme DERKOU I Aicha	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Mme MAKHLOUFI Fatima Zahra	MCB	Université de Tlemcen	Encadrant
Mme SELKA Imane	MCB	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné la force et la volonté de mener à bien ce travail.

Ce travail est le fruit de sacrifices, de détermination et de patience. Il n'aurait pas été possible sans le soutien précieux de nombreuses personnes auxquelles nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude, en particulier **nos parents**, qui nous ont accompagnés moralement et financièrement tout au long de notre parcours.

Nos plus sincères remerciements vont tout d'abord à notre directrice de mémoire, la professeure **Makhloufi Fatima**. Nous la remercions chaleureusement pour la transmission de son savoir, son suivi méticuleux et sa bienveillance constante durant la réalisation de ce projet.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance à la professeure **M. Selka Iman** pour son enseignement en géomatique, son aide précieuse, ainsi que pour l'honneur qu'elle nous fait en évaluant ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi au professeur **Madame Benziane**, enseignant à l'Institut des sciences et technologies appliquées, pour ses conseils et son soutien.

Plus largement, nous exprimons notre gratitude à l'ensemble du corps professoral qui nous a enseigné la géomatique et la topographie durant nos études universitaires. Votre rigueur et votre dévouement ont été essentiels à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier le président ainsi que tous les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

Merci à tous.

Dédicaces 1

Ce travail est dédié avec amour et reconnaissance :

À **mes parents**, mes piliers, pour avoir rendu ce rêve possible.

À **ma fratrie**, pour leur soutien moral indispensable.

À **mes enseignants**, qui ont tracé le chemin de la connaissance.

À **mes amis** les plus proches, pour leur présence et leur écoute.

BERRAL Abdelwahab.

Dédicaces 2

Ce travail est dédié avec amour et reconnaissance :

À **mes parents**, mes piliers, pour avoir rendu ce rêve possible.

À **ma fratrie**, pour leur soutien moral indispensable.

À **mes enseignants**, qui ont tracé le chemin de la connaissance.

À **mes amis** les plus proches, pour leur présence et leur écoute.

BOUCHAKOURE Abdallah.

Résumé

Le mémoire analyse le risque d'inondation à Béchar, suite aux crues de septembre 2024, mettant en lumière la vulnérabilité croissante des zones urbaines sahariennes aux aléas hydrologiques. L'étude vise à évaluer l'apport de la géomatique, de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour identifier et cartographier les zones exposées au risque. La méthodologie inclut l'utilisation de QGIS, l'analyse morphométrie, et l'application de la méthode AHP pour une spatialisation précise du risque. Les résultats montrent que des secteurs proches de l'Oued Béchar présentent un risque élevé, influencé par des facteurs tels que la proximité du réseau hydrographique et l'occupation du sol. L'étude souligne l'importance des outils géo spatiaux dans l'évaluation des risques naturels et propose des recommandations pour renforcer la prévention à Béchar.

Mots-clés : Géomatique ; Télédétection ; (SIG) ; Risque d'inondation ; AHP ; Béchar ; Milieu aride.

ملخص

تُحلل هذه الأطروحة مخاطر الفيضانات في بشار في أعقاب فيضانات سبتمبر 2024 ، مُسلطة الضوء على تزايد هشاشة المناطق الحضرية الصحراوية أمام المخاطر الهيدرولوجية .تهدف الدراسة إلى تقييم مساهمة الجيوماتكس والاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحديد ورسم خرائط المناطق المُعرّضة للخطر .تشمل المنهجية استخدام برنامج QGIS ، والتحليل المورفومتري، وتطبيق أسلوب التحليل الهرمي (AHP) لتمثيل المخاطر مكانياً بدقة .تُظهر النتائج أن القطاعات القريبة من وادي بشار تُمثل خطراً كبيراً، يتأثر بعوامل مثل القرب من الشبكة الهيدروغرافية واستخدامات الأراضي .تؤكد الدراسة على أهمية الأدوات الجغرافية المكانية في تقييم المخاطر الطبيعية، وتُقدّم توصيات لتعزيز جهود الوقاية في بشار .

الكلمات المفتاحية:

الجيوماتكس؛ الاستشعار عن بُعد؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ مخاطر الفيضانات؛ التحليل الهرمي؛ بشار؛ البيئة القاحلة .

Abstract

This thesis analyzes the flood risk in Béchar following the September 2024 floods, highlighting the increasing vulnerability of Saharan urban areas to hydrological hazards. The study aims to evaluate the contribution of geomatics, remote sensing, and Geographic Information Systems (GIS) to identify and map areas exposed to risk. The methodology includes the use of QGIS, morphometric analysis, and the application of the AHP method for precise spatial representation of the risk. The results show that sectors near the Wadi Béchar River present a high risk, influenced by factors such as proximity to the hydrographic network and land use. The study emphasizes the importance of geospatial tools in natural hazard assessment and proposes recommendations to strengthen prevention in Bechar.

Keywords: Geomatics; Remote sensing; GIS; Flood risk; AHP; Bechar; Arid environment

Sommaire

<u>Remerciements</u>	II
<u>Dédicaces 1</u>	III
<u>Dédicaces 2</u>	IV
<u>Résumé</u>	V
<u>ملخص</u>	VI
<u>Abstract</u>	VII
<u>Sommaire</u>	VIII
<u>Table des illustrations</u>	IX
<u>INTRODUCTION GÉNÉRALE :</u>	XIV
<u>CHAPITRE I : RISQUE D'INONDATION ET GESTION TERRITORIALE</u>	1
<u>CHAPITRE II : APPORT DE LA GEOMATIQUE DANS L'ANALYSE ET LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION</u>	20
<u>CHAPITRE III: PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE</u>	44
<u>CHAPITRE IV : METHODOLOGIE ET APPLICATION</u>	64
<u>CONCLUSION GÉNÉRALE :</u>	XVIII
<u>BIBLIOGRAPHIE :</u>	XX
<u>ANNEXES</u>	XXII
<u>TABLE DES MATIÈRES</u>	XXVI

Table des illustrations

Figures.

Figure 1.1 : Classification des risques naturels.	2
Figure 1.2 : Classification des inondations	4
Figure 1.3 : Les inondations au Brésil dans l'État du Rio Grande do Sul 2024. (Journale Le Courriare de Vietnam)	14
Figure 1.4 : La crue de Bab El Oued en 2001(Yakhloufone, 2024).....	15
Figure 1.5 : La crue de Bab El Oued en 2001(Yakhloufone, 2024).....	16
Figure 1.6 :Vue Aérienne du débordement de Oued M'zab au matin du 1er Octobre 2008.....	17
Figure 1.7 :Vue Aérienne après l'inondation d'Oued M'zab au matin du 9 Octobre 2008.....	17
Figure 1.8 : Les inondations de Djebli Ahmed Constantine (Yakhlefoune, 2024).	18
Figure 1.9 : Les inondations de Djebli Ahmed Constantine (Yakhlefoune, 2024).	18
Figure 2.1 : Les composantes de la géomatique(Cours TLD Univ tlemcen).....	22
Figure 2.2 :Les applications de la géomatique.....	24
Figure 2.3 : Les applications de la télédétection	29
Figure 2.4 : Cours de la matière : Concepts et Méthodes en Géomatiques (CMG)GOUAREF.K MAA Batna2.....	35
Figure 2.5 : Organisation des données descriptives et des données géométriques sous Géo Concept (GOUAREF.K MAA)	36
Figure 2.6 : Schéma de modèle en couches proposé par T.Joliveau (HDR, 2004).	37
Figure 3.1 : Localisation de la wilaya de Béchar (Bekhira et al 2019b)	45
Figure 3.2 : Localisation de la région de Béchar. (Bekhira et al, 2019)	47
Figure 3.3 : Accessibilité les route de la wilaya Béchar. (Belaid, 2018).....	48
Figure 3.4 : Accessibilité de l'Aéroport de Béchar Figure 3.5 : La ligne ferroviaire.	49
Figure 3.6 : Cadre physique et paysages naturels de la wilaya de béchar.	50
Figure 3.7 : Graphe de l'évolution de la population de la région de Béchar. (Bekhira, 2019).....	50
Figure 3.8 : Graphe de l'évolution de la population de la région de Béchar	51
Figure 3.9 : Variation mensuelle des températures à Béchar. (Belaid, 2018).....	51

Table des illustrations

Figure 3.10 : Evolution des anomalies mensuelles de la température et des précipitations à Béchar (1979-2025), (meteoblue)	52
Figure 3.11 : La prise lord de la crue d’octobre 2008 (Halilou 2011).....	56
Figure 3.12 : Les crues de Béchar 8 sep 2024. (les citoyen).....	57
Figure 3.13 : Les impacts de crue de Béchar 8 sep 2024. (les citoyen).....	58
Figure 3.14 : Dommages causés aux citoyens et aux batiments de inondation 8 sep 2024. (les citoyen).....	59
Figure 3.15 : Les crues emporté le pont l’inondation de 8 sep 2024. Web (Le citoyen).....	60
Figure 3.16 : Les crues emportent le bétail et submergent l’école et le pont de Béchar 8 sep 2024.Web (les citoyen)	60
Figure 3.17 : Aide à la protection civile et au Croissant-Rouge Algérien les crues de Béchar 8 sep 2024. (ARC).....	61
Figure 3.18 : Morphométrie du bassin versant de l’Oued Béchar (Bekhira et al, 2019)	62
Figure 3.19 : Carte représentant le levé topographique de l’Oued Béchar.....	63
Figure 4.2 : la cartographier de carte pluviométrique de béchar sep 2024	69
Figure 4.4 : Impotre fichier shipfile des limite administrative de l’algerie dans Qgis	72
Figure 4.6 : clip raster by mask layer béchar	74
Figure 4.7 : Ajouté et récupération du PDAU de la ville de Béchar	75
Figure 4.9 : Création de la couche d’ombrage (Hillshade).....	75
Figure 4.10 : Pent à partir du DEM découpé	76
Figure 4.11 : distances (Proximité) d’oued.....	78
Figure 4.12 : applicé tool: Flow Direction (SAGA).....	79
Figure 4.14 : Plate forme de USGS Earth Explorer	81
Figure 4.15 : Les bands de photo landsat 8/9.....	82
Figure 4.18 : Calcul des Indices pour la Date Avant Inondation	81
Figure 4.19: Calcul des Indices pour la Date Après Inondation	82
Figure 4.36 : Protection endiguement des oueds.....	104
Figure 4.37 : Protection des berges	104
Figure 4.38 : Renforcement des ouvrages.....	105
Figure 4.39 : Réalisation des canaux	105
Figure 4.40 : Réalisation des barrages ou seuils	106
Figure 4.41 : Aménagement des bassins versants	107

Tableaux.

Tableau 1.1 : comparatif : Crue vs Inondation	4
Tableau 1.2 : Comparaison des approches d'évaluation du risque selon le niveau de précision et les méthodes d'analyse	11
Tableau 1.3 : Les inondations dans le monde entre 2000 à 2026 (EM-DATA CRED).....	13
Tableau 1.4 : Les inondation dans l'Algérie entre 2000 à 2026.(EM-DATA CRED).....	19
Tableau 3.1 : La surface de la wilaya de béchar et leur daïras et communes.(Monographe Béchar 2021)	47
Tableau 3.2 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin versant de l'Oued Béchar. (Boulnouar 2007).....	62
Tableau 4.1 : les données utilisé pour la cartographie de la carte de risque d'inondation.....	66
Tableau 4.2 : Superficie totale de la zone inondée à Béchar NDWI:	89
Tableau 4.3 : Matrice de Comparaison Parpaire (AHP)	101
Tableau 4.4 : Tableau des Poids Finaux (Vecteur Propre).....	101

Table des illustrations

Planches.

Figure 4.3 : la carte pluviométrique de béchar sep 2024	71
Figure 4.5 : Carte de situation de la wilaya de béchar et ses commune (Qgis) ...	73
Figure 4.24 : Carte du Modèle Numérique de Terrain (MNT/DEM) de Béchar .	94
Figure 4.25 : Carte des Pentes du bassin versant de l'Oued Béchar.	95
Figure 4.26 : Carte du Réseau Hydrographique et des cours d'eau de Béchar. ...	96
Figure 4.27 : Carte des Distances (Proximité) à l'Oued Béchar.	96
Figure 4.28 : Carte des indices spectraux (NDVI et NDWI) avant après d'inondation béchar 2024.....	98
Figure 4.29 : Carte de fausses couleurs (Composition colorée).....	100

Table des illustrations

Abréviation :

GGF : Géomatique et Gestion du Foncier

SIG : Système d'Information Géographique

Télédétection : Observation de la Terre à distance via satellite

ESA : European Space Agency / Agence Spatiale Européenne

ST: Sentinel-2

USGS: United States Geological Survey

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

MNT : Modèle Numérique de Terrain

DEM : Digital Elevation Model

CRS: Coordinate Reference System

WGS84: World Geodetic System 1984

UTM : Universel Transverse Mercator

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

Oued : Cours d'eau éphémère en milieu aride

RN6 : Route Nationale N°06

RN50 : Route Nationale N°50

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

NDVI : Normalise Différence Végétation Index

NDWI: Normalise Différence Water Index

AHP: Analytic Hierarchy Process

TIFF: Tagged Image File Format

QGIS : Quantum Géographique Information System

ESRI : Environnemental System Recherche Institue

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Les risques naturels occupent aujourd'hui une place centrale dans les préoccupations des chercheurs, des gestionnaires territoriaux et des décideurs publics en raison de leurs conséquences croissantes sur les populations, les infrastructures et les écosystèmes. Parmi ces risques, les inondations figurent parmi les catastrophes les plus fréquentes et les plus dommageables à l'échelle mondiale, longtemps considérées comme relativement limitées dans les régions arides et sahariennes, elles se manifestent désormais avec une intensité accrue sous l'effet des changements climatiques, de l'urbanisation rapide et de l'occupation inadaptée des zones exposées aux aléas hydrologiques.

Les dernières crues exceptionnelles ayant touché la ville de Béchar en septembre 2024 illustrent parfaitement cette évolution et soulignent la nécessité de développer des outils performants capables d'anticiper, de cartographier et de gérer efficacement le risque d'inondation.

L'objet de la recherche :

Le présent mémoire s'intéresse à l'étude du risque d'inondation dans la ville de Béchar, située dans le sud-ouest algérien, il porte sur l'analyse des inondations survenues en septembre 2024 et sur l'évaluation du rôle que peuvent jouer les outils géomatiques dans la compréhension de ce phénomène.

À travers l'exploitation des techniques de télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG), cette recherche vise à produire une représentation spatiale du risque et à identifier les secteurs les plus vulnérables afin de contribuer à une meilleure gestion territoriale des catastrophes naturelles.

Problématique :

Malgré les progrès réalisés dans le domaine de la gestion des risques naturels, de nombreuses villes sahariennes continuent de souffrir d'un manque d'outils d'analyse spatiale permettant d'identifier avec précision les zones exposées aux inondations. Cette situation limite les capacités d'anticipation et conduit souvent à des interventions essentiellement réactives, dans ce contexte, la problématique centrale de cette étude peut être formulée comme suit :

Comment les outils de la géomatique, de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique peuvent-ils contribuer à l'identification, à la cartographie et à la gestion des risques d'inondation dans la ville de Béchar ?

Hypothèses de recherche :

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette problématique, deux hypothèses principales ont été retenues.

- La première suppose que l'utilisation des données satellitaires et des techniques de télédétection permet d'obtenir une connaissance précise des caractéristiques physiques du bassin versant et des zones affectées par les inondations.
- La seconde considère que l'intégration des différents facteurs environnementaux et anthropiques au sein d'un SIG, combinée à une approche multicritère telle que la méthode AHP, permet de modéliser efficacement le risque d'inondation et de localiser les secteurs les plus exposés.

Objectifs de la recherche :

L'objectif principal de ce travail consiste à élaborer une cartographie du risque d'inondation dans la ville de Béchar à partir d'une approche géomatique intégrée, et pour atteindre cet objectif général, plusieurs objectifs spécifiques ont été poursuivis :

- Analyser les caractéristiques physiques et hydrologiques du bassin versant de l'Oued Béchar, identifier les principaux facteurs influençant le risque d'inondation
- Evaluer la vulnérabilité des espaces urbains et agricoles
- Produire une carte synthétique du risque à l'aide de la méthode AHP
- Proposer des recommandations susceptibles d'améliorer la prévention et la gestion des inondations dans la région.

L'intérêt de la recherche :

Cette étude présente un double intérêt :

- Sur le plan scientifique, elle contribue à enrichir les travaux portant sur l'application des outils géo spatiaux à l'analyse des risques naturels en milieu aride où elle met

Introduction générale

également en évidence l'efficacité de l'approche multicritère dans la modélisation spatiale du risque.

- Sur le plan opérationnel, les résultats obtenus constituent un support d'aide à la décision pour les collectivités locales, les services de protection civile et les organismes chargés de l'aménagement du territoire.

La cartographie produite peut ainsi contribuer à l'amélioration des stratégies de prévention et au renforcement de la résilience urbaine face aux futures crues.

Méthodologie :

- Pour répondre à la problématique posée, une démarche méthodologique fondée sur les outils de la géomatique a été adoptée, cette démarche repose sur la collecte, le traitement et l'analyse de différentes sources de données spatiales et environnementales.
- Les images satellitaires Landsat ont été exploitées afin d'analyser l'occupation du sol et de délimiter les zones affectées par les inondations.
- Un Modèle Numérique de Terrain a été utilisé pour extraire les paramètres topographiques tels que l'altitude et la pente, tandis que les données pluviométriques et hydrologiques ont permis d'évaluer les conditions favorisant la formation des crues.
- L'ensemble de ces informations a été intégré dans un environnement SIG sous QGIS, puis combiné à travers la méthode multicritère AHP afin de pondérer les différents facteurs et de produire une carte finale du risque d'inondation.

Structure du mémoire :

Afin de répondre de manière cohérente aux objectifs fixés, le mémoire est organisé en quatre chapitres complémentaires.

1. Le premier chapitre présente le cadre conceptuel et théorique relatif aux risques naturels, avec un accent particulier sur les inondations, leurs mécanismes, leurs impacts et les méthodes d'évaluation du risque.

2. Le deuxième chapitre est consacré aux fondements de la géomatique, de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique, en mettant en évidence leur apport dans l'analyse des risques naturels.
3. Le troisième chapitre propose une présentation détaillée de la zone d'étude à travers l'analyse des caractéristiques géographiques, climatiques, hydrologiques et socio-économiques de la wilaya de Béchar.
4. Le quatrième chapitre expose la méthodologie appliquée, les traitements réalisés sous QGIS, l'intégration de la méthode AHP, les résultats obtenus ainsi que les principales recommandations formulées pour une gestion plus efficace du risque d'inondation dans la région étudiée.

Chapitre I:

Risque d'inondation et gestion territoriale

CHAPITRE I : RISQUE D'INONDATION ET GESTION TERRITORIALE

1. Introduction :

Les inondations comptent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices dans le monde, leur aggravation est liée au changement climatique, à l'urbanisation rapide et à l'occupation des zones inondables. Les zones urbaines, particulièrement dans les régions sahariennes, présentent une vulnérabilité importante face aux risques hydrologiques. Malgré le caractère aride de ces régions, les épisodes pluvieux extrêmes peuvent provoquer des crues soudaines et des débordements violents des oueds, causant des pertes humaines et matérielles considérables.

Dans ce contexte, ce chapitre propose une analyse générale des risques naturels et hydrologiques, en mettant l'accent sur les inondations, leurs typologies, leurs impacts ainsi que les notions fondamentales d'aléa, de vulnérabilité et de risque, il présente également les différentes approches d'évaluation du risque et s'intéresse particulièrement aux spécificités des villes sahariennes, où les caractéristiques climatiques, hydrologiques et morphologiques accentuent l'exposition aux inondations. Enfin, une synthèse des principaux exemples d'inondations dans le monde et en Algérie permettra de mieux comprendre les enjeux liés à la prévention et à la gestion durable de ces catastrophes.

2. Définition générale des risques naturels

Le risque naturel se traduit par le concept d'un danger potentiel provenant de phénomènes naturels, tels que définis par le dictionnaire Larousse, il souligne que ces risques peuvent impacter non seulement les populations, mais aussi les infrastructures et l'environnement, le risque est le résultat de l'interaction entre un aléa, qui est un phénomène naturel, et la vulnérabilité, c'est-à-dire la fragilité d'un système face à cet aléa (Veyret, 2003). Cette approche met en lumière que le risque ne se limite pas à l'événement naturel lui-même, mais englobe également ses effets sur les aspects humains, économiques et environnementaux.

3. Classification des risques naturels géologiques, climatiques, hydrologiques :

Les risques naturels sont catégorisés selon le phénomène physique (l'aléa) qui en est la source, on distingue trois principales catégories :

- **Les risques géologiques** : associés à la dynamique interne et externe de la Terre (tremblements de terre, éruptions de volcans, glissements de terrain, raz-de-marée).
- **Les risques de nature climatique (ou atmosphérique)** : associés aux processus atmosphériques (cyclones, tempêtes, canicules, sécheresses).
- **Les dangers hydrologiques** : associés au cycle de l'eau et à ses mouvements (inondations, crues soudaines, submersions côtières et...ect). (Veyret et al, 2006)

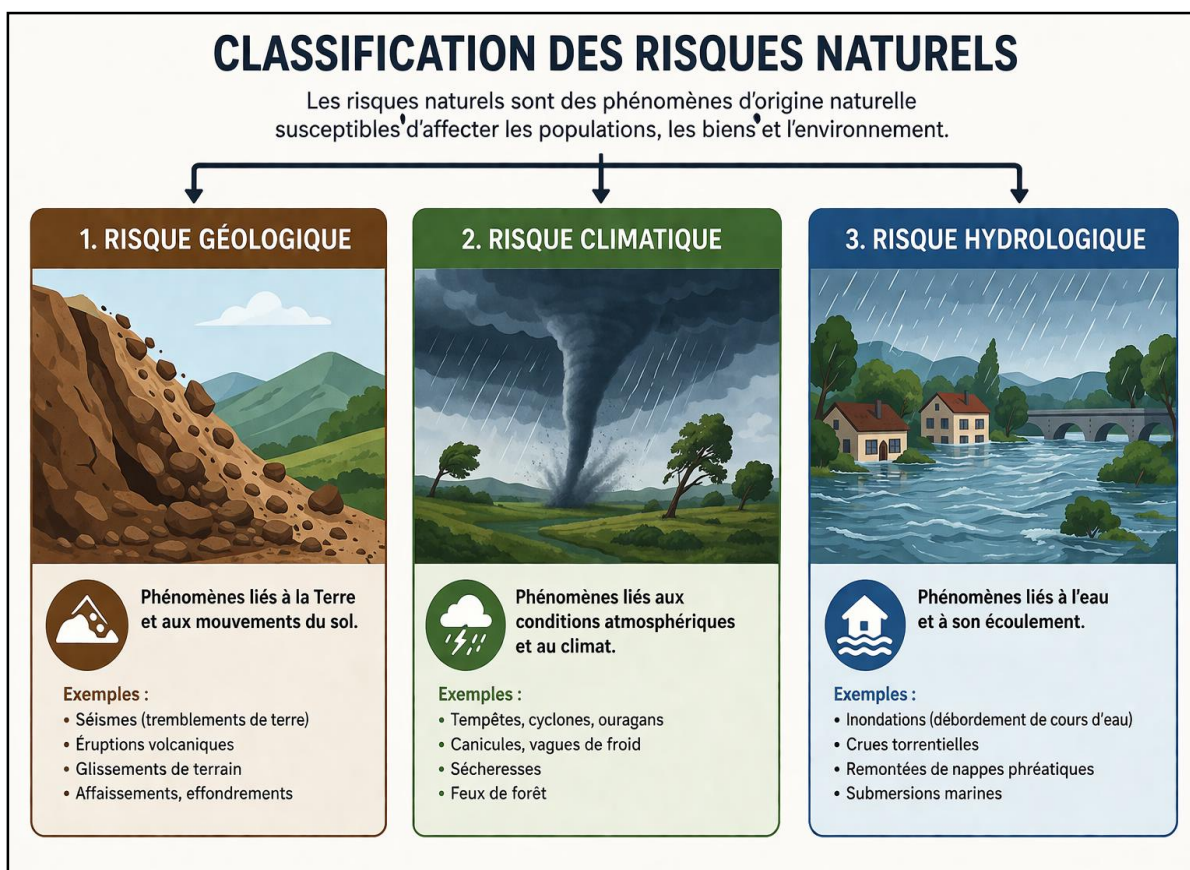


Figure 1.1 : Classification des risques naturels, source : auteurs.

4. Focus sur les risques hydrologiques: inondation, crues soudaines, débordements :

Les risques hydrologiques se définissent comme des événements extrêmes issus de la variabilité naturelle du cycle de l'eau, intensifiés par les interventions humaines et l'organisation territoriale. Ces risques se traduisent surtout par des crues et des inondations, dont l'origine est liée à la relation entre les précipitations (intensité, durée) et les propriétés physiques du bassin versant (Musy & Higy, 2005).

4.1. Les crues et leurs Typologies :

- **Crues de ruissellement (ou crues soudaines) :** Ces phénomènes sont engendrés par des précipitations intenses sur une courte période, généralement dans des bassins versants de petite envergure ou densément peuplés. L'inondation rapide des sols ou leur imperméabilisation bloque l'infiltration, provoquant un ruissellement de surface instantané.
- **Crues de plaine (Débordements) :** Ces phénomènes sont le produit de précipitations durables sur de vastes régions, bien que l'élévation des eaux soit graduelle, le volume d'eau en transit est énorme, ce qui cause des débordements étendus dans l'alvéole principal.
- **Crues de fonte des neiges :** Associées à l'élévation des températures au printemps, elles sont influencées par la quantité de neige accumulée et le rythme de sa fonte, parfois intensifiées par des précipitations simultanées.

4.2. Classification des inondations :

- **Inondations par débordement de cours d'eau :** Dès lors que la capacité du lit mineur d'un cours d'eau est dépassée, cela provoque un débordement des eaux vers le lit majeur et les zones environnantes.
- **Inondations par ruissellement :** Ces inondations sont causées par la collecte des eaux de pluie à la surface du sol, particulièrement dans les zones urbaines où l'infiltration est restreinte par l'imperméabilité.
- **Inondations par Remontée de nappe :** Se produisent lorsque la nappe phréatique monte jusqu'à toucher la surface du sol, rendant les terrains saturés d'eau.

- **Inondations côtières (submersion marine)** : Provoquées par la montée du niveau de la mer ou par des phénomènes marins extrêmes (tempêtes, marées), qui conduisent à l'inondation des zones côtières.



Figure 1.2 : Classification des inondations, Source : auteurs.

4.3. La différence entre les crues et les inondations :

La crue constitue un phénomène hydrologique naturel caractérisé par une augmentation du débit, tandis que l'inondation représente sa manifestation spatiale entraînant des dommages.

Tableau 1.1 : comparatif : Crue vs Inondation, Source : auteurs.

Critère	Crue	Inondation
Définition	Augmentation du débit et du niveau d'un cours d'eau	Submersion des zones hors du lit mineur
Nature	Phénomène hydrologique naturel	Conséquence (phénomène spatial et dommageable)
Localisation	Dans le lit mineur (principalement)	Dans le lit majeur et zones environnantes
Cause principale	Précipitations, fonte des neiges	Débordement, ruissellement, remontée de nappe
Dommages	Pas toujours	Oui (souvent importants)
Relation	Cause	Conséquence
Possibilité	Peut exister sans inondation	Rare sans crue (sauf cas particuliers)

4.4. Mécanismes de submersion :

- **Débordement direct** : Lorsque le débit dépasse la capacité du lit des cours d'eau, on observe $Q > Q_{max}$.
- **Remontée de nappe** : Saturation des sols ---- émergence de l'eau à la surface.

4.5. Impacts généraux des inondations sur les territoires et populations :

Les inondations sont parmi les désastres naturels les plus dévastateurs à l'échelle mondiale, comptant pour plus de la moitié des catastrophes naturelles globales, leurs effets se manifestent de façon multidimensionnelle sur les populations et les territoires.

4.5.1. Impacts sur les populations et la santé :

- **Victimes et personnes blessées** : On considère les inondations parmi les phénomènes naturels les plus mortels. En moyenne, elles entraînent 20 000 décès annuels à l'échelle mondiale. En Algérie, des incidents tels que ceux de Bab El Oued en 2001 ont entraîné plus de 750 morts, ainsi elles provoquent fréquemment le déplacement en masse des habitants et la destruction complète de leurs résidences. Par exemple, en 1958, l'inondation à Béchar a entraîné le déplacement de 1500 familles.
- **Santé publique** : Les inondations peuvent contribuer à l'émergence de maladies et de troubles de santé associés à l'humidité ou à la pollution des eaux.
- **Psychologiques et sociales** : Outre les dégâts physiques, les communautés riveraines sont continuellement plongées dans un sentiment d'insécurité lors des précipitations. L'impact social prédominant réside dans le stress associé à la perte de biens et à la perturbation des conditions de vie.

4.5.2. Impacts sur les infrastructures et les biens matériels :

- **Destruction des constructions** : Les résidences, en particulier celles qui se trouvent dans les lits majeurs des oueds ou qui sont édifiées avec des matériaux peu résistants, subissent d'importants dégâts structurels ou une destruction complète.

- **Réseaux de communication** : Les inondations endommagent souvent les infrastructures de communication (routes et chemins de fer) et causent la destruction des ponts. en Algérie subissent régulièrement des interruptions ou des dégradations qui entravent la circulation.
- **Structures urbaines** : Le reflux des eaux et l'accumulation de débris peuvent saturer ou endommager les systèmes d'assainissement, ce qui peut parfois conduire à la rupture de regards.

4.5.3. Impacts sur le secteur économique :

- **Dommages économiques massifs** : Le coût des dommages économiques mondiaux dus aux inondations a été multiplié par 7,3 au cours des dernières décennies. En Algérie, les pertes sont souvent évaluées en milliards de dinars pour le gouvernement et la population.
- **Agriculture et élevage** : Les inondations entraînent la destruction de terres cultivées et de moissons. Le secteur de l'élevage subit aussi de lourdes pertes, à l'instar des inondations de 2023 à Constantine qui ont entraîné la perte de plus de 100 moutons.
- **Interruption des opérations** : Les zones industrielles et commerciales situées dans des régions sujettes aux inondations connaissent des interruptions prolongées de leurs activités ainsi que des pertes de stocks.

4.5.4. Impacts sur le territoire et l'environnement :

- **Érosion et morphologie** : Les crues dévastatrices engendrent une érosion sévère des sols et transforment radicalement le parcours des oueds.
- **Transport solide et envasement** : Les inondations déplacent d'importantes masses de sédiments et de débris qui contribuent à l'élévation des fonds des rivières en aval, diminuant ainsi leur potentiel d'évacuation et favorisant les débordements ultérieurs.
- **Pollution** : Le ruissellement en milieu urbain transporte différents polluants, déchets solides et substances toxiques vers les systèmes aquatiques. Et dans quelques situations désertiques, des crues douces peuvent favoriser la fertilité du sol en déposant des sédiments fertilisants.

4.6. Enjeux économiques, sociaux et environnementaux liés aux inondations :

Les inondations constituent une menace significative qui a des enjeux considérables sur les plans économique, social et environnemental. L'examen des enjeux aide à repérer les éléments en danger et à mesurer l'étendue des dégâts possibles.

4.6.1. Enjeux économiques :

Les inondations occasionnent d'importantes pertes économiques, notamment :

- Destruction des infrastructures telles que les routes, les ponts et les réseaux
- Dégâts sur les propriétés et les biens destruction des cultures et du bétail
- Arrêt des opérations industrielles et commerciales
- Dépenses considérables pour la réparation et la reconstruction

Ces conséquences peuvent freiner le progrès économique à l'échelle locale et régionale.

4.6.2. Enjeux sociaux :

Les inondations entraînent souvent de graves répercussions sociales :

- Des pertes humaines et des blessures
- Mouvement des populations affectées
- Détérioration des conditions de vie perturbation des services de base (eau, électricité, santé)
- Conséquences psychologiques (stress, traumatisme)
- Ces facteurs ont une influence directe sur la vulnérabilité des populations.

4.6.3. Enjeux écologiques :

Les milieux naturels subissent également l'impact des inondations :

- Dégradation des terres (érosion, diminution de la fertilité)
- Contamination des eaux (déchets, produits chimiques)
- Destruction des habitats naturels et des écosystèmes.
- Changement des paysages

Toutefois, dans certaines situations, elles peuvent également aider au réapprovisionnement des nappes phréatiques et à la fertilisation naturelle des terres.

4.6.4. Enjeux patrimoine :

Les inondations mettent en danger le patrimoine sous diverses formes, y compris :

- Le patrimoine construit, culturel et naturel.
- Elles peuvent provoquer la détérioration ou l'anéantissement de monuments historiques, de lieux archéologiques, ainsi que la disparition d'objets culturels et d'archives.
- Peuvent affecter la mémoire collective et l'identité régionale.
- De ce fait, les enjeux patrimoniaux constituent des pertes fréquemment irréparables, soulignant l'importance de leur sauvegarde dans les plans de gestion du risque d'inondation.

5. Définition du risque : aléa, enjeux et vulnérabilité:

5.1. Aléa :

Le concept de l'Aléa évoque la possibilité qu'un événement se produise en raison de facteurs qui échappent, au moins en partie, à la maîtrise humaine, il est exprimé en termes de la possibilité qui combine la survenue et la sévérité de l'événement, tout en prenant en considération la durée et l'espace impliqués. On définit un événement naturel comme la possibilité qu'un phénomène physique assez violent constitue une menace pour une région déterminée. Ce principe est essentiel pour l'évaluation des risques majeurs et s'avère indispensable dans la planification territoriale. L'évaluation du risque, comprenant des facteurs comme la sévérité, l'imminence et la fréquence dans une zone spécifique, n'anticipe pas les dégâts possibles en termes de pertes humaines, de dévastation d'infrastructures ou d'impacts économiques. **(Belarbi, 2019)**

Dans le cas des inondations résultant d'aléas hydro climatiques, évalués selon des facteurs comme les précipitations, la hauteur et la durée de l'inondation, ainsi que la vitesse et la turbulence du courant. Plus le niveau de l'eau est élevé et une vitesse de courant supérieure à 1 m/s intensifie l'aléa, rendant les déplacements difficiles, même en eaux peu profondes **(Defossez, 2009)**.

5.2. Vulnérabilité :

La vulnérabilité est une notion aux multiples facettes, définissant le niveau de dommages possibles qu'un phénomène naturel peut infliger aux enjeux. Elle prend en compte des éléments à la fois socio-économiques, géographiques et institutionnels.

D'après le Ministère de l'Écologie, la vulnérabilité se réfère au niveau des conséquences attendues d'un risque sur les enjeux, tandis que la NOAA l'interprète comme la propension des ressources à subir l'impact d'un aléa. Cependant, ces définitions n'intègrent pas la capacité de réponse.

Rodolphe d'Ercole caractérise la vulnérabilité comme la tendance d'une société à être affectée lors de l'apparition d'un événement naturel ou humain. Jean-Claude Thouret enrichit cette perspective en définissant la vulnérabilité comme un ensemble de facteurs structurels, fonctionnels et géographiques qui ont un impact sur la capacité à répondre aux catastrophes (Dauphiné et Provitolo, 2013).

5.2.1. Composantes de la vulnérabilité

- **Exposition** : présence des problématiques dans une zone vulnérable.
- **Sensibilité** : niveau d'influence subi par les problématiques.
- **Résilience** : aptitude à se remettre après un désastre.

5.2.2. Catégories de vulnérabilité:

- **Vulnérabilité biophysique** : Cela fait référence aux préjudices éventuels qui peuvent toucher les individus, les biens matériels et l'environnement. Elle est conditionnée par l'exposition, la résistance et la sensibilité.
- **Vulnérabilité sociale** : Associée aux traits socio-économiques des individus et à leur aptitude à prévoir, réagir et récupérer suite à une crise.
- **Vulnérabilité spatiale** : Il s'agit de la capacité d'une région à subir et propager les perturbations, en fonction de variables comme la densité de population, l'agencement spatial et les politiques de développement.

5.3. Le risque :

Le risque est une notion complexe qui se décrit comme l'interaction entre un aléa (naturel ou d'origine humaine) et la vulnérabilité des enjeux (**Dauphiné, 2003**). Cette définition, qui établit le risque comme étant l'égalité Risque, Aléa et Vulnérabilité des enjeux, néglige la résilience. Elle appelle à une reformulation où le risque serait déterminé en fonction de (l'aléa, de la vulnérabilité des enjeux et de la résilience). D'après l'UNDRR, le risque se fonde sur la possibilité de pertes humaines et matérielles, évaluées en termes de probabilité.

Actuellement, la recherche envisage le risque comme un assemblage d'aléa, de vulnérabilité et de résilience, particulièrement lorsque des incidents provoquent des dommages significatifs qui excèdent les capacités d'intervention des autorités. Les incidents jugés comme risques majeurs ont une probabilité d'occurrence faible mais entraînent des conséquences sévères, définis par un seuil de 30 décès ou plus selon les Nations unies.

5.4. Formule générale du risque :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{enjeux} \times \text{vulnérabilités}$$

6. Approches d'évaluation du risque : qualitative, semi-quantitative, quantitative :

6.1. Approche qualitative :

L'approche qualitative examine les processus et les facteurs de fragilité d'une société, en se focalisant sur des variables socio-économiques et des dimensions institutionnelles. Elle utilise des enquêtes de terrain et des entretiens pour analyser la vulnérabilité et les risques. Un outil clé est la matrice de croisement des niveaux d'aléa et de vulnérabilité pour évaluer le risque global, tout en définissant la vulnérabilité comme la capacité de résilience d'une société face aux catastrophes. (Bekhira, 2019)

6.2. Approche semi-quantitative :

L'approche semi-quantitative combine des données descriptives et des pondérations numériques pour évaluer le risque. Elle classe les zones ou les groupes de population en groupes basés sur l'exposition et la capacité de réponse face à un événement, permettant de créer une carte de vulnérabilité.

Chapitre I : Risque d'inondation et gestion territoriale

La méthode AHP (Analytique Hiérarchie Procès) hiérarchise des facteurs comme la pente, les précipitations, la densité de population et la distance aux cours d'eau, en leur attribuant des poids pour générer des informations spatiales précises dans un SIG.

6.3. Approche quantitative :

L'approche quantitative évalue les conséquences d'une inondation, principalement en termes monétaires, en mesurant les dommages directs et indirects. Elle utilise des indices de dommages de 0 à 1 pour quantifier les pertes physiques, sociales et environnementales. Des simulations hydrauliques avec des logiciels comme HEC-RAS fournissent des données sur les hauteurs d'eau et les débits, permettant ainsi de calculer la charge financière des inondations sur la société. (Bourenane, 2017)

Tableau 1.2 : Comparaison des approches d'évaluation du risque selon le niveau de précision et les méthodes d'analyse, Source : auteurs.

Approche	Définition	Méthode	Résultat
Qualitative	Évaluation basée sur le jugement et l'expertise	Observation, description	Classes (faible, moyen, élevé)
Semi-quantitative	Combinaison de données qualitatives et numériques	Systèmes de scores, indices	Valeurs relatives (ex : 1 à 5)
Quantitative	Analyse basée sur des données mesurables	Modèles mathématiques, probabilités	Valeurs numériques précises

7. Les inondations en zones urbaines sahariennes:

7.1. Caractéristiques climatiques et hydrologiques du Sahara :

7.1.1. Caractéristiques Climatiques :

Le climat saharien est caractérisé comme hyperaride, avec des précipitations annuelles très faibles, allant de 90 mm à 110 mm, et une forte irrégularité dans leur distribution. Les mois les plus humides sont octobre, mars et mai, tandis que l'été est pratiquement sec. L'évapotranspiration est intense, atteignant environ 1 270 mm par an, accentuant la sécheresse des sols, surtout en été. (Bekhira et al, 2019)

Les températures varient considérablement entre deux saisons : une saison chaude de mai à octobre avec des moyennes dépassant 20 °C et des pics allant jusqu'à 34 °C à 45 °C, et une saison froide de novembre à avril avec des minima autour de 10 °C. L'amplitude thermique annuelle et journalière est marquée. Enfin, les vents, notamment le Sirocco, contribuent à l'augmentation de l'évapotranspiration et à l'érosion, étant souvent chargés de sable. **(Bekhira, 2019).**

7.1.2. Caractéristiques Hydrologiques :

Les caractéristiques hydrologiques du Sahara, bien qu'arides, révèlent une dynamique violente, les cours d'eau, appelés oueds, sont généralement intermittents et sous un régime torrentiel, restant secs la plupart de l'année, mais peuvent subir des crues soudaines et dévastatrices en cas d'averses orageuses violentes. Par exemple, une crue exceptionnelle à Béchar en 2008 a atteint un débit de 830 m³/s, avec des niveaux d'eau variant entre 5,5 et 8 mètres, **(Bekhira, 2020)**

Le ruissellement est accentué par une faible couverture végétale typique de la steppe aride et des sols souvent imperméables ou dégradés, la forte pente des versants, estimée à environ 3,21 m/km dans le bassin de Béchar, favorise la concentration rapide des eaux vers les exutoires, **(Bekhira, 2020).**

8. Facteurs de vulnérabilité liés à la morphologie :

La morphologie de ces villes aggrave les risques naturels par plusieurs mécanismes :

- **Rétrécissement des sections d'écoulement :** Les constructions directement sur les berges et le dépôt de déchets solides créent des goulots d'étranglement. Cela empêche l'évacuation normale des eaux de crue, provoquant des débordements vers les habitations.
- **Effet d'imperméabilisation :** L'extension des surfaces bétonnées réduit l'infiltration naturelle et accélère le ruissellement superficiel, transformant des pluies rares en crues brutales.
- **Suppression des stabilisateurs de sols :** L'élimination des palmiers et l'exploitation illicite du sable de l'oued détruisent la structure naturelle du lit et suppriment la cohésion des sols qui maintenait les berges.

9. Les risques d'inondation : exemples mondiaux et algériens :

9.1. L'inondation dans le monde :

D'après les informations d'EM-DAT, administré par le CRED, environ 40 % des désastres naturels répertoriés mondialement sont des inondations, de 1970 à 2024, les dangers liés à l'eau ont constitué la moitié de l'ensemble des catastrophes et 45% du total des décès recensés.

Depuis l'an 2000, le nombre de catastrophes dues aux inondations a subi une hausse notable de 134 % comparativement aux vingt dernières années, soulignant l'escalade de ce phénomène sous l'influence du changement climatique et de l'expansion urbaine. Voici un inventaire des inondations qui ont eu lieu à travers le monde de l'année 2000 jusqu'à maintenant en 2026 (Veuillez consulter l'ANNEXE 1).

Tableau 1.3 : Les inondations dans le monde entre 2000 à 2026. (Tableau complet dans l'annexe 1), source: EM-DATA CRED.

Pays	Région	Année	mois	N total de décès	N total de affecté
China	Asia	2016	6	289	60000000
Pakistan	Asia	2022	6	1739	33012865
India	Asia	2017	8	514	17200000
India	Asia	2023	6	1529	10250000
Iran	Asia	2019	3	70	10001076
China	Asia	2020	6	22	10000000
India	Asia	2024	8	25	8007173
Bangladesh	Asia	2017	8	144	8000000

9.2. Les inondations au Brésil dans l'État du Rio Grande do Sul 2024 :

Les inondations ayant eu lieu au Brésil dans l'État du Rio Grande do Sul à partir du 29 avril 2024 constituent l'une des catastrophes hydrologiques les plus sévères recensées dans le monde depuis plus de huit décennies. Une inondation se définit comme la couverture temporaire d'espaces habituellement secs par des précipitations abondantes ou le débordement de cours d'eau. Du 26 avril au 2 mai 2024, diverses villes ont connu des pluies hors du commun de l'ordre de 500 à 700 mm, alors que d'autres ont reçu entre 300 et 400 mm, ce qui a eu un impact sur plus de 60 % de la surface de l'État. Les principaux enjeux

concernaient la population 209 décès, les habitations, les infrastructures routières ainsi que les réseaux d'eau et d'électricité. Les conséquences ont été particulièrement importantes, avec plus d'une centaine de victimes, de nombreux disparus et blessés, plus de 1,4 million de personnes touchées et des centaines de milliers de déplacés. Les dégâts ont également entraîné des coupures d'eau et d'électricité, la destruction de routes et des glissements de terrain. Face à l'ampleur de la catastrophe, le gouvernement fédéral a déclaré l'état de calamité publique, tandis que le niveau du lac Guaíba à Porto Alegre a atteint 5,33 mètres, dépassant le record historique de 1941.



Figure 1.3 : Les inondations au Brésil dans l'État du Rio Grande do Sul 2024, Source : Journal Le Courrière de Vietnam.

9.3. Les inondations en Algérie :

En Algérie, les inondations constituent l'un des risques naturels majeurs, mettant en péril la vie des personnes et les infrastructures. Considérées comme le deuxième danger le plus sérieux après les tremblements de terre, leur occurrence varie selon les régions. L'explication des taux les plus importants se trouve dans le fait que le nord côtier et montagneux est caractérisé par une densité urbaine importante et la localisation des villes à l'endroit où les fleuves se jettent dans la mer.

Selon les documents techniques de la Délégation Nationale aux Risques Majeurs (DNR), on compte plus de 865 zones sujettes aux inondations sur toute l'étendue du territoire. Ces dernières années, l'impact du changement climatique a intensifié la sévérité de ces

incidents, provoquant d'importantes pluies sur de brèves durées. L'ANRH, ou Agence Nationale des Ressources en Eau

Sur le plan économique et préventif, ces crues ont entraîné des dommages matériels évalués à plusieurs milliards de dinars. En réponse à cette situation, les responsables algériens ont intensifié leurs efforts dans le cadre de la Stratégie Nationale de Prévention des Grands Risques (Horizon 2035). Le risque est particulièrement élevé dans les zones intérieures et méridionales. Et c'est l'inondation de la mémoire algérienne telle que l'inondation de Bâb El Wed, Ghardaïa, Constantine et Béchar :

9.3.1. Les inondations de Bâb El Oued:

Le 9 et 10 novembre 2001 à Alger, restent l'une des calamités naturelles les plus significatives en Algérie, ces événements ont été déclenchés par des pluies abondantes et localisées, qui ont dépassé 260 mm en moins de 24 heures dans la zone de Bouzaréah. Cette situation a provoqué une inondation éclair, amplifiée par le paysage irrégulier et la localisation du quartier de Bâb El Oued en aval du bassin versant d'Oued Koriche.

L'impact humain a été particulièrement pesant, comptant environ 781 décès et plus de cent disparitions, en plus d'importantes destructions matérielles affectant plusieurs milliers de logements, (Cheikhlounis et al, 2009).



Figure 1.4 : La crue de Bâb El Oued en 2001, Source : Yakhlofoune, 2024.



Figure 1.5 : La crue de Bâb El Oued en 2001, Source : Yakhloufone, 2024.

9.3.2. Les inondations de Ghardaïa :

Le 1^{er} octobre 2008 dans la vallée du M'Zab, représentent l'un des désastres naturels les plus significatifs dans la partie sud de l'Algérie, ce phénomène a été déclenché par des précipitations torrentielles hors du commun qui se sont produites provoquant une élévation rapide du niveau de l'eau et le débordement des oueds. Cette inondation inattendue, parfois appelée « tsunami fluvial », a affecté de nombreuses municipalités de la wilaya de Ghardaïa, entraînant des dommages significatifs tant sur le plan humain que matériel, **(Boulaghmen et Benouar, 2019)**.

Le décompte de ce désastre révèle plusieurs dizaines de victimes, avec plus de 40 décès, en plus des nombreuses familles touchées et des pertes économiques considérables. Les recherches scientifiques démontrent que cette inondation est associée non seulement à un niveau exceptionnel de pluie, mais aussi à la susceptibilité de la région, marquée par une urbanisation dans des zones sujettes aux inondations et une exposition significative aux débordements de l'oued M'Zab, **(Belarbi, 2016)**.



Figure 1.6 : Vue Aérienne du débordement d'Oued M' Zab au matin du 1er Octobre 2008

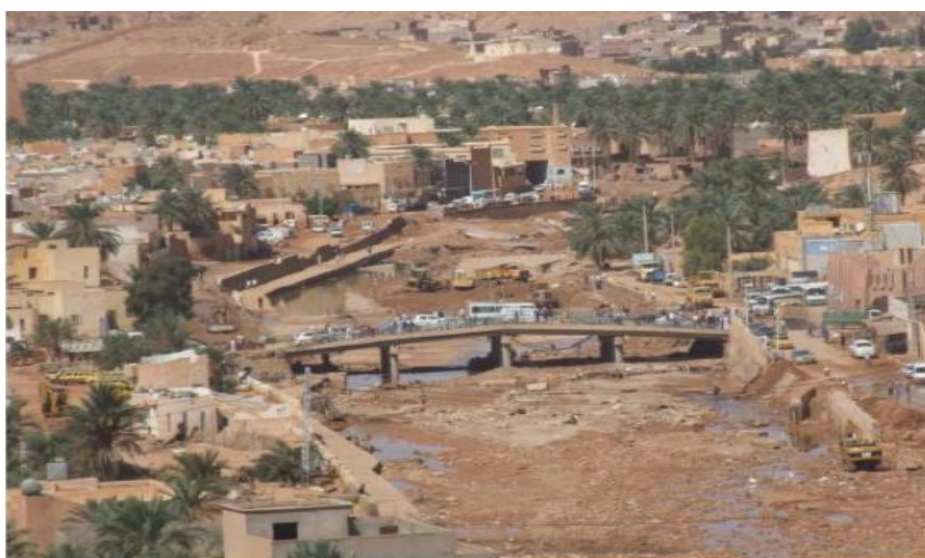


Figure 1.7 : Vue Aérienne après l'inondation d'Oued M'Zab au matin du 9 Octobre 2008

9.3.3. Les inondations de Constantine (2018) :

L'inondation majeure survenue le 19/09/2018 à l'agglomération de Djebli Ahmed, attribuée principalement au débordement du cours d'eau Oued Ziad suite à des pluies torrentielles, a provoqué des dommages considérables pour les habitants (avec deux décès et dix-neuf blessés), pour les biens matériels (de nombreuses voitures ont été emportées par la crue de l'oued) ainsi que pour les Infrastructures (routes bloquées, perturbations de

l'économie). Durant cette pluie exceptionnelle, le pluviomètre de la station de Hamma Bouziane, localisée à proximité d'Oued Ziad, a noté 33,5 mm en seulement 40 minutes.

Cela a généré un débit considérable atteignant 60 m³/s et une intensité équivalente à 139.6 l/s/h d'après l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Ce débit important a entraîné l'accumulation de nombreux troncs d'arbres et blocs qui ont été déposés dans la section aval où ils ont obstrué le ponceau, provoquant le débordement de l'eau sur la route nationale 27, (Yakhlefoune, 2024).



Figure 1.8 : Les inondations de Djebli Ahmed Constantine, Source : Yakhlefoune, 2024.



Figure 1.9 : Les inondations de Djebli Ahmed Constantine, Source : Yakhlefoune, 2024.

Chapitre I : Risque d'inondation et gestion territoriale

Tableau 1.4 : Les inondations dans l'Algérie entre 2000 à 2026, Source : EM-DATA CRED. (tableau complète dans l'annexe 2)

Location	Année	mois	N total de décès	N total de affecté
Chlef, Laghouat, Blida, Tiaret, Djelfa, Médéa, Mascara, El Bayadh, Boumerdes, Tissemsilt, Tipaza, Ain-Defla, Relizane	2026	1	1	6000
Chlef Province	2021	3	10	2500
Tindouf province	2015	10		35000
Tindouf province	2006	2	1	60000
Bab Al-Assa Municipalité (Tlemcen); El Haoudh Village (El Bayadh Province)	2023	9	8	1668
Jijel	2024	2		1000
Béchar, Elbayadh, Beni Abbes, Tamanrasset, Tiaret, Tindouf, and Naama	2024	9	5	11000

10. Conclusion :

À travers ce chapitre, il apparaît que les inondations représentent un risque naturel majeur aux conséquences humaines, économiques, sociales et environnementales considérables. L'étude des différents types de risques naturels a permis de situer les risques hydrologiques parmi les phénomènes les plus récurrents et les plus destructeurs, particulièrement dans les espaces urbains vulnérables. L'analyse des crues, des mécanismes d'inondation et de leurs impacts montre que ces catastrophes résultent non seulement des phénomènes naturels, mais également de facteurs anthropiques tels que l'urbanisation incontrôlée.

Face à ces enjeux, les approches modernes d'analyse et de gestion des risques, notamment à travers les outils géomatiques, la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), apparaissent comme des moyens indispensables pour la cartographie, la modélisation et la prévention des inondations. Ces outils offrent des perspectives importantes pour améliorer la planification urbaine, renforcer la résilience des territoires et contribuer à une gestion durable des risques hydrologiques.

Chapitre 2

Apport de la géomatique dans l'analyse et la gestion des risques d'inondation

CHAPITRE II : APPORT DE LA GEOMATIQUE DANS L'ANALYSE ET LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION

1. Introduction

La géomatique représente aujourd'hui un outil essentiel pour l'analyse et la gestion des territoires grâce à l'intégration des technologies de cartographie, de télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG), elle permet de collecter, traiter, analyser et représenter les données spatiales afin de mieux comprendre les phénomènes naturels et leurs impacts.

Dans le domaine des risques d'inondation, la géomatique joue un rôle majeur dans la cartographie des zones vulnérables, le suivi des crues et l'aide à la prise de décision pour la prévention et l'aménagement territorial. Ce chapitre présente les notions fondamentales de la géomatique, de la télédétection et des SIG, ainsi que leurs applications dans l'étude et la gestion des risques d'inondation.

2. Notions de base en géomatique

2.1. Concept de la géomatique :

La géomatique est un domaine qui englobe toutes les méthodes et techniques pour gérer les données géographiques ayant une référence spatiale, elle comprend les procédures de collecte, de conservation, de traitement, d'analyse et de distribution de ces informations, le mot géomatique découle de l'abréviation des termes géographie et informatique, la géomatique offre donc la possibilité d'exploiter au mieux ces deux domaines. (Bergeron, 1992)

Elle se base sur la fusion de diverses disciplines comme la géodésie, la cartographie, la topographie, la télédétection et l'informatique, actuellement, la géomatique est un instrument crucial pour soutenir la prise de décision, spécialement en ce qui concerne l'organisation du territoire et la gestion des risques naturels.

2.2. Objectifs de la géomatique :

La finalité ultime de la géomatique est de représenter spatialement les données collectées pour identifier, illustrer et mettre en évidence les résultats d'analyses statistiques. Ainsi, la géomatique introduit un nouvel aspect d'analyse pour vos données.

2.3. Historique de la géomatique :

L'évolution de la géomatique s'inscrit dans un processus historique marqué par plusieurs étapes clés, les premières bases remontent aux travaux de Thalès de Milet, qui a posé les fondements de la géométrie. Durant le Moyen Âge, les méthodes de navigation ont conduit à la création de cartes maritimes plus exactes, puis au cours de l'ère des grandes explorations, des navigateurs comme Christophe Colomb et Fernand de Magellan ont contribué à enrichir notre savoir en matière de géographie.

Napoléon Bonaparte a favorisé l'émergence de la cartographie moderne au XIXe siècle en instaurant le cadastre, l'expansion de la photographie aérienne suivie du lancement du satellite Sputnik 1 en 1957 a caractérisé le vingtième siècle.

Par la suite, le programme Landsat a offert une surveillance constante de la Terre, des instruments tels que Google Earth ont transformé radicalement l'accès aux données géographiques.

2.4. Les composantes de la géomatique

La géomatique repose sur quatre composantes principales :

- **L'acquisition des données :**

Elle correspond à la collecte des informations géographiques à l'aide de différentes techniques telles que les relevés topographiques, les images satellitaires et les capteurs.

- **Le traitement des données**

Cette phase implique la conversion des données brutes en informations utilisables grâce à des processus de tri, de classement et d'analyse spatiale.

- **La diffusion des données**

Elle aspire à mettre les informations à la disposition des utilisateurs par le biais de supports numériques ou de plateformes web, des outils comme QGIS occupent une place centrale dans l'intégration de ces éléments.

- **La représentation des données**

Elle permet de visualiser les informations sous forme de cartes, de modèles numériques ou de représentations 3D.

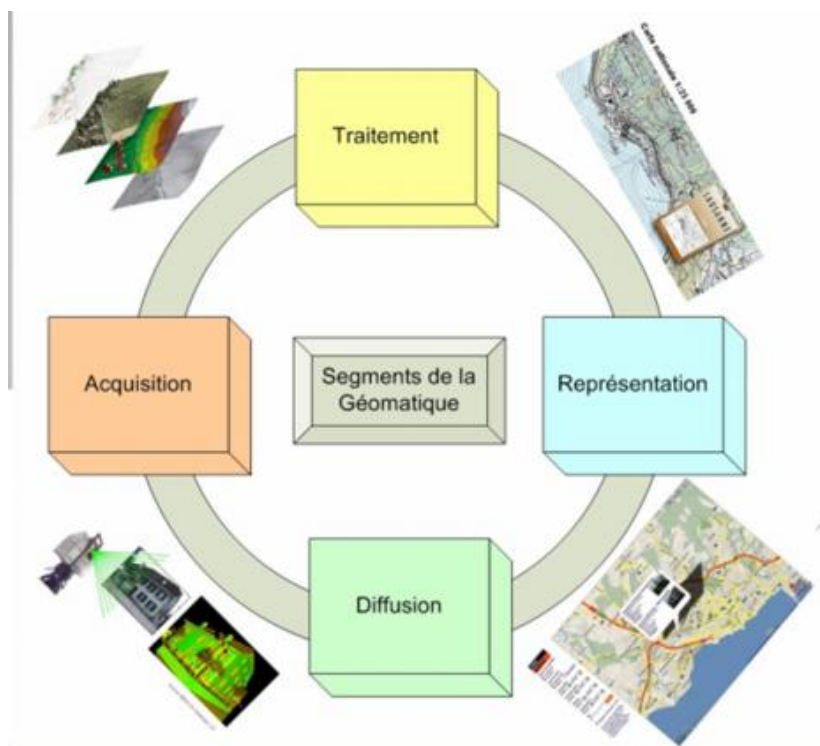


Figure 2.1 : Les composants de la géomatique, Source : Cours TLD Univ Tlemcen.

3. Les apports de la géomatique dans l'étude des inondations :

La géomatique joue un rôle fondamental dans l'analyse et la gestion des risques d'inondation. Elle permet notamment :

- La cartographie des zones inondables
- L'analyse des bassins versants
- La modélisation des écoulements hydrologiques
- L'identification des zones vulnérables

4. Les applications de la géomatique

La géomatique trouve des applications dans plusieurs domaines :

- **Gestion des risques naturels** : La géomatique en utilisant les données spatiales et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), facilite l'identification, l'analyse et

la surveillance des risques naturels tels que les inondations, les séismes et les glissements de terrain. Cela contribue à prévenir les catastrophes et à minimiser leurs effets.

- **Aménagement du territoire** : La géomatique est mise en œuvre pour structurer et orchestrer l'usage de l'espace (zones urbaines, industrielles, agricoles) afin d'assurer un développement harmonieux et pérenne des régions.
- **Gestion des ressources hydrauliques** : Elle offre la possibilité de surveiller et de gérer les ressources en eau (rivières, nappes phréatiques, barrages) grâce à des cartes et des analyses spatiales afin d'améliorer l'usage de l'eau et d'éviter les pénuries ou les inondations.
- **Suivi environnemental** : La géomatique offre la possibilité de suivre les modifications environnementales (comme la pollution, la déforestation, le changement climatique) par le biais d'images satellites. Préserver l'environnement et appuyer le développement durable.
- **Transport et logistique** : On l'utilise pour étudier les réseaux de transport et perfectionner les trajets. Dans le but de minimiser les dépenses, optimiser le temps de trajet et perfectionner la gestion logistique.
- **Agriculture** : Grâce aux données satellites et aux SIG, la géomatique facilite le suivi des cultures et l'étude des sols afin d'optimiser l'utilisation de nos ressources.

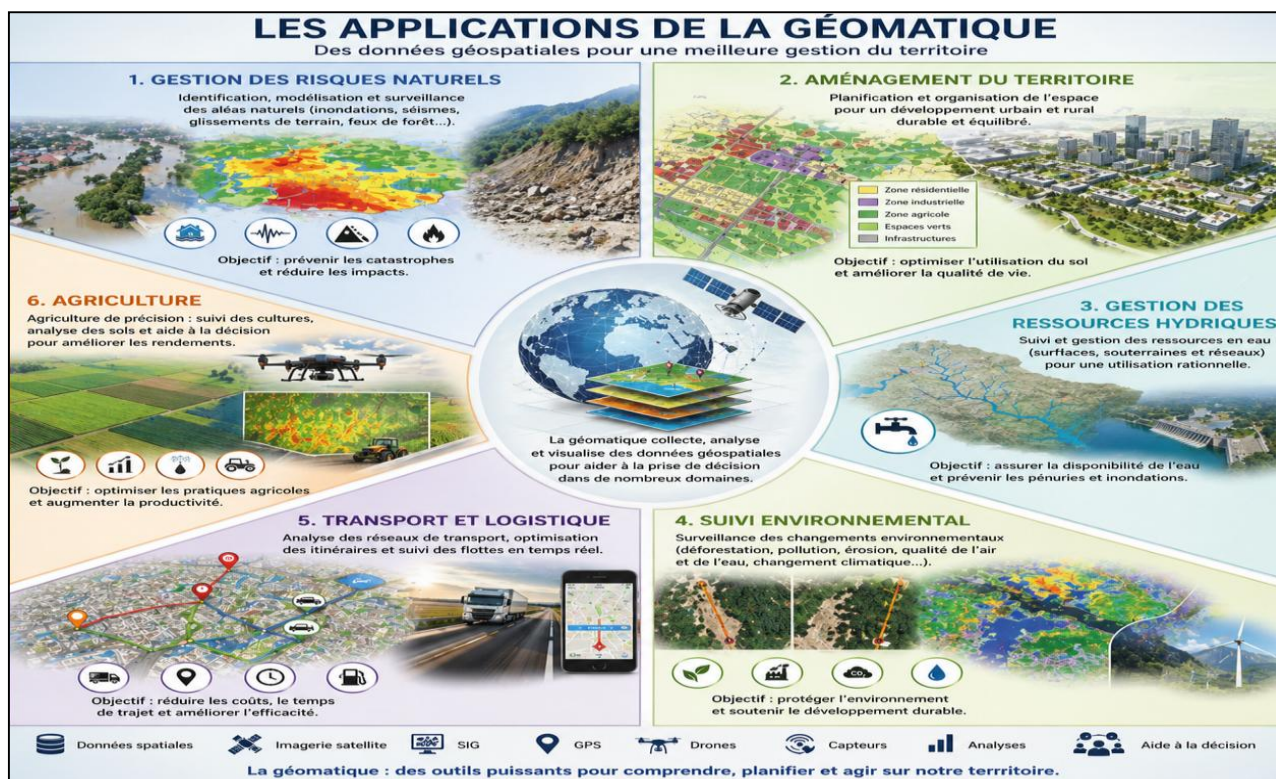


Figure 2.2 : Les applications de la géomatique, Source : auteurs.

5. Données géographiques : vecteur, raster, attributs :

L'information géographique au sein d'un SIG est structurée en couches de données superposables, s'appuyant sur trois composantes essentielles : les modes de représentation vecteur et raster, ainsi que les données attributaires qui les qualifient (Wiley, 2021).

5.1. Les données Vecteur

Le format vectoriel représente les entités géographiques en utilisant des coordonnées précises et des formes géométriques, où les formes géométriques sont organisées en points, lignes ou (poly lignes) et polygones. Et souvent utilisé. Les formats supportés incluent le Shape file (.shp), le GeoJSON, le KML et le GeoPackage.

5.2. Les données Raster :

La forme raster se compose d'une matrice de cellules (pixels), chaque cellule ayant une valeur déterminée, et la Nature, on favorise ce format pour les phénomènes qui se produisent de manière continue dans l'espace. Ce dernier comprend des données d'images satellite (Landsat, Sentinel-2), des Modèles Numériques de Terrain (MNT) illustrant l'altitude, ainsi que des cartes d'indices calculés tels que le NDVI (pour la végétation) ou le NDBI (pour les

constructions), où la précision est liée à la dimension du pixel (par exemple, 10 m pour Sentinel-2 ou 12,5 m pour ALOS-2).

5.3. Les données Attributaires (Attributs) :

Les attributs sont des données alphanumériques (textes ou nombres) qui caractérisent les propriétés des entités géographiques. Ils améliorent les données géo spatiales afin de faciliter des analyses et des interrogations compliquées.

6. Importance de la géomatique dans la gestion des risques :

La géomatique joue un rôle essentiel dans la gestion des risques grâce à l'utilisation des Systèmes d'information géographique et de la Télédétection. Elle permet de :

- Identifier les zones à risque (inondations, séismes, incendies)
- Surveiller les phénomènes en temps réel
- Analyser les données spatiales pour aider à la prise de décision
- Produire des cartes des risques claires et précises
- Prévoir et prévenir les catastrophes. (Manfré et al, 2012)

7. Applications concrètes : cartographie des zones inondables, suivi temporel des crues :

L'utilisation pratique de la géomatique dans le domaine de la gestion des inondations repose essentiellement sur l'élaboration de cartes de référence et l'établissement de systèmes de suivi dynamique.

7.1. Cartographie des zones inondables :

L'objectif de cette application est de cartographier l'étendue des inondations et de repérer les zones sensibles pour différents niveaux de probabilité d'occurrence.

7.1.1. Modélisation hydraulique (HEC-RAS) :

L'outil de prédilection pour modéliser le flux des eaux est HEC-RAS, qui est généralement associé à QGIS grâce à l'extension HEC-GeoRAS. Cette approche a facilité une cartographie précise de l'étendue de l'inondation pour des périodes de retour de 25, 50

et 100 ans. Les résultats proviennent de données essentielles telles que les hauteurs d'eau et les vitesses de courant (Bekhira, 2019).

7.1.2. Analyse multicritères (AHP) :

La technique AHP, incorporée dans un SIG, facilite la hiérarchisation des éléments physiques (inclinaison, altitude, densité de drainage) et urbains pour générer des cartes illustrant la vulnérabilité et le risque global, (Yakhlefoune, 2024).

7.1.3. Modélisation basée sur le MNT (DEM):

L'emploi de Modèles Numériques de Terrain (MNT) à haute résolution (par exemple : ALOS-2 à 12,5 m) est essentiel pour saisir les microreliefs et les talwegs qui orientent les flux. Des programmes tels que Global Mapper offrent la possibilité d'appliquer des niveaux d'eau hypothétiques sur ces modèles afin de représenter les croisements avec les infrastructures essentielles, telles que le réseau routier (Boualamat N et al, 2025).

7.1.4. Perspective historique et PHEC :

La cartographie prend aussi en compte les Plus Hautes Eaux Connues (PHEC), déterminées suite à des investigations ou basées sur des archives, afin de délimiter l'étendue maximale historique des zones sujettes aux submersions (Reghezza M, 2007).

8. Suivi temporel et dynamique des crues :

L'analyse temporelle utilise la régularité des capteurs pour suivre l'évolution du risque et la survenue d'événements.

8.1. Analyse diachronique (Occupation du sol) :

L'utilisation de la télédétection (grâce à Landsat ou Sentinel) offre la possibilité d'observer l'expansion urbaine et la détérioration de la végétation (évaluée par l'indice NDVI) sur plusieurs décennies.

8.2. Google Earth Engin (GEE) :

Cette plateforme offre la possibilité de récupérer l'historique des inondations sur de vastes intervalles de temps (par exemple, 2015-2024) en scrutant les séries chronologiques d'images satellites pour repérer les zones vulnérables habituelles, (Boualamat N, Mehdaoui T, 2025).

9. Surveillance en temps réel et alertes :

- **Capteurs de niveau radar** : Des systèmes tels que le capteur VEGAPULS effectuent des mesures continues de la hauteur d'eau et transmettent des notifications automatiques (SMS/Email) dès qu'une limite critique est atteinte.
- **Imagerie Radar (SAR)** : À la différence de l'optique, le radar a la capacité de dresser une cartographie des zones inondées en temps réel, même en présence d'une épaisse couche nuageuse.
- **Cinématique des crues** : les simulations aident à reproduire l'aspect temporel du phénomène physique (rapidité de la montée des eaux, durée de la submersion), ce qui permet aux responsables d'anticiper les délais nécessaires pour l'évacuation.

10. La télédétection : principes et données utilisées

10.1. La télédétection :

La télédétection regroupe toute une palette de méthodes permettant, grâce à la capture d'images, de recueillir des données sur la surface terrestre (incluant l'atmosphère et les océans), sans avoir besoin d'un contact direct avec celle-ci. Cela inclut l'ensemble du processus de saisie et d'enregistrement de l'énergie provenant d'un rayonnement électromagnétique, qu'il soit émis ou réfléchi, le traitement et l'analyse de l'information qu'il véhicule, puis la mise en œuvre de cette information.(Campbell, J.B. et al, 2023).

10.2. Rôle de la télédétection :

La télédétection joue un rôle crucial dans l'observation de la surface terrestre, facilitant l'analyse des dynamiques spatiales et la gestion des risques naturels, ses fonctions clés incluent la collecte de données à distance, la couverture spatiale étendue, l'accès à des zones difficiles, et l'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol.

Elle permet également la cartographie, la mesure de l'étalement urbain, la gestion du risque d'inondation, ainsi que l'identification et la modélisation topographique. En intégrant ces données dans des Systèmes d'Information Géographique (SIG), la télédétection aide à la prise de décision et à la création de plateformes de WebMapping pour les urbanistes et autorités locales.

10.3. Histoire de la Télédétection :

Période 01 : En 1856, premier appareil photographique installé à bord d'un ballon.

Période 02 : Entre 1914-1950, utilisation de la photographie aérienne dans le domaine de la cartographie, recherche pétrolière et suivi de la végétation.

Période 03 : 1957-1972, l'exploration de l'Espace, avènement de la télédétection actuelle.

Période 04 : En 1972, premier lancement du satellite Landsat 1, satellite d'observation de la terre.

Période 05 : à partir de 1972, évolution des satellites d'observations de la terre, les satellites THRS (Ikonos, Quicbird, Spot, Pléiades), les satellites HRS (Landsat, Aster, Spot) Les satellites HRT (Spot Végétation, NOAA, Météosat, GOES, GPS)

11. Applications de la télédétection :

Les applications de la télédétection se sont multipliées, dans de nombreux domaines, tels que :

- La météorologie
- La climatologie
- L'océanographie
- La cartographie
- De la géographie.

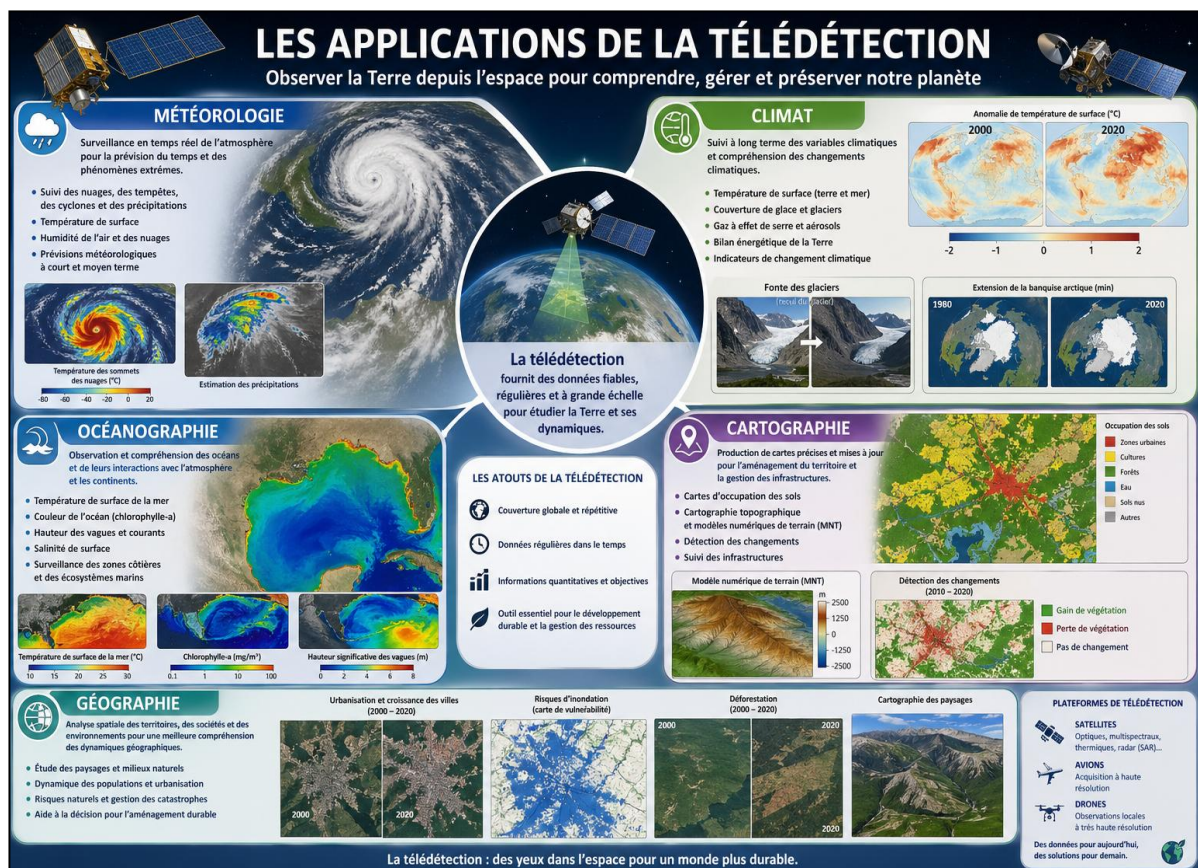


Figure 2.3 : Les applications de la télédétection, Source : auteurs.

12. Types de capteurs : optiques, radar, lidar :

12.1. Le capteur :

Instrument qui capte l'énergie radiative émanant de la scène observée et génère un signal électrique quantifiable, permettant de convertir les ondes électromagnétiques en données perceptibles et analysables par l'homme. **(Briottet & Weber, 2013)**

12.2. Capteurs Optiques (Passifs) :

Les capteurs optiques, qualifiés de passifs, enregistrent le rayonnement solaire réfléchi par les objets à la surface de la Terre, mesurant la réflectance dans les spectres visibles (Rouge, Vert, Bleu), proche infrarouge (IR) et infrarouge moyen (SWIR).

Ils sont essentiels pour diverses applications telles que la cartographie de l'occupation du sol (LULC), le suivi de la végétation à l'aide de l'indice NDVI, et l'analyse de l'expansion urbaine par l'indice NDBI. Parmi les satellites utilisant ces capteurs, on trouve Landsat (5, 8, 9), Sentinel-2, SPOT, QuickBird et WorldView. Néanmoins, leur efficacité est entravée par la couverture nuageuse, pouvant obscurcir la surface terrestre.

12.3. Capteurs Radar (Actifs) :

Le radar est un capteur actif qui génère ses propres micro-ondes pour mesurer l'énergie réfléchie par des cibles, permettant son fonctionnement sous diverses conditions météorologiques, y compris à travers les nuages et la pluie, de jour comme de nuit. La technologie SAR (Radar à Synthèse d'Ouverture) équipe des satellites tels qu'ALOS-2 (bande L) et Sentinel-1 (bande C).

Elle est essentielle pour la modélisation topographique fine, notamment dans la création de Modèles Numériques de Terrain (MNT), en capturant avec précision des microreliefs. De plus, en gestion des risques, ces capteurs radar jouent un rôle crucial dans la mesure de l'intensité des précipitations et la cartographie des inondations, même par temps couvert.

12.4. Captures LiDAR (Light Detection and Ranging) :

Les capteurs LiDAR (Light Detection and Ranging) sont des dispositifs actifs qui emploient des impulsions laser pour déterminer les distances entre le capteur et la surface terrestre. Cette technologie est capable de produire des modèles d'élévation à très haute résolution, offrant une précision atteignant le centimètre.

Les applications du LiDAR incluent l'analyse détaillée de la topographie, la cartographie rigoureuse des zones inondables, ainsi que l'observation des structures des cellules orageuses, (Yakhlefoune, 2024).

13. Les Plates-Formes Utilisées en Télédétection Active et Passive

Afin de capturer l'énergie réfléchie ou émise par une surface ou un objectif spécifique, il est nécessaire de positionner un détecteur sur une plateforme éloignée de la surface ou du but observé.

Ces dispositifs peuvent être positionnés :

- A proximité de la surface de la Terre, par exemple sur le sol, dans un avion ou un ballon, voire un drone.
- Que ce soit à l'intérieur ou en dehors de l'atmosphère terrestre, comme sur un engin spatial (Navette) ou un satellite.

14. Données satellitaires et images aériennes : résolution spatiale, spectrale et temporelle :

Nous évaluons la valeur et l'application des données obtenues par télédétection (images satellite et photos aériennes) en nous appuyant sur quatre résolutions clés : spatiale, spectrale, temporelle et radiométrique (Cours SIG, Tlemcen).

14.1. Résolution en termes d'espace :

La résolution spatiale détermine la taille minimale de l'objet qu'un capteur peut détecter sur le terrain, ce qui se traduit physiquement par la taille du pixel dans l'image.

14.2. Résolution élevée et très élevée (< 10 m) :

Employées dans le domaine de l'urbanisme et pour le suivi minutieux des infrastructures. Cette catégorie inclut des satellites tels que Sentinel-2 (10 m), SPOT (< 10 m) et WorldView (jusqu'à 30 cm).

14.3. Résolution intermédiaire (10 - 30 m) :

Idéale pour le suivi de l'usage du sol à l'échelle régionale. Par exemple, Landsat 8/9 dispose d'une résolution de 30 mètres (qui peut monter jusqu'à 15 mètres grâce à la fusion panchromatique).

14.4. Résolution faible (> 30 m) :

Adéquate pour des recherches climatiques à l'échelle mondiale (par exemple : MODIS à 250-1000 m).

14.5. Photos aériennes :

Elles fournissent généralement une précision remarquable, avec une résolution pouvant aller jusqu'à 15 cm, parfaite pour l'élaboration de modèles numériques de surface hautement précis.

15. Résolution en termes de spectre :

Elle fait référence à la quantité et à l'étendue des bandes spectrales (longueurs d'onde) que le détecteur est capable de percevoir.

- **Capteurs à plusieurs spectres** : Disposent de plusieurs bandes étendues (par exemple : Landsat qui a entre 7 et 11 bandes, Sentinel-2 qui en compte 13).
- **Détecteurs hyper spectraux** : Aptes à examiner des centaines de bandes finement séparées, ce qui permet de déterminer avec précision la composition chimique des substances.
- **Application** : Cette résolution est indispensable pour identifier les surfaces (végétation, eau, construction) grâce à leur signature spectrale distincte. L'emploi d'indices tels que le NDVI (végétation), le NDWI (eau) ou le NDBI (construit) est réalisé en fusionnant diverses bandes.

16. Résolution dans le temps :

Elle fait référence à la fréquence de survol (ou période de répétition) du capteur au-dessus d'une zone identique. Des exemples de cycles de revisite:

- **MODIS** : Quotidienne (résolution temporelle élevée).
- **Sentinel-2** : période de 5 jours.
- **Landsat 8/9** : cycle de 16 jours.

17. Importance des risques :

Un suivi en temps réel des phénomènes dynamiques comme l'avancement d'une crue ou la progression des inondations nécessite une résolution temporelle élevée.

17.1. Résolution Radiométrique :

Elle s'ajoute aux trois autres en évaluant l'habileté du capteur à discerner les variations de la luminosité. Elle est formulée en bits :

- **8 bits** : 256 gradations d'intensité.
- **12 bits** : 4096 niveaux,

Ce qui permet de saisir des nuances de luminosité bien plus fines, indispensables pour repérer les variations mineures de la température du sol ou de l'enveloppe nuageuse.

18. Traitements appliqués aux données : classification, indices de végétation, détection des surfaces inondées :

18.1. Classification de l'utilisation des terres (LULC)

L'objectif de la classification est de déterminer automatiquement les sortes de couverture terrestre à partir des réflectances obtenues grâce aux satellites.

18.2. Méthodes :

Les sources identifient la classification supervisée, où l'utilisateur oriente l'algorithme en proposant des exemples d'apprentissage (ROI - Regions of Interest), par rapport à la classification non supervisée.

18.3. Algorithmes fréquemment utilisés :

- **Maximum de Vraisemblance (Maximum Likelihood)** : Fréquemment choisi pour sa fiabilité, ce procédé repose sur l'hypothèse d'une distribution gaussienne des pixels afin d'évaluer la probabilité d'appartenance à une catégorie.
- **Support Vector Machine (SVM) et Random Forest (RF)** : On privilégie de plus en plus les méthodes robustes basées sur l'apprentissage automatique.
- **Apprentissage profond (Deep Learning)** : Cité pour des classements de grande précision à une résolution de 10 mètres.

18.4. Indices de végétation, d'urbanisation et d'eau :

Ces indices utilisent les variations de réflectance entre les bandes du spectre pour identifier des traits particuliers du sol.

- **NDVI (normalisé Difference Végétation Index)** : Employé pour évaluer la densité et la vitalité de la végétation en fusionnant les bandes Rouge (RED) et Proche Infrarouge (NIR). et Indice de Végétation Ajusté au Sol (SAVI), Une version du NDVI adaptée pour réduire l'impact de la luminosité du sol, essentielle dans les régions sèches.
- **NDBI (normalisé Difference Built-up Index)** : Sert à distinguer les zones bâties et à surveiller l'expansion urbaine vers les régions vulnérables.

- **NDWI (normalisé Différence Water Index) :** est un indice de télédétection qui permet de repérer les zones aquatiques et de surveiller les inondations grâce aux bandes verte et proche infrarouge des images satellites.

18.5. Identification et cartographie des zones inondées :

Pour délimiter les zones sinistrées, trois approches complémentaires sont mises en œuvre :

18.5.1. Indice de l'humidité (NDWI) :

Le Google Earth Engin (GEE) est utilisé pour calculer l'Indice Normalisé de Différence d'Eau, afin d'identifier la surface aquatique en analysant les changements spectraux post-inondation.

Simulation et modélisation hydraulique :

18.5.2. HEC-RAS :

Employé pour modéliser la propagation de l'inondation (la « tache » d'inondation) et les niveaux d'eau pour diverses durées de retour (25, 50, 100 ans).

18.5.3. SAGA GIS :

Facilite le calcul de l'Indice Topographique d'Humidité (TWI) afin de déterminer les régions où l'eau stagne et s'accumule de préférence.

- a. Données radar (SAR) :** À l'inverse de la méthode optique, les données radar (telles que celles de Sentinel-1 ou ALOS-2) autorisent une cartographie des inondations en direct, même en présence d'un ciel nuageux.
- b. Numérisation de terrain :** De plus, on peut numériser manuellement les zones inondées historiques à l'aide de QGIS en se basant sur des photos prises lors d'événements passés (par exemple : période 2015-2024).

19. Les SIG : rôle dans l'analyse et la gestion des risques

19.1. Le système d'information géographique (SIG) :

Les SIG permettent de stocker, analyser et représenter les données spatiales sous forme de bases de données géographiques (Hadeid, M. 2018), un système d'information géographique est un "système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion" (FICCDC, 1988).

19.2. Le but d'un SIG :

Un SIG a pour but d'informer sur la géographie d'un espace donné, il s'appuie donc sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes.

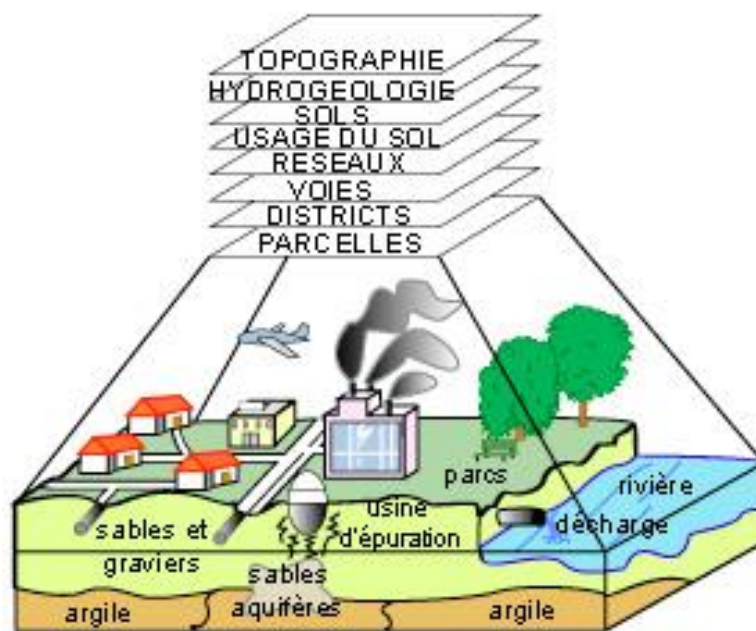


Figure 2.4 : Cours de la matière : Concepts et Méthodes en Géomatiques (CMG), Source : GOUAREF.K MAA Batna2.

19.3. Caractéristiques des Systèmes d'Information Géographique :

Abstraire : L'abstraction consiste à élaborer un modèle qui structure les données en fonction des éléments géométriques et des attributs descriptifs, tout en instaurant des relations entre les objets.

- a. **Acquérir :** L'acquisition consiste à fournir des données au SIG. Les fonctions d'acquisition impliquent, d'une part, la saisie de la forme des objets géographiques et, d'autre part, l'enregistrement de leurs attributs et relations.
- b. **Archiver :** cela implique le déplacement des données depuis l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disque dur).
- c. **Analyser :** offre la possibilité de répondre aux interrogations que l'on se pose.
- d. **Afficher :** pour générer automatiquement des cartes, pour comprendre les liens spatiaux entre les éléments, pour afficher les informations sur les moniteurs d'ordinateurs.

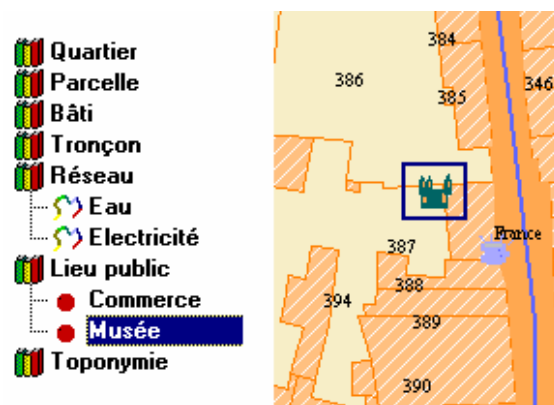


Figure 2.5 : Organisation des données descriptives et des données géométriques sous Géo Concept, Source : GOUAREF.K MAA Batna2.

19.4. Le rôle du SIG :

D'après T. Joliveau (2004), un SIG doit être envisagé non seulement comme un instrument technique, mais aussi comme un vecteur de réflexion, une mise en œuvre organisationnelle et une structure sociale. On peut le voir comme une superposition de niveaux divers, reliés par des protocoles (voir Figure).

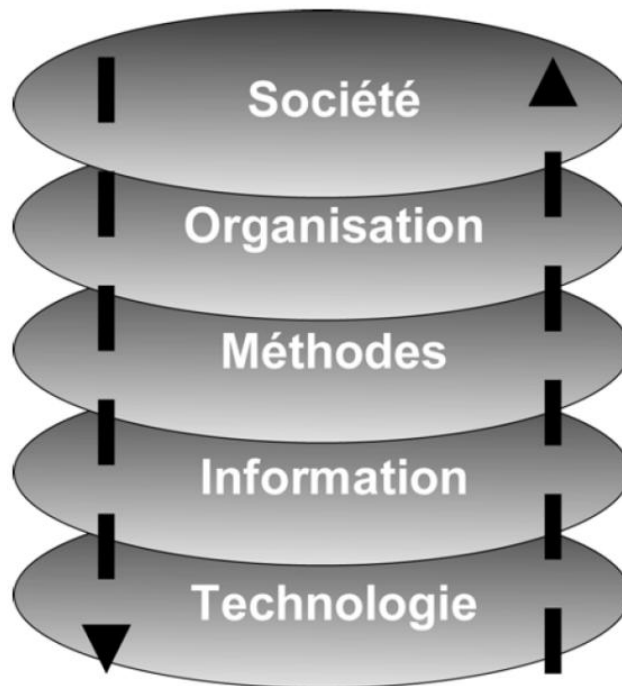


Figure 2.6 : Schéma de modèle en couches proposé par T.Joliveau, Source :
(HDR, 2004).

19.5. Fonctions principales : stockage, manipulation, analyse et visualisation des données spatiales :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est élaboré pour réaliser quatre tâches essentielles, généralement synthétisées par le principe des « 5 A » (Abstraction, Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage). Cela permet de convertir les données non traitées en instruments facilitant la prise de décision.

19.5.1. Stockage et Archivage (Archivage) :

Cette fonctionnalité fait référence à l'aptitude du système à structurer et stocker les données géo spatiales de façon sûre et pérenne.

- **Bases de données spatiales :** Les données sont conservées dans des formats structurés (par exemple : Post GIS, Oracle Spatial, SpatiaLite) qui assurent la gestion des données tant géométriques qu'attributaires.
- **Gestion de gros volumes :** Le SIG facilite l'organisation de grandes quantités de données, comprenant des images satellites et des réseaux complexes, parfois par le biais d'un hébergement dans le Cloud pour en simplifier l'accès partagé.

19.5.2. Manipulation et Mise à jour :

Le SIG offre la possibilité de modifier et d'assimiler des données issues de diverses sources (télédétection, relevés GPS, cartes historiques).

- **Édition et correction** : Le système propose des instruments pour concevoir, scanner ou actualiser des entités géographiques (points, lignes, polygones) ainsi que leurs attributs alphanumériques.
- **Interopérabilité** : Il garantit la conversion entre divers formats (de vecteur à raster et vice versa) ainsi que la transformation des systèmes de coordonnées et des projections (par exemple, du WGS84 à l'UTM).

19.5.3. Analyse spatiale (Analyse) :

Il s'agit de la fonctionnalité la plus puissante du SIG, qui permet de mettre en lumière des relations cachées dans des données traditionnelles sous forme de tableau.

- **Superposition (Overlay)** : Fusion de diverses couches thématiques (par exemple, inclinaison + nature du sol + réseau routier) afin de repérer les zones susceptibles d'être à risque.

Études de proximité et de voisinage : Mise en place de zones de protection (buffers) autour d'un élément (ex : zone sécurisée autour d'une rivière).

- **Modélisation et Simulation** : Recours à des algorithmes pour reproduire des phénomènes physiques tels que l'écoulement de l'eau ou la diffusion d'une inondation (souvent associé à des outils comme HEC-RAS).

19.5.4. Visualisation et Restitution (Affichage):

La représentation visuelle convertit les résultats des analyses en documents graphiques facilement compréhensibles par tous.

- **Rendu cartographique** : Élaboration de cartes thématiques, graphiques et mises en page professionnelles comportant légendes, titres et échelles.
- **Modélisation 3D** : Mise en œuvre des Modèles Numériques de Terrain (MNT) pour représenter le terrain et les structures en trois dimensions.
- **WebMapping** : Distribution des données par le biais d'interfaces interactives sur le web (comme GeoServer ou OpenLayers), offrant aux utilisateurs la possibilité de

parcourir, zoomer et questionner les données directement via un navigateur internet standard.

19.6. Aide à la décision et planification territoriale : prévention, aménagement urbain et conception architecturale :

L'intégration des technologies géomatiques (SIG et télédétection) dans les stratégies de planification urbaine et de design architectural est essentielle pour la prise de décisions et la gestion territoriale en ce qui concerne les risques naturels tels que les inondations. Cet objectif est de transitionner d'une gestion réactive vers une stratégie axée sur la prévention et la résilience.

19.6.1. SIG et Télédétection des instruments d'assistance à la prise de décision :

Les gestionnaires territoriaux bénéficient d'un support technique fondamental dans l'aide à la décision grâce aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) et à la télédétection.

- **Analyse et modélisation** : Ces outils facilitent l'intégration de données provenant de diverses sources (topographie, conditions météorologiques, utilisation des sols) afin de déceler les zones à risque et de prévoir des scénarios d'inondations.
- **Priorisation des interventions** : Des techniques telles que l'Analyse Hiérarchique Multicritère (AHP) facilitent le classement des sections d'infrastructures ou des zones à prioriser selon leur degré de risque.
- **Diffusion de l'information** : Les plateformes de (WebMapping) favorisent la compréhension des problématiques par les intervenants locaux et le grand public, consolidant ainsi la transparence des décisions d'aménagement.

19.6.2. Planification territoriale et Prévention :

La planification a pour objectif d'harmoniser le développement socio-économique avec les exigences de sécurité (Yakhlofoune, 2024).

- **Zonage réglementaire** : Il est crucial de mettre en place des Plans de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) pour définir les zones où la construction est interdite (zones rouges) et celles qui sont soumises à des règles spécifiques.

- **Incorporation dans les instruments d'urbanisme** : Il est crucial d'inscrire les dangers décelés dans les Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) ainsi que les Plans d'Occupation des Sols (POS) afin de maîtriser l'expansion urbaine vers les zones vulnérables.
- **Information préventive** : L'établissement de dossiers communaux (DICRI) vise à sensibiliser les habitants aux dangers locaux et aux attitudes à adopter.

19.6.3. Aménagement urbain et mesures structurelles :

La gestion de l'espace permet d'intervenir directement sur le risque et la vulnérabilité grâce à des interventions environnementales et hydrauliques.(Bekhira, 2019)

- **Gestion de l'aléa (Correction active/passive)** :
 - **En amont** : Mise en place de barrages écrêteurs, de retenues sur les collines et de reboisement pour réduire le ruissellement.
 - **Dans les zones urbaines** : Nettoyage et ajustement des lits d'oueds, renforcement des rives et édification de barrages de protection.
- **Aménagements résilients** : Mise en place de zones d'expansion des inondations, de zones tampon et d'espaces verts (zones perméables) afin de renforcer l'infiltration naturelle des eaux de pluie.

- **Conception architecturale et Résilience du bâti** :

La diminution de la vulnérabilité implique également l'application de normes de conception appropriées aux phénomènes naturels. (Bekhira, 2019)

- **Règles de construction** : L'usage de matériaux imperméables est obligatoire, l'interdiction des sous-sols est appliquée dans les zones considérées comme ayant un risque moyen, et une élévation des rez-de-chaussée au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) est requise.
- **Protection des accès** : Mise en place de structures mobiles telles que des batardeaux ou des portes étanches pour sécuriser les installations essentielles (hôpitaux, gares, réseaux techniques).

- **Formation des professionnels** : Il est essentiel d'éveiller l'attention des architectes et ingénieurs en génie civil sur l'importance d'intégrer les risques liés au climat dès la phase initiale de conception des projets.
- **La reconstruction comme opportunité** : Suite à une catastrophe, l'étape de reconstruction doit être considérée comme une opportunité de réorganisation complète afin de rectifier les erreurs du passé et d'établir des structures plus résistantes.

20. Limites et contraintes des SIG dans les zones sahariennes :

L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection dans les régions sahariennes, bien qu'indispensable pour la gestion des risques, fait face à diverses limites et obstacles significatifs liés aux caractéristiques du territoire, à l'accès aux données et aux ressources techniques (Bekhira, 2019).

20.1. Contraintes liées aux données (Disponibilité et Qualité) :

- **Données hydrométriques lacunaires** : Dans des zones telles que le bassin de l'Oued Béchar, les enregistrements de débit sont fréquemment non continus ou insuffisants. L'utilisation de modèles de simulation (tels que les modèles GR) ou de formules empiriques par les chercheurs, due à la rareté des données concrètes, pour tenter de déterminer les débits peut engendrer des incertitudes.
- **Manque de références cartographiques** : L'accès à des informations cartographiques et statistiques fiables est fréquemment entravé par la réaction insuffisante de certains organismes officiels face aux requêtes des chercheurs.
- **Inadéquation des échelles administratives** : Il est souvent difficile de procéder à une analyse globale, car les données socio-économiques requises pour estimer la vulnérabilité sont généralement organisées en fonction des divisions administratives qui ne coïncident pas avec les contours physiques des bassins versants sahariens.

20.2. Limites topographiques et de résolution :

- **Précision des Modèles Numériques de Terrain (MNT)** : Il est essentiel d'avoir une résolution précise pour modéliser les inondations rapides des oueds. Les

données suggèrent que les modèles numériques de terrain à basse résolution (par exemple, SRTM 30 m) ont une propension à « lisser » les détails topographiques essentiels. Il est conseillé d'utiliser des MNT plus précis, tels que ceux d'ALOS-2 (12,5 m), cependant, ces données peuvent se révéler plus volumineuses et onéreuses.

- **Besoin de levés topographiques précis :** La modélisation hydraulique précise (par exemple, par le biais de HEC-RAS) exige des relevés du terrain minutieux pour prendre en compte les variations de contraction et d'expansion des lits d'oueds. L'absence de ces données représente un obstacle significatif pour obtenir des résultats qui se rapprochent de la réalité.

20.3. Contraintes environnementales et spectrales :

- **Variabilité spatio-temporelle extrême :** Le Sahara, avec son climat extrêmement sec, est marqué par une forte variabilité des précipitations. Cette incertitude rend la quantification du risque « loin d'être contrôlée ».
- **Confusion spectrale :** Dans le domaine de la télédétection, l'identification des différentes classes peut s'avérer complexe, étant donné que la signature spectrale du bâti (fréquemment constitué de matériaux locaux tels que le pisé ou le Toub) peut se superposer à celle du sol désertique non couvert environnant. Cela exige des indices de calcul spécifiques et une connaissance approfondie du terrain afin d'éviter les erreurs de classification.
- **Infiltration et géologie :** Les structures géologiques du Sahara ont une grande influence sur le ruissellement, certaines irrégularités au sein des modèles hydrologiques proviennent de l'infiltration significative dans les sols arides, un aspect qui s'avère complexe à mesurer avec précision uniquement par le biais des outils SIG.

20.4. Contraintes techniques et budgétaires :

Prix prohibitif de la résolution élevée : Bien que les images à ultra-haute résolution (< 5 m) offrent une surveillance minutieuse de l'urbanisme, leur portée spatiale est fortement restreinte et leur tarif peut rapidement grimper (jusqu'à 30 km²), ce qui représente un obstacle pour l'examen de grandes surfaces sahariennes.

- **Sous-exploitation des technologies** : Selon les sources, les progrès scientifiques (tels que les systèmes d'alerte précoce grâce aux capteurs radar) ne sont pas complètement utilisés en Algérie, engendrant une disparité entre la capacité des outils géomatiques et leur mise en œuvre pratique sur le terrain.
- **Maintenance des plateformes** : L'implémentation de systèmes tels que le WebMapping exige une connexion Internet fiable (un défi dans certaines régions isolées) et des actualisations de données manuelles difficiles à gérer sur la durée.

21. Conclusion

Dans le contexte des inondations, les technologies géomatiques jouent un rôle essentiel dans la cartographie des zones inondables, l'identification des secteurs vulnérables, le suivi de l'évolution urbaine et la mise en place de systèmes d'aide à la décision. L'exploitation des données satellitaires, des modèles numériques de terrain et des analyses multicritères permet d'améliorer considérablement les stratégies de prévention, de planification territoriale et de gestion des catastrophes.

L'application de ces outils dans les régions sahariennes reste confrontée à plusieurs contraintes, notamment le manque de données hydrologiques fiables, les difficultés liées à la précision des modèles topographiques, les coûts élevés des images à haute résolution et les limites techniques de certaines infrastructures. Malgré ces défis, la géomatique demeure une approche moderne et performante pour renforcer la résilience des territoires face aux risques d'inondation.

Ainsi, l'intégration des outils géomatiques dans les politiques d'aménagement urbain et de prévention constitue aujourd'hui une nécessité pour assurer une gestion durable des territoires et limiter les impacts humains, économiques et environnementaux des catastrophes naturelles.

Chapitre 3

Présentation et caractéristiques de la zone d'étude

CHAPITRE III: PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation générale de la zone d'étude, à savoir la wilaya de Béchar, située dans le sud-ouest algérien, cette étape constitue une base essentielle pour comprendre les différentes problématiques liées au territoire étudié, notamment les risques naturels et particulièrement les inondations qui affectent régulièrement la région. L'analyse des caractéristiques géographiques, administratives, naturelles, démographiques et climatiques permet de mieux appréhender le fonctionnement spatial de la wilaya ainsi que les facteurs de vulnérabilité qui influencent son développement urbain et territorial.

À travers ce chapitre, une attention particulière sera accordée à l'évolution démographique, aux caractéristiques physiques du milieu, aux infrastructures, ainsi qu'aux événements hydrologiques majeurs ayant marqué la région, notamment les inondations de 2007, 2008 et 2024 où l'objectif principal est donc de fournir une vision globale et détaillée de la zone d'étude afin de mieux comprendre les interactions entre les composantes naturelles et humaines du territoire, et de mettre en évidence les enjeux liés à l'aménagement urbain et à la gestion des risques dans la wilaya de Béchar.

2. Localisation et situation :

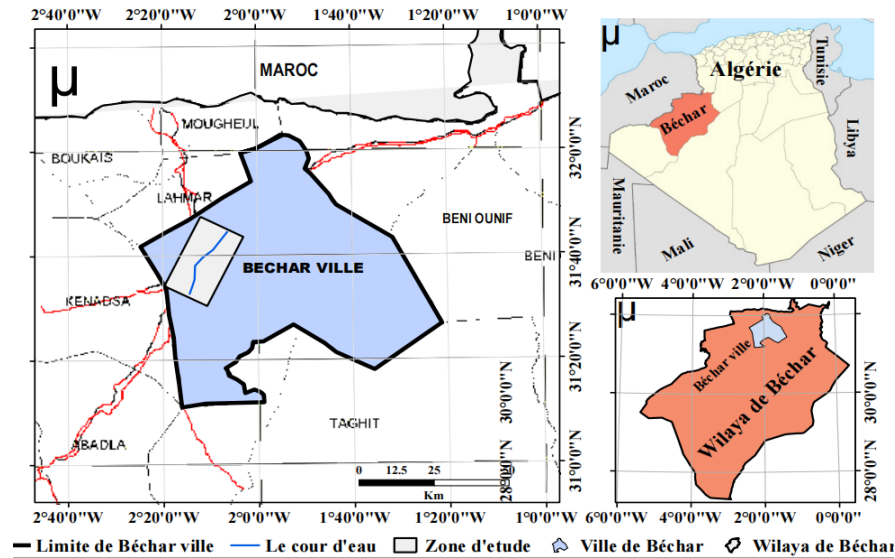


Figure 3.1 : Localisation de la wilaya de Béchar, Source : Bekhira et al, 2019b.

3. Coordonnées Géographiques :

La localisation précise de la zone d'étude constitue la base de toute analyse spatiale. Pour la ville de Béchar, les coordonnées se définissent comme suit :

3.1. Système Décimal :

Située dans le Sud-Ouest algérien, la ville se positionne à :

- Latitude de Béchar **31.6182492**
- Longitude de Béchar **-2.2143231**

3.2. Degrés, Minutes, Secondes (DMS) :

En coordonnées sexagésimales, le point central de la zone est repéré à :

31° 37' 5.697" N 2° 12' 51.563" W

3.3. Coordonnées UTM (WGS84) de Béchar

- Fuseau (Zone) : **30R**
- Abscisse (Easting) : **574 518.27 m E**
- Ordonnée (Northing) : **3 498 390.63 m N**

4. Le cadre administratif de la wilaya de Béchar :

Béchar, l'une des wilayas du sud, dont le chef-lieu porte le même nom, se situe à 900 km au sud de la capitale Alger et occupe une position dans le sud-ouest de l'Algérie. Suite à la réorganisation administrative de 2021 et à l'autonomie accordée à Beni Abbés, qui est devenue sa propre wilaya, elle couvre une superficie approximative de 50 050 km². 2,1 % du territoire national. Elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Naâma
- A l'Est par la Wilaya d'El Bayadh
- Au Sud-par les Wilayas de Beni-Abbés et Timimoune
- A l'Ouest par le royaume du Maroc.

5. Le cadre administratif de la commune et la ville de Béchar :

Béchar, qui se trouve au nord de la Wilaya, s'étend sur une superficie de 5.050 Km², ce qui représente approximativement 10,09 % du territoire total de la Wilaya. Elle se compose de 06 Daïras et de 11 communes, elle possède comme limites administratives (Figure 3.2):

- Au Nord-est et l'Est : la commune de Béni Ounif.
- Au Nord et Nord-Ouest : les communes de Moughel et de Lahmar.
- Au Sud : la commune de Taghit.
- A l'Ouest : la commune de Kenadsa.

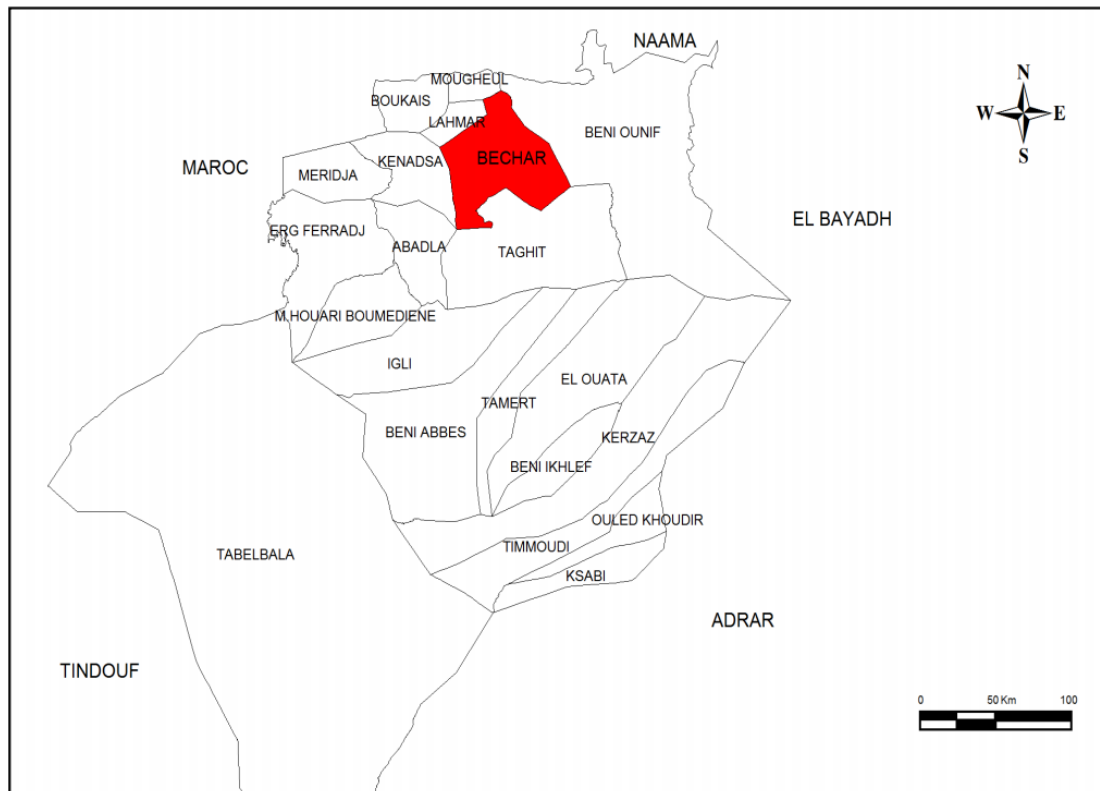


Figure 3.2 : Localisation de la région de Béchar. (Bekhira et al, 2019)

Tableau 3.1 : La surface de la wilaya de Béchar et leur daïras et communes, Source : Monographie Béchar 2021.

Daïras / Communes	Superficie Km²
Daïras 1 / BECHAR	5 050
BECHAR	5 050
Daïras 2 / BENI-OUNIF	16 600
BENI-OUNIF	16 600
Daïras 3 / LAHMAR	3 220
LAHMAR	820
MOUGHEUL	640
BOUKAIS	1 760
Daïras 4 / KENADSA	5 040
KENADSA	2 770
MERIDJA	2 270

Daïras 5 / TAGHIT	8 040
TAGHIT	8 040
Daïras 6 / ABADLA	12 100
ABADLA	2 870
E-FERRADJ	6 410
MACHRAA HB	2 820
Total wilaya	50 050

6. Accessibilité :

Grâce à son infrastructure de transport multimodale, elle joue un rôle clé en tant que point névralgique dans le Sud-Ouest algérien, favorisant ainsi son ouverture sur l'extérieur et son développement économique, sa connectivité routière repose essentiellement sur la Route Nationale 06 (RN06), qui représente un axe majeur reliant le nord au sud du pays, et la RN50 qui dirige vers Tindouf.

Ce réseau est enrichi par une ligne de chemin de fer moderne qui assure la liaison entre Béchar et Oran, en plus de l'aéroport national, (Boudghene Ben Ali Lotfi)

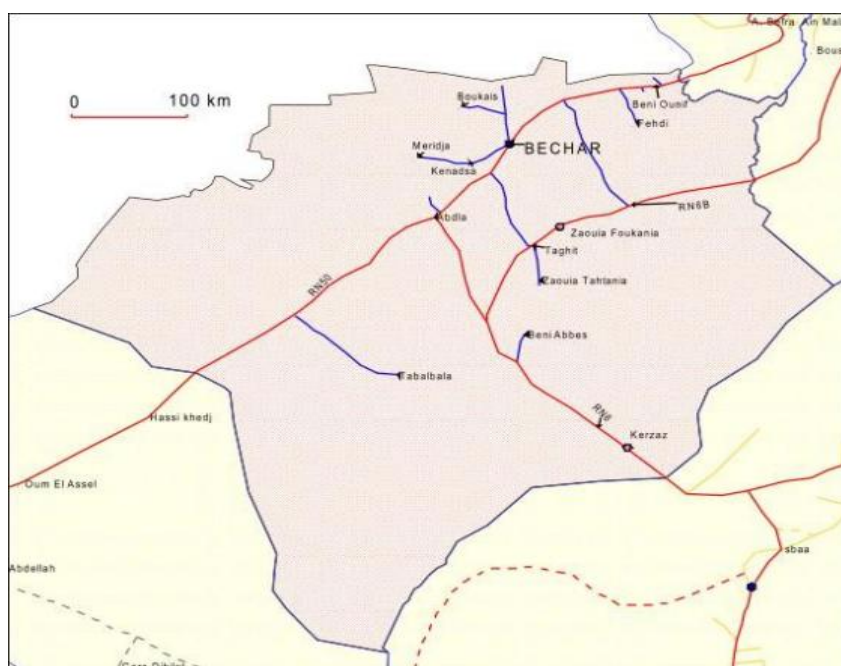


Figure 3.3 : Accessibilité les route de la wilaya Béchar, Source : Belaid, 2018.

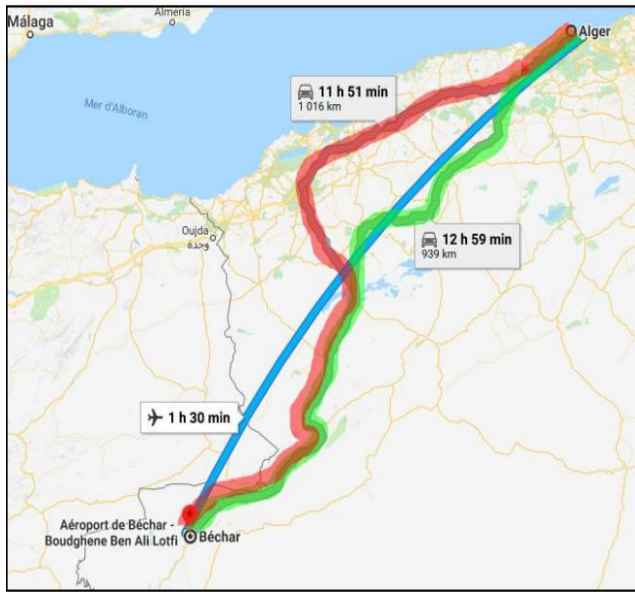


Figure 3.4 : Accessibilité de l'Aéroport de Béchar **Figure 3.5 :** La ligne ferroviaire, Source : Belaid, 2018.

7. Caractéristiques naturelles (Relief) :

Le territoire de la wilaya de Béchar est formé de cinq (5) principaux reliefs :

- **Les montagnes:** Elles sont dénudées et parfois élevées; djebel Antar (1953m), djebel Grouz (1835m) et djebel Béchar (1206 m).
- **Les oueds:** Six principaux oueds sillonnent la wilaya du Nord au Sud ; il s'agit de oued Namous, oued Zouzfana, oued Bechar, oued Guir, oued Saoura et oued Daoura.
- **Les vallées :** Ce sont des dépressions façonnées par les cours d'eau importants; les principales vallées sont celles de la Zouzfana, Béchar, du Guir et de la Saoura.
- **Les regs (Hamada):** Ce sont de vastes étendues rocailleuses dont les plus importantes sont celles de Guir et de Daoura.
- **Les ergs:** Ils représentent des massifs dunaires pouvant atteindre 300m de hauteur et s'étalent sur de grandes superficies; Il s'agit du Grand Erg occidental, erg Erraoui, erg El Atchane et erg Iguidi.

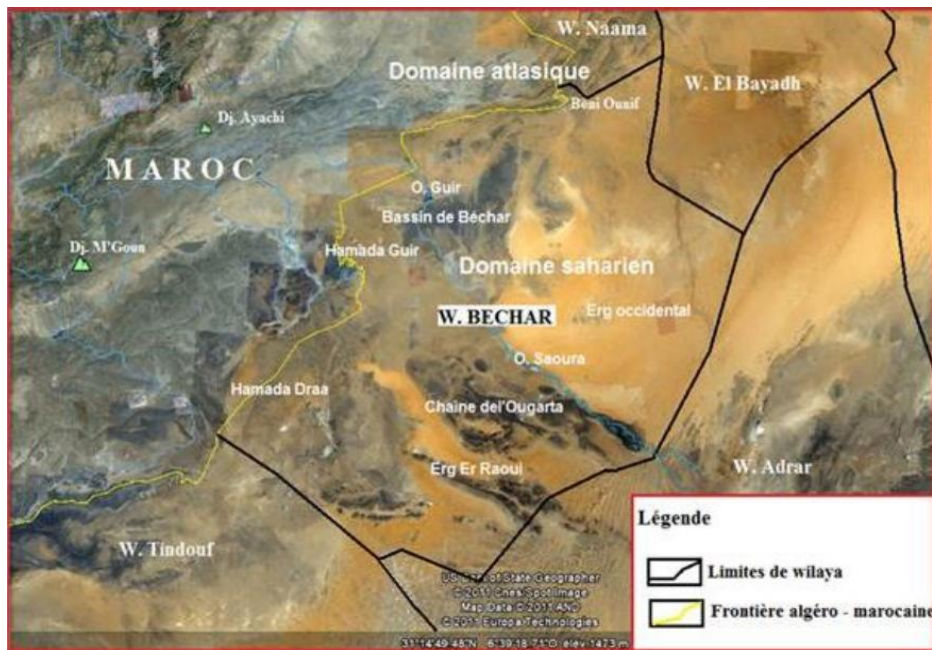


Figure 3.6 : Cadre physique et paysages naturels de la wilaya de Béchar,
Source : Image Satellite Google Earth 2011.

8. Situation démographique :

8.1. Population de la wilaya au 31/12/2021 : (source DPSB)

La population de la wilaya de Béchar est de 302 917 habitants, soit une densité moyenne de 2,28 habitants au km². Et la population de la commune de Béchar est estimée à environ 239000 habitants pour l'agglomération urbaine. Le tissu démographique de cette grande ville du sud-ouest algérien connaît une croissance régulière avec un taux d'accroissement annuel moyen d'environ (2 %).

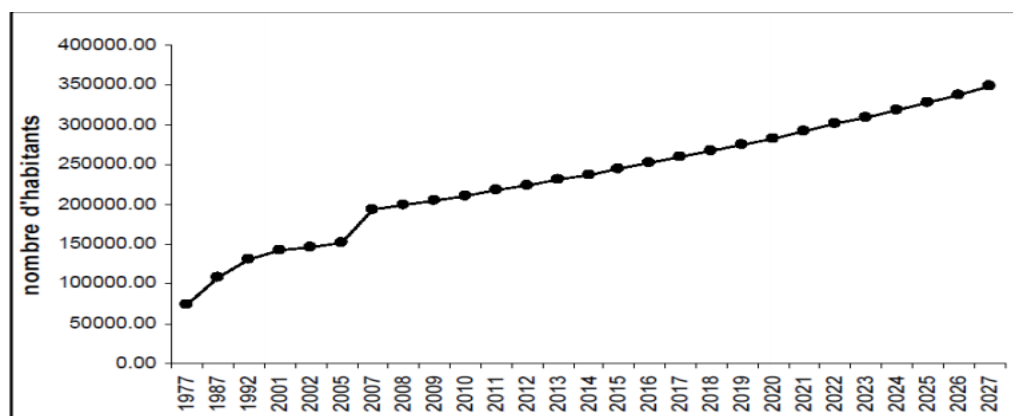


Figure 3.7 : Graphe de l'évolution de la population de la région de Béchar, Source : Bekhira, 2019.

8.2. La population résidente et sa répartition :

Population résidente et sa distribution : Cette population est dispersée à travers plusieurs quartiers avec des variations de densité dans le temps et l'espace, le centre régional et le quartier de Debdaba continuent à être densément peuplés Malgré les risques d'inondations dans la vallée de Béchar (Figure 3.8) (Kabour 2011).

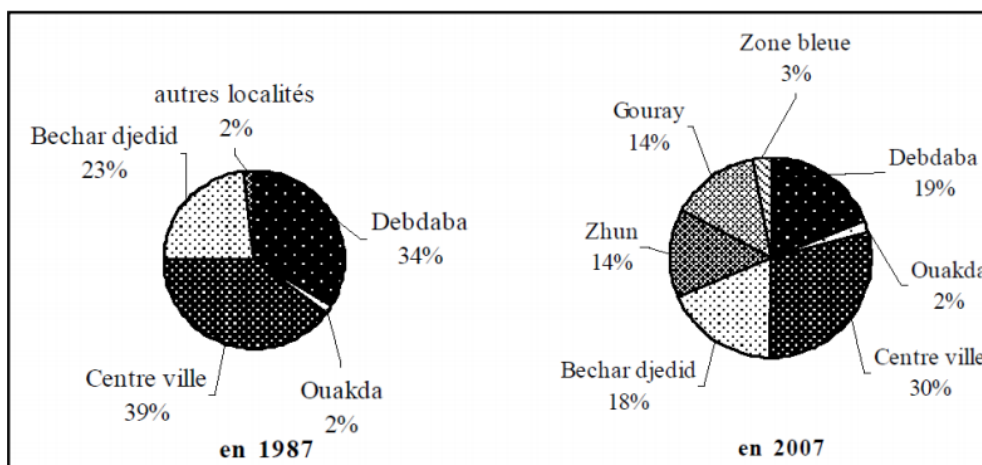


Figure 3.8 : Graphe de l'évolution de la population de la région de Béchar, Source : Kabour, 2011.

9. Volet climatique :

9.1. Température :

La wilaya de Béchar est caractérisée par un climat de type désertique continental, les étés sont très chauds (+ 45°C) et les hivers très rudes (2°C à 3°C), les précipitations sont de l'ordre de 60 mm/an. Les vents de sable sont fréquents et souvent violents (peuvent atteindre les 100 km/h) (Monographie Béchar, 2021).

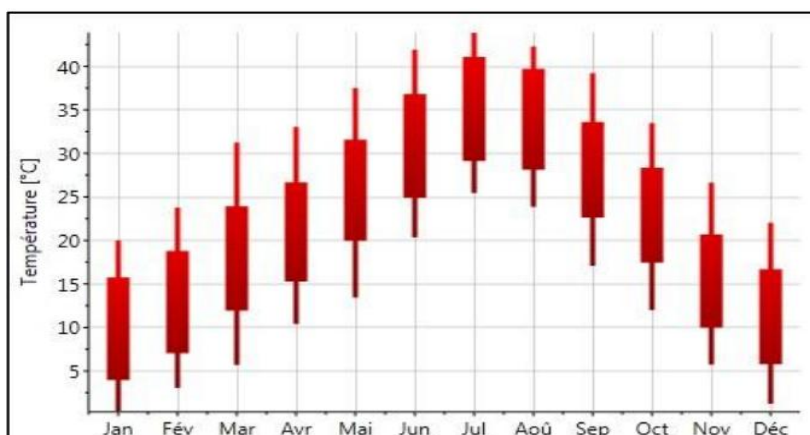


Figure 3.9 : Variation mensuelle des températures à Béchar. , Source : Belaid, 2018.

9.2. Précipitation :

La région de Béchar, caractérisée par un climat désertique, connaît des précipitations faibles, peu fréquentes et irrégulières, totalisant moins de 100 mm par an, ces pluies surviennent principalement au printemps et en automne, avec des averses soudaines pouvant entraîner des crues dans les vallées.

Depuis le début du deuxième millénaire, les phénomènes météorologiques extrêmes se sont multipliés, en raison d'une hausse progressive des températures liée au changement climatique. Ci-dessous, un graphe illustre les périodes de précipitations au-dessus de la moyenne ainsi que celles de faibles précipitations, mettant en lumière l'alternance entre sécheresse et fortes pluies à Béchar.

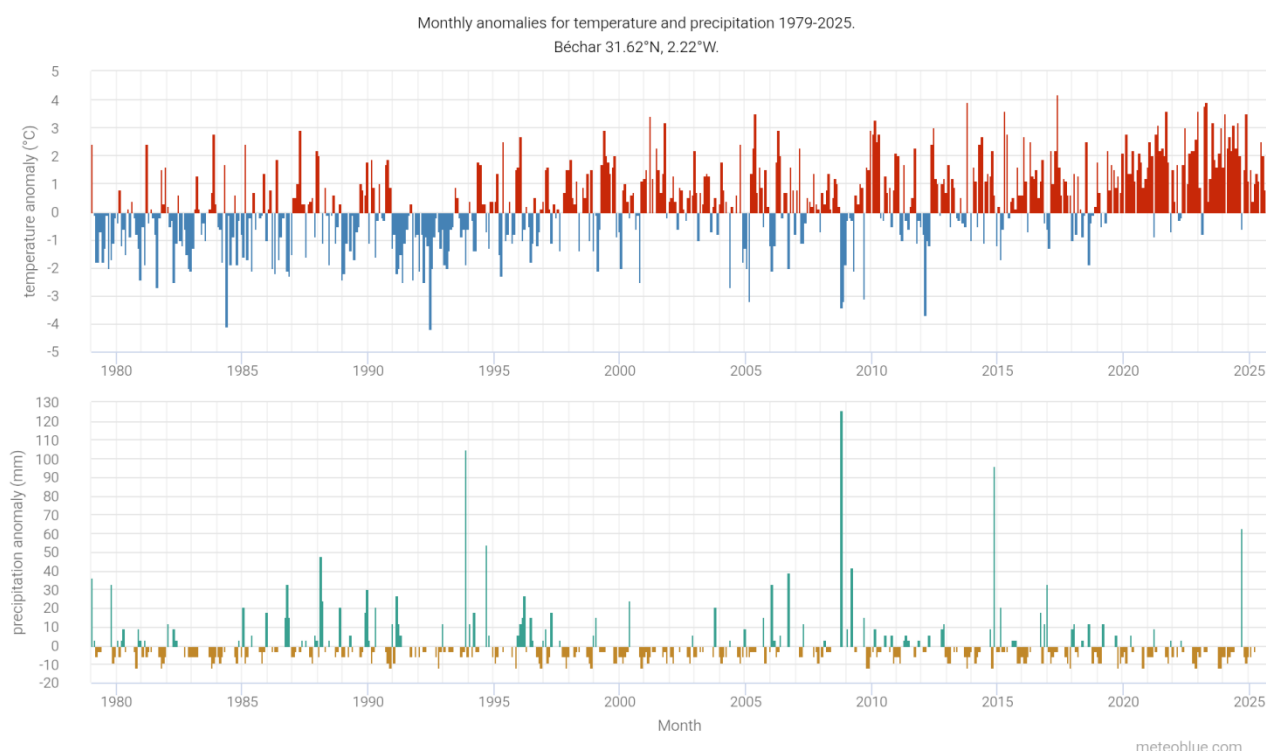


Figure 3.10 : Evolution des anomalies mensuelles de la température et des précipitations à Béchar (1979-2025), Source : meteoblue.

10. Les ressources de la wilaya Béchar (source: DPSB 2021) :

10.1. Les potentialités naturelles :

Les ressources en eau hydraulique, issues de la wilaya de Béchar :

- Total des forages : 54
- 15 retenues collinaires.
- Capacité des retenues collinaires : 5892 000 M3

10.2. Les ressources minières :

Les ressources minières significatives (comme le cuivre, le zinc, le plomb et le manganèse) ainsi que ses carrières (qui comprennent le calcaire, l'argile et le sable) ;

La wilaya de Bechar dispose de ressources minières non négligeables avec notamment le calcaire (Djebel Madjouz), les schistes (Benzireg), l'argile, le sable (Taghit), les grès (Oued Sfala), l'agate (Béchar), le cuivre (Bou Kais, Benzireg), le plomb (Benzireg, Bou Kais), le fer (chaîne de l'augarta), le manganèse (Guetara), le charbon (bassin de Béchar Kenadsa, bassin Nezarif), le sel (Sebkhat El Mellah).

10.3. Les possibilités en matière d'agriculture :

- Superficie totale dédiée à l'agriculture (SAT) : 1 425 858 hectares
- Terre agricole exploitable (SAU) : 36 832 hectares, équivalant à 2,58 % de la SAT.
- Zone d'irrigation : 20 533,32 Ha, ce qui représente 55,75% de la surface agricole utile totale.

10.4. Atouts touristiques :

La wilaya de Bechar possède un potentiel touristique majeur, illustré par :

- **Les ksours** : incluant ceux de Boukais, Mougheul, Lahmar, Taghitet, Bechar, Béni Ounif, Tabelbala, Igli, Tamtert et Ouata.
- **Les ruines archéologiques**, en particulier les énigmatiques tombeaux géants de Tabelbala, qui sont au nombre de sept.
- **Les forts historiques** : y compris ceux de Bechar, Béni Ounif, Kenadsa, Taghit, Igli et Tabelbala, on retrouve des peintures préhistoriques du néolithique, notamment celles de Taghit.

11. Morphologie urbaine et vulnérabilité des villes sahariennes :

11.1. Caractéristiques de la morphologie urbaine saharienne :

Implantation sur les rives des oueds : La plupart des villes désertiques algériennes sont stratégiquement situées sur les berges des oueds pour l'accès à l'eau et aux terres cultivables.

- **Étalement urbain linéaire et désordonné :** À Béchar, l'urbanisation s'est étalée de manière linéaire le long de l'Oued Béchar. Ce processus est souvent marqué par une occupation anarchique du domaine public hydraulique.
- **Dualité du bâti :** On observe une coexistence entre le tissu traditionnel (comme le Vieux Ksar à Béchar), souvent construit en matériaux fragiles tels que le pisé (TOUB), et des extensions modernes ou des bidonvilles.
- **Densité élevée dans les zones critiques :** Certains quartiers riverains présentent des densités de population très fortes, comme Debdaba (100 pers/ha) ou Béchar Centre (76 pers/ha), ce qui multiplie les enjeux en cas de crue.

12. Historique des inondations à Béchar:

La ville de Béchar, située dans le sud-ouest de l'Algérie, est considérée comme une des zones urbaines les plus à risque d'inondation, essentiellement du fait qu'elle se situe au centre du parcours du fleuve Béchar, lors de périodes de mauvais temps, ce cours d'eau reçoit d'importants volumes d'eau provenant des montagnes voisines (Délégation nationale aux grands risques), ce danger a été nettement souligné lors des inondations de septembre 2024, analogues à celles de 2007,2008 .

12.1. L'inondation de 18-19 octobre 2007 :

Les 18 et 19 octobre 2007, la région sud-ouest du pays, en particulier la wilaya de Béchar, a été frappée par une pluie diluvienne. Béchar et sa région ont enregistré 27 mm de précipitations, sous forme de pluies torrentielles et inondations, le pont reliant Ain Safra à Béchar a été détruit par la crue de l'Oued Ain Safra, ceci a conduit à l'isolement des autres wilayas de Béchar, d'Adrar et Tindouf, par rapport aux wilayas du nord.

Dans la ville de Béchar, deux individus ont perdu la vie par noyade, Oued Béchar, qui coule à travers la ville, a submergé certains secteurs de Mer Niger et Béchar Djedid,

spécifiquement la zone adjacente à la berge droite de l'Oued ainsi qu'une école et des résidences situées sur la berge droite de l'Oued dans le secteur de Debdaba, cette inondation a causé des dommages aux collecteurs du système d'assainissement, sauf pour Oued El Faidja, toutes les Chaaba et les rivières affluentes de l'Oued Béchar ont subi de fortes inondations. Cela causé des dommages aux petits ponts le long de la route nationale RN°06 et de la nouvelle rocade, sur les digues d'eau et dans le secteur de l'élevage, (Halilou, 2011).

12.2. L'inondation du 10 octobre 2008 :

L'inondation la plus importante de l'histoire de cette région a eu lieu le 10 octobre 2008, marquée par une montée exceptionnelle des eaux de l'Oued Béchar, l'amplitude maximale était comprise entre 5,50 et 7 m, avec un débit évalué à 830 m³/sec, malgré les ravages qu'elle a provoqués, c'est l'inondation la plus dévastatrice en termes d'impact sur l'homme, l'animal et l'économie, la perturbation atmosphérique qui s'est produite a entraîné une modification des conditions météorologiques, marquée par une chute de température et d'importantes pluies.

Durant cette période, un total de 84,6 mm d'eau a été enregistré, ce qui équivaut à une intensité moyenne de 4,47 mm par heure. 36 heures de précipitations ininterrompues ont suffi pour métamorphoser la capitale de la Saoura et ses environs en immenses flots de boue, cette inondation a causé des dommages majeurs, notamment l'effondrement d'infrastructures (bâtiments et constructions) ainsi que le déplacement de la population lors de la montée des eaux.

De plus, l'isolement des habitants des deux rives de l'Oued a été constaté, on dénombre environ 386 maisons déclarées inhabitables et 1590 habitations identifiées dans toute la wilaya, sans oublier les 70 familles sinistrées relogées dans un centre d'accueil pour sinistrés mis en place à la suite des inondations, situé dans une auberge de jeunesse, une ancienne CFA et une école paramédicale (Halilou, 2011).



Figure 3.11 : La prise lord de la crue d'octobre 2008, Source : Halilou, 2011.

12.3. Le risque d'inondation du 8 septembre 2024 :

En septembre 2024, la wilaya de Béchar a subi une catastrophe naturelle majeure à la suite de précipitations exceptionnelles dépassant 60 mm, provoquant des crues fulgurantes, cette calamité a entraîné quatre décès et l'évacuation d'urgence de 2 060 familles vivant dans des zones inondables, principalement près des lits d'oueds et dans des ksours vulnérables, les impacts environnementaux et socio-économiques ont été dévastateurs pour les populations nomades, qui ont perdu une grande partie de leur bétail et voient leurs points d'eau contaminés, menaçant leur mode de vie.

Concernant les infrastructures, la violence des eaux a causé des ruptures de communication, paralysant le trafic sur les axes RN6, RN110 et RN50, et a entraîné d'importants dommages au réseau d'eau potable, des coupures d'électricité prolongées et des dégâts aux ponts et habitations, en réponse à cette crise, une mobilisation coordonnée a été mise en place, avec la Protection Civile et les autorités locales menant des opérations de sauvetage, tandis que le Croissant-Rouge Algérien a assuré la distribution d'aides humanitaires.

Cette situation a conduit à la déclaration formelle de l'état de catastrophe naturelle, comme mentionné dans le Journal Officiel n°79, mettant en lumière l'urgence d'intégrer ces risques dans la planification territoriale et l'aménagement urbain à venir des régions sahariennes, (ARC).



Figure 3.12 : Les crues de Béchar 8 sept 2024, Source : Les citoyens.



Figure 3.13 : Les impacts de crue de Béchar 8 sept 2024, Source : (Web) Les citoyens.

12.3.1. Impacts sur les êtres humains :

Les inondations ont entraîné le décès de quatre citoyens uniquement dans la wilaya de Béchar.

- On a recensé déplacées 2 060 familles dans la wilaya de Béchar qui ont été contraintes de fuir leurs domiciles notamment dans les zones de Djorf El-Barda (Abadla), le vieux ksar de Béni-Ounif et le centre-ville de Béchar.
- Les populations nomades, qui dépendent de l'agriculture et de l'élevage pour leur survie, ont subi de lourdes conséquences. La vulnérabilité des personnes âgées, des enfants, des individus en situation de handicap et des malades de longue durée a augmenté à cause de la réduction des services.
- Dans la Santé et psychologie Les populations ont été confrontées à un risque augmenté de maladies liées à l'eau en raison de la pollution des sources d'eau.
- On a également rapporté des cas de forte détresse psychologique suite aux pertes matérielles et aux déplacements.



Figure 3.14 : Dommages causés aux citoyens et aux bâtiments d'inondation 8 sept 2024, Source : (Web) les citoyens.

12.3.2. Impacts sur le bâti et les infrastructures urbaines :

Les infrastructures résidentielles ont été gravement endommagées :

- Un grand nombre de maisons ont été entièrement ou partiellement réduites en décombres, obligeant les familles à chercher refuge dans des abris improvisés.
- Risques persistants engendrant un risque important de dégâts structurels suite au débordement des rivières près de l'Oued Béchar.

- Le réseau routier a été bloqué, rendant la région inaccessible, des interruptions importantes ont affecté les routes stratégiques RN-6 (liaison Nord-Sud), RN-110 (direction Taghit) et RN-50 (direction Tindouf) a aussi subi des dommages, entravant ainsi l'approvisionnement en carburants et en biens.
- Les crues du Wed Béchar ont emporté des ponts, notamment le pont de Dabdaba et celui de Farij....
- Les inondations de Wed Béchar ont également endommagé la ligne de chemin de fer Béchar-Oran dans certaines zones.
- En privant de nombreux villages d'électricité, cela intensifie la fragilité des foyers affecté (ARC).



Figure 3.15 : Les crues emporté le pont l'inondation de 8 sept 2024, Source : Web (Le citoyen).



Figure 3.16 : Les crues emportent le bétail et submergent l'école et le pont de Béchar 8 sept 2024.Web (les citoyens).

12.3.3. Conséquences sur l'urbanisme et la planification territoriale :

Ces événements ont provoqué d'énormes préjudices pour les habitants et les infrastructures, les résidents touchés ont été réinstallés et les ponts affectés ont été refaits, les autorités locales ainsi que les services de protection civile se sont mobilisés pour porter assistance aux familles coincées par les inondations, tandis que le Croissant-Rouge algérien a également contribué à l'aide des individus affectés.

- a. **Réponse en matière de logistique :** Face à la montée des eaux, une vaste opération a été mise en œuvre, incluant plus de 1 700 agents de la Protection civile, des plongeurs experts, des équipes spécialisées dans le chien de détection ainsi que des renforts logistiques (barques pneumatiques, motopompes).
- b. **Conséquences en matière institutionnelle et juridique :** L'annonce de l'état de catastrophe naturelle donne légalement droit à une indemnisation pour les assurés (système Cat-Nat). Elle a aussi engendré une action directe du gouvernement au niveau le plus élevé, avec la présence du ministre de l'Intérieur et de la Solidarité pour orchestrer la reconstruction.
- c. **Conséquences sur le Plan Matériel et Économique :** Les habitations anciennes (ksours) et les infrastructures publiques ont subi d'importants dommages. L'intervention des entreprises de génie civil (initialement prévues pour le projet ferroviaire Béchar-Tindouf) pour effectuer des réparations d'urgence met en

évidence le coût économique considérable de la restauration des infrastructures de transport.

- d. Conséquences sur l'hydrologie et l'environnement :** Ironiquement, bien que ces pluies causent des dégâts, elles sont considérées par les habitants locaux comme un « cadeau » climatique capable de briser une période de sécheresse intense, favorisant la recharge des aquifères et l'alimentation en eau des barrages régionaux, cruciaux pour l'agriculture dans les oasis.(ARC).



Figure 3.17 : Aide à la protection civile et au Croissant-Rouge Algérien les crues de Béchar 8 sept 2024, Source : ARC.

13. Bassin versant d'Oued Béchar :

Le bassin versant de Béchar se trouve au cœur du bassin versant de la Saoura, la pente ici présente une dénivellation importante (450 mètres) entre les sections supérieures et inférieures du bassin (figure). (BEKHIRA, 2019)

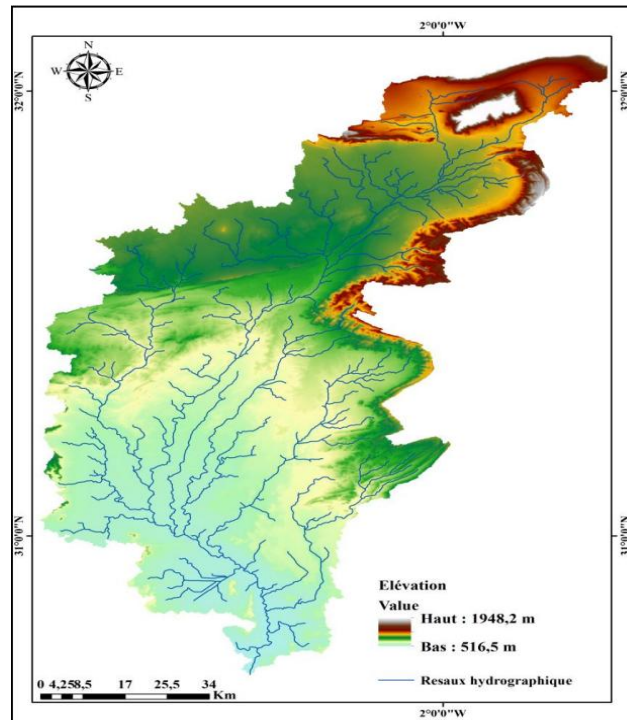


Figure 3.18 : Morphométrie du bassin versant de l'Oued Béchar, Source : Bekhira et al, 2019.

13.1. Superficie du bassin versant :

En utilisant une carte topographique (1/500.000) et par le biais d'un planimétrie, nous identifions que la surface du bassin de l'Oued Béchar est approximativement de

$$S=6570 \text{ km}^2.$$

Tableau 3.2 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin versant de l'Oued Béchar. (Boulouar 2007)

Bassin Versant	Superficie (km ²)	Périmètre (Km)	K _c	Rectangle équivalent	
				Longueur (Km)	Largeur (Km)
Oued Béchar	6570	590	2.03	269	24

14. Carte topographique de l'Oued Béchar :

Des géomètres d'un bureau d'étude de Béchar ont réalisé un levé topographique dans le cadre d'une analyse hydraulique de la vallée de Béchar. Ce levé comprend 174 profils en travers, la vallée de Béchar mesure 17 000 mètres de long et 300 mètres de large.



Figure 3.19 : Carte représentant le levé topographique de l'Oued Béchar, Source : Bekhira et al, 2019.

15. Conclusion :

L'étude de la wilaya de Béchar met en évidence un territoire saharien possédant des caractéristiques géographiques, climatiques et hydrologiques particulières qui influencent fortement son organisation spatiale et son développement urbain. Cependant, les conditions naturelles du milieu, marquées par l'aridité climatique, les fortes variations thermiques et la présence d'un réseau hydrographique dominé par l'Oued Béchar, rendent la région particulièrement vulnérable aux risques d'inondation.

Les différents épisodes de crues enregistrés, notamment ceux de 2007, 2008 et 2024, ont démontré l'ampleur des impacts humains, matériels et environnementaux que peuvent provoquer les phénomènes hydrologiques extrêmes dans cette région, ces événements ont également révélé les limites de l'urbanisation au niveau des zones inondables ainsi que la nécessité d'intégrer davantage la gestion des risques dans les politiques d'aménagement et de planification territoriale.

Ainsi, la connaissance approfondie des caractéristiques naturelles et socio-économiques de la zone d'étude constitue une étape indispensable pour toute analyse liée à la prévention des risques, à la protection des populations et au développement durable de la wilaya de Béchar.

Chapitre 4

Méthodologie et application

CHAPITRE IV : METHODOLOGIE ET APPLICATION

1. Introduction :

Ce chapitre représente le fondement empirique de notre recherche sur la modélisation et la cartographie du risque d'inondation. Après avoir établi des bases théoriques et documenté les caractéristiques physiques et socio-économiques de notre zone d'étude, nous incluons une approche méthodologique essentielle qui fait appel aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) via le logiciel QGIS, en association avec des techniques de télédétection. Ces outils permettent de gérer des données multicritères et de visualiser de manière précise les zones à risque.

L'évaluation du risque d'inondation repose sur l'Analyse Multicritère, notamment à travers le processus d'Analyse Hiérarchique (AHP), qui organise et pondère les divers facteurs, qu'ils soient physiques tels que la pente et le réseau hydrographique ou anthropiques, comme l'occupation des sols. L'objectif principal de ce chapitre est de clarifier la méthodologie d'évaluation, d'expliquer le protocole technique de traitement des données dans QGIS, et de concevoir une matrice de décision. Cela mènera à l'élaboration d'une carte qui montrera la susceptibilité aux inondations, servant d'outil pour une gestion foncière proactive et durable dans la région.

2. Méthodologie :

La démarche méthodologique adoptée dans ce chapitre est conçue pour structurer le passage des données brutes à une cartographie d'aide à la décision pour la gestion des inondations sous le logiciel QGIS. Elle s'articule autour de quatre phases principales :

2.1. Collecte et Spatialisation des Données Climatologiques:

- **Analyse Pluviométrique** : Collecte des données de précipitations des stations météorologiques et leur spatialisation par interpolation (méthode IDW) sous QGIS pour générer la Carte des Isohyètes (facteur déclencheur du risque).
- **Cadre Climatologique** : Intégration des données thermiques pour caractériser le régime d'évapotranspiration de la zone d'étude.

2.2. Traitement du DEM et Extraction des Facteurs Physiques:

- **Carte de Situation et Modèle Numérique d'Élévation (DEM):** Téléchargement du DEM depuis OpenTopography, projection métrique et découpage pour produire la Carte de situation et le relief de base.
- **Analyse Hydrologique et Morphologique :** Extraction directe à partir du DEM des facteurs clés du risque :
 - La Carte des Pentes (vitesse d'écoulement).
 - La Carte du Réseau Hydrographique (densité de drainage et axes d'écoulement via les outils Hydrology de QGIS).
 - La Carte des Profondeurs des Vallées ou de l'indice de position topographique (TPI).

2.3. Traitement des Images Satellites (Landsat 8/9) et Télédétection :

- **Calcul des Indices Spectraux :** Génération d'indicateurs de vulnérabilité :
- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) :** Pour évaluer la densité végétale (frein au ruissellement).
- **NDWI (Normalized Difference Water Index) :** Pour cartographier l'humidité du sol et les corps d'eau.
- **Classification Supervisée :** Traitement des bandes spectrales de Landsat 8/9 (via l'extension SCP de QGIS) pour produire la Carte d'Occupation du Sol (perméabilité et enjeux anthropiques).

2.4. Implémentation de la Méthode AHP et Croisement Spatial sous QGIS :

- **Pondération Multicritère :** Intégration de l'ensemble des cartes générées (Pentes, Réseau hydrographique, Occupation du sol, Pluviométrie) dans une matrice de comparaison par paire (Saaty) pour calculer les poids de chaque facteur.
- **Calcul de l'Indice de Susceptibilité (Raster Calculator) :** Exécution de l'algorithme de superposition pondérée sous QGIS pour générer la Carte Finale de Susceptibilité aux Inondations.

3. Données utilisées :

La modélisation du risque d'inondation nécessite la manipulation de données multidimensionnelles (satellitaires, topographiques et climatiques). Le tableau suivant résume l'ensemble des données collectées et intégrées dans notre système d'information géographique :

Tableau 4.1 : les données utilisé pour la cartographie de la carte de risque d'inondation,
Source : auteurs.

Type de Donnée	Source	Résolution / Échelle	Rôle dans l'étude
Données Climatologiques	Office National de la Météorologie (ONM)	Séries temporelles	Spatialisation des précipitations (Isohyètes)
MNT / DEM	OpenTopography (SRTM / Copernicus)	30 mètres	Extraction des pentes, du réseau hydrographique et de la topographie.
Images Satellites	USGS (Landsat 8/9)	30 mètres	Classification de l'occupation du sol, calcul du NDVI et NDWI.
PDAU	URBAT Béchar	1/10000	Identification des zones d'extension urbaine, des infrastructures et des enjeux exposés

4. Sélection et Reclassification des Facteurs du Risque :

Pour évaluer la susceptibilité aux inondations dans la région de Béchar, nous avons sélectionné cinq (05) facteurs principaux. Chaque facteur est analysé et reclassé sous QGIS selon son degré d'influence sur l'écoulement et l'accumulation des eaux.

4.1. La Pente (Facteur Topographique) :

- **L'effet :** Les zones à faible pente (terrain plat) favorisent la stagnation et l'accumulation des eaux, tandis que les fortes pentes accélèrent le ruissellement vers les points bas.
- **Traitement QGIS :** Générée à partir du MNT via l'outil Raster -> Analysis -> Slope.

- **Reclassification** : Les pentes faibles (0 - 2%) reçoivent la note de vulnérabilité la plus élevée.

4.2. Densité du Réseau Hydrographique (Facteur Hydrologique) :

- **L'effet** : La proximité des cours d'eau (les oueds de Béchar) augmente directement le risque de submersion lors des crues subites.
- **Traitement QGIS** : Extraction du réseau via les outils hydrographiques de SAGA/GRASS, puis calcul de la distance aux oueds (Proximity / Raster distance).
- **Reclassification** : Les zones les plus proches des oueds ont la vulnérabilité maximale.

4.3. L'Occupation du Sol (Facteur Anthropique et Environnemental) :

- **L'effet** : Le tissu urbain (bâtis, routes) imperméabilise le sol
- **Traitement QGIS** : Issue de la classification supervisée des images Landsat 8/9.
- **Reclassification** : Les zones urbaines et les sols nus compacts reçoivent les scores de risque les plus élevés.

4.4. La Pluviométrie (Facteur Déclencheur) :

- **L'effet** : Les précipitations intenses et concentrées sont le moteur principal des crues torrentielles dans les régions arides.
- **Traitement QGIS** : Carte d'isohyètes générée par interpolation (IDW) des données des stations de l'ONM.
- **Reclassification** : Les zones enregistrant les cumuls pluviométriques les plus élevés reçoivent la note maximale.

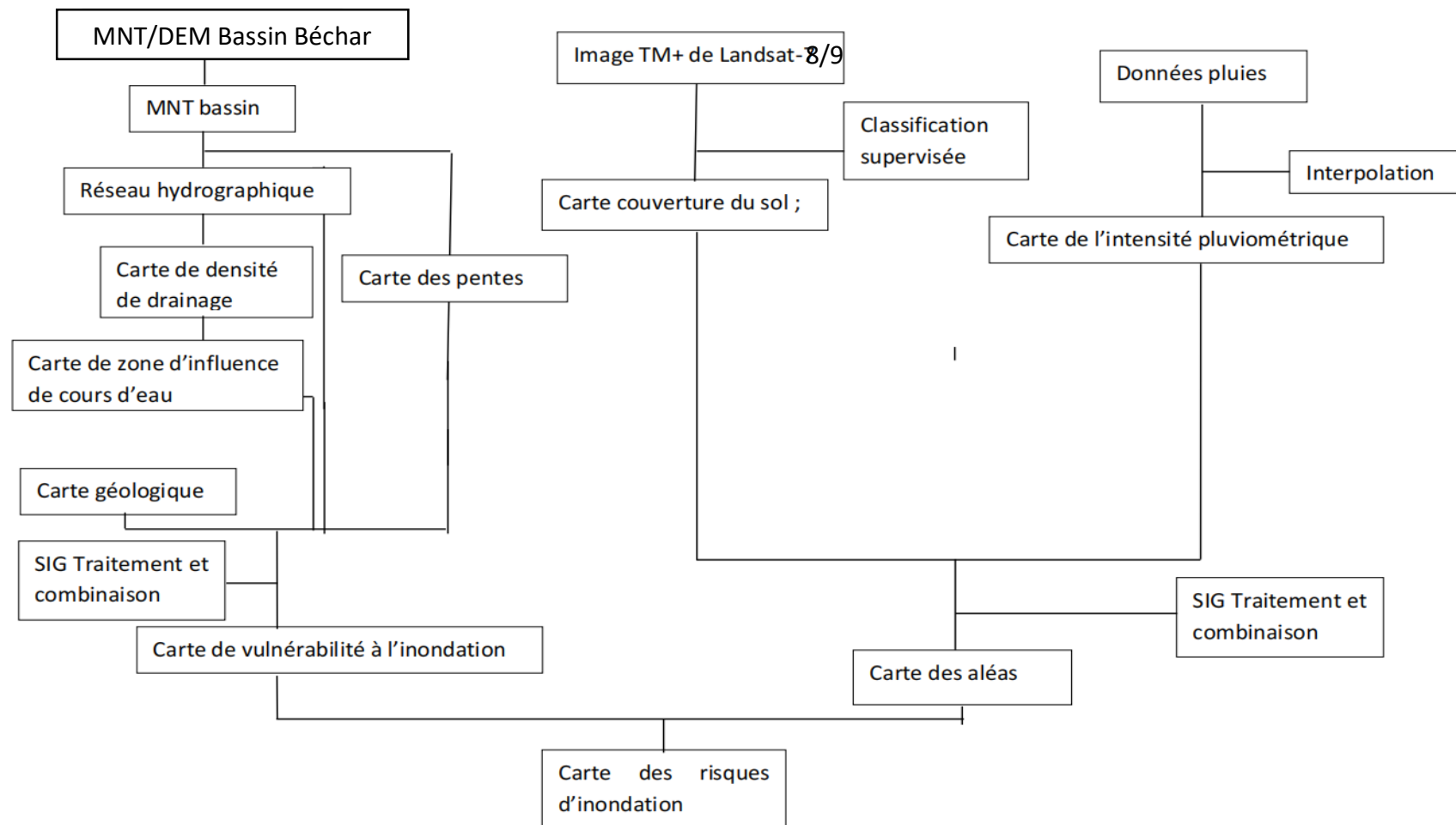


Figure 4.1 : Organigramme de réalisation de la carte des risques d'inondation liée aux crues des cours d'eau, Source : Dègla, 2014.

5. Spatialisation Climatologique (Pluviométrie) :

Les données climatologiques de pluie ont été extraites du site Meteoblue (illustrées dans la Figure 4.1.2).

De plus, les données de précipitations durant les jours de l'inondation ont été téléchargées depuis la plateforme Giovanni (NASA) directement au format raster (TIFF), prêtes à l'analyse sous QGIS.

5.1. Étapes techniques :

- Importer le raster TIFF des précipitations de Giovanni dans QGIS.
- Découper le raster interpolé selon les limites de la zone d'étude.
- Reclasser la carte d'isohyètes obtenue en 4 classes de vulnérabilité.

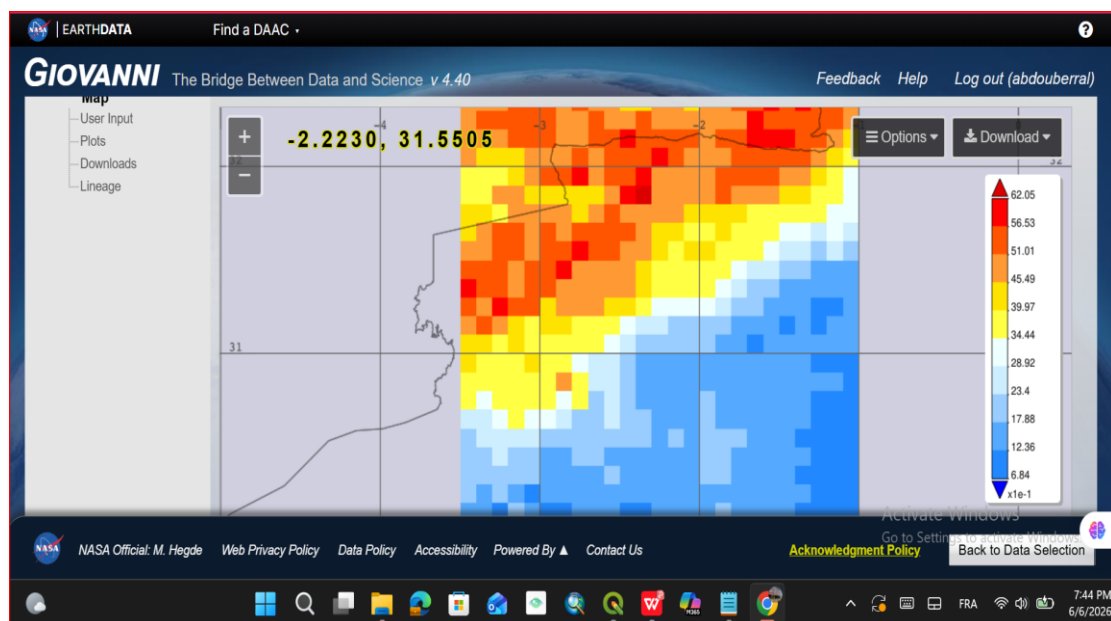


Figure 4.2 : la cartographie de carte pluviométrique de Béchar sept 2024,
Source : auteurs.

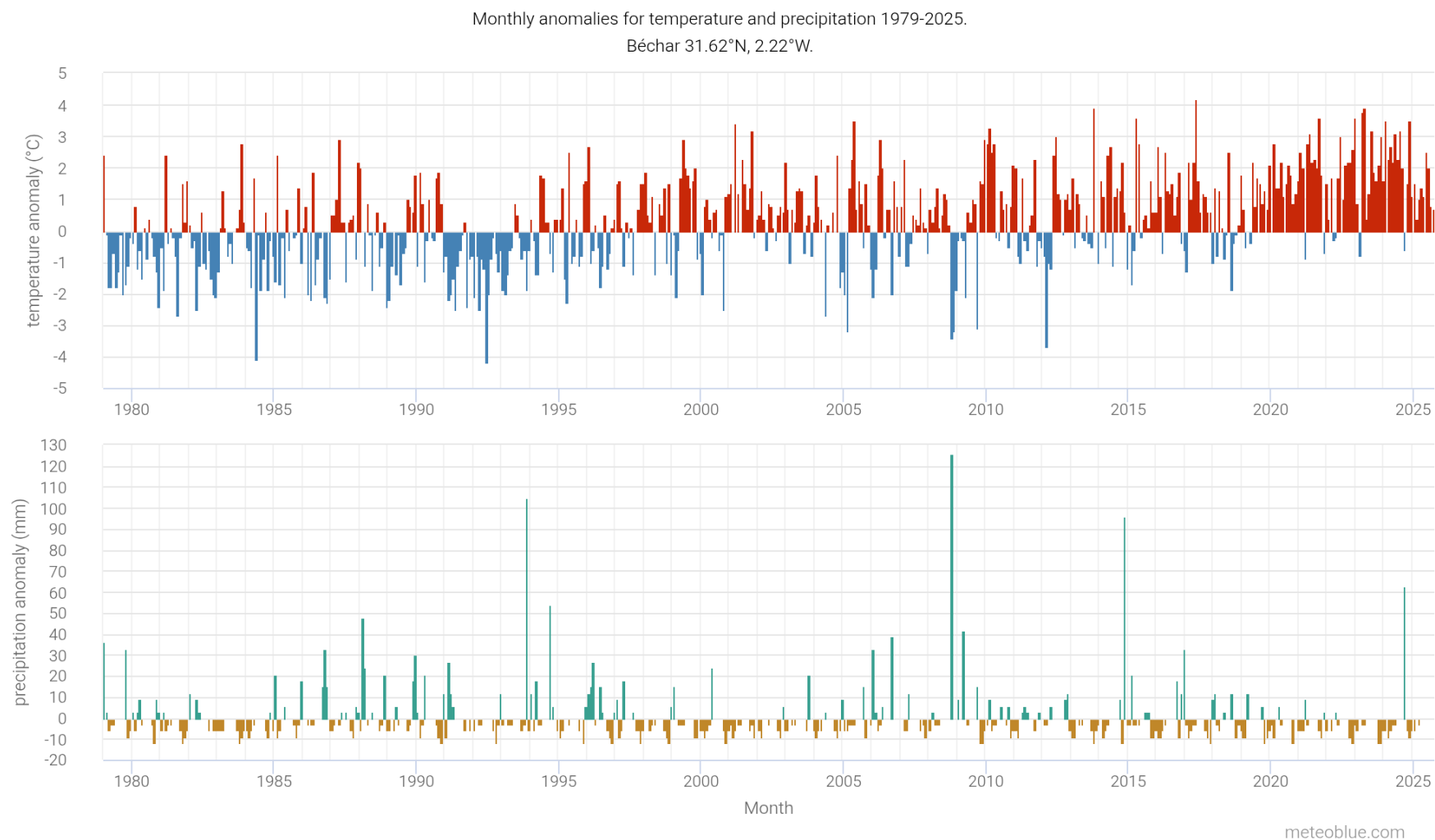


Figure 4.3 : Evolution des anomalies mensuelles de la température et des précipitations à Béchar (1979-2025), Source : météoblue.

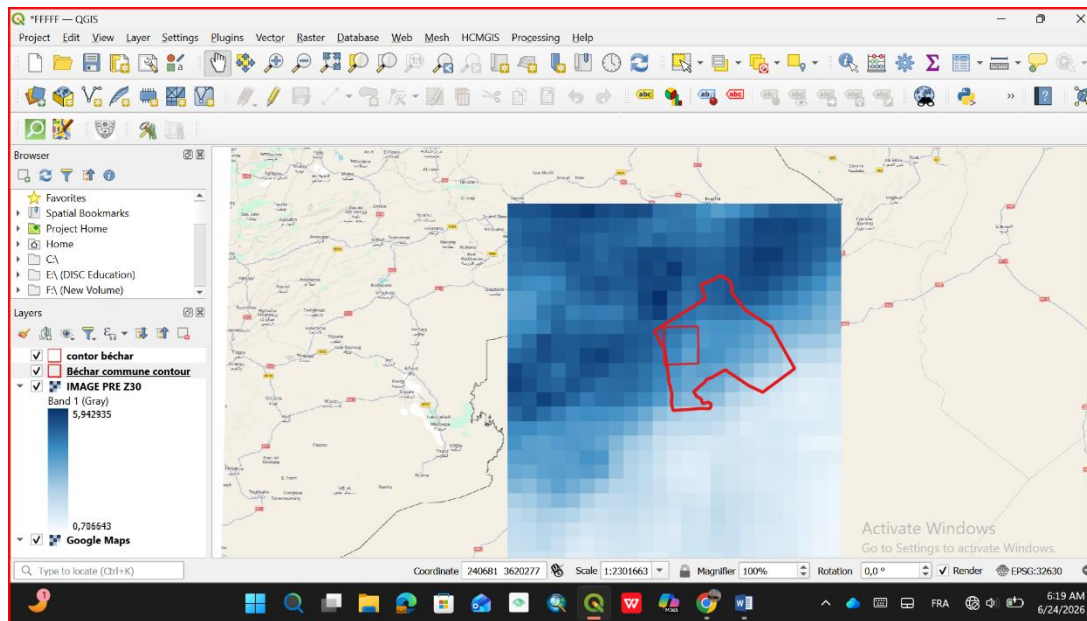
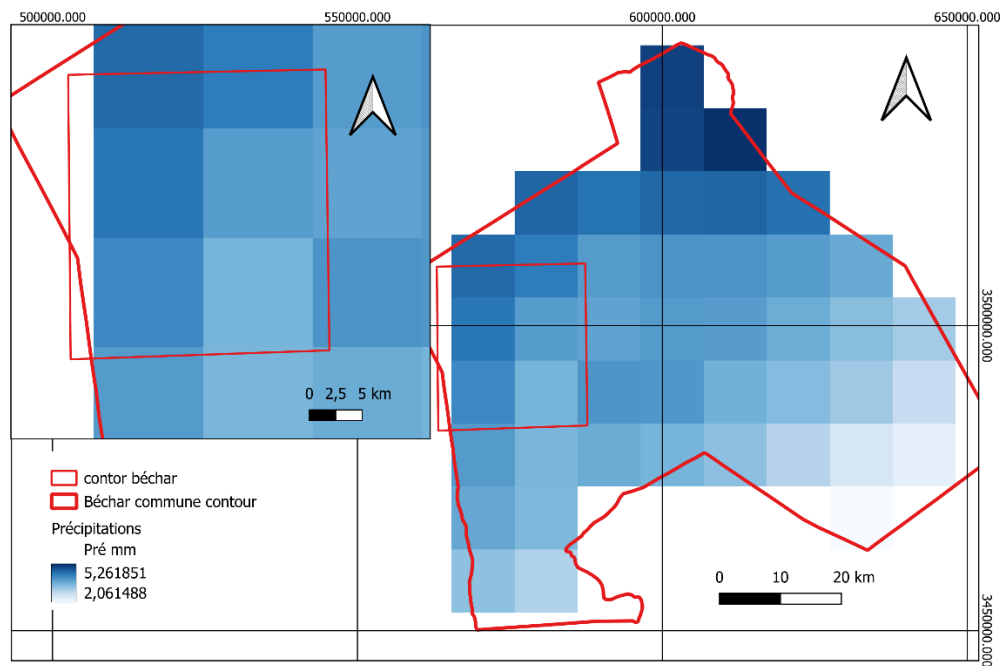


Figure 4.4 : la cartographie de carte pluviométrique de Béchar sept 2024, Source : auteurs.



Carte de précipitation durant les jours d'inondation sept 2024 dans la région de Béchar

Figure 4.5 : la carte pluviométrique de Béchar sept 2024, Source : auteurs.

6. Limites administratives de l'Algérie :

Dans cette étape, les limites administratives de l'Algérie ont été préparées et organisées à l'aide du logiciel QGIS afin de faciliter leur exploitation dans le système d'information géographique.

- Importation du fichier Shapefile des limites administratives de l'Algérie dans QGIS.
- Extraction des couches des wilayas, daïras et communes à partir des données géographiques.
- Vérification et organisation des attributs administratifs dans QGIS.
- Préparation et sauvegarde des couches pour les traitements cartographiques ultérieurs.

Système de projection : Configuration du projet QGIS sous le système de coordonnées projetées adapté à la région de Béchar (WGS 84 / UTM zone 30N).

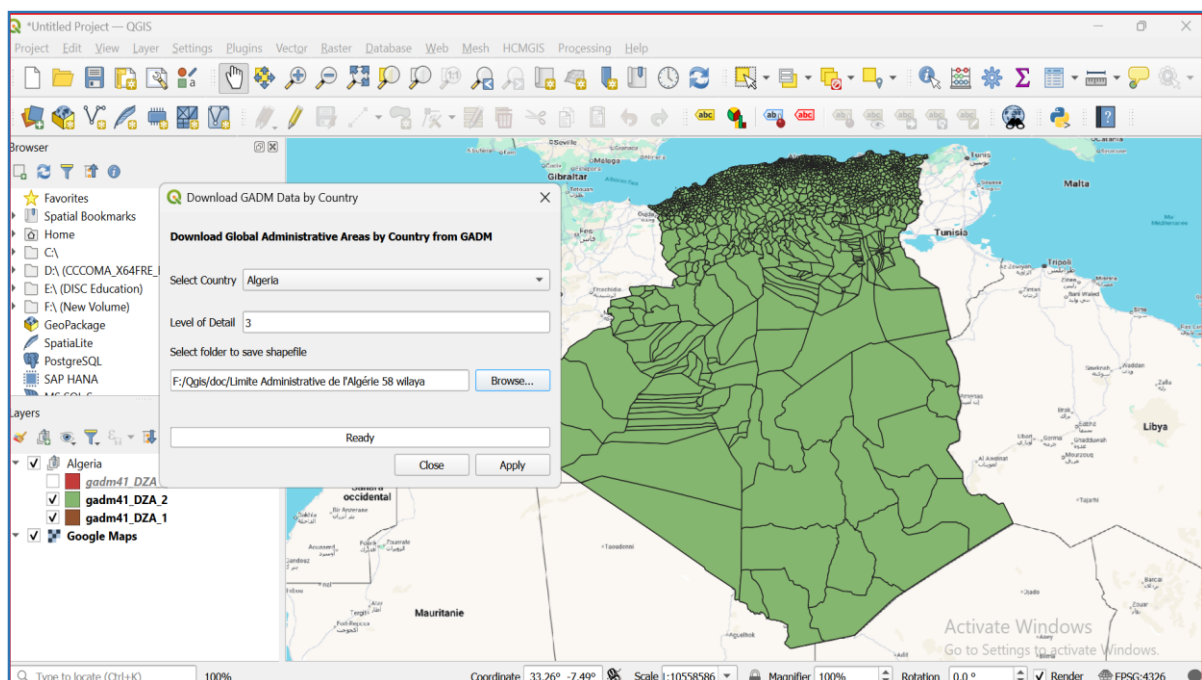
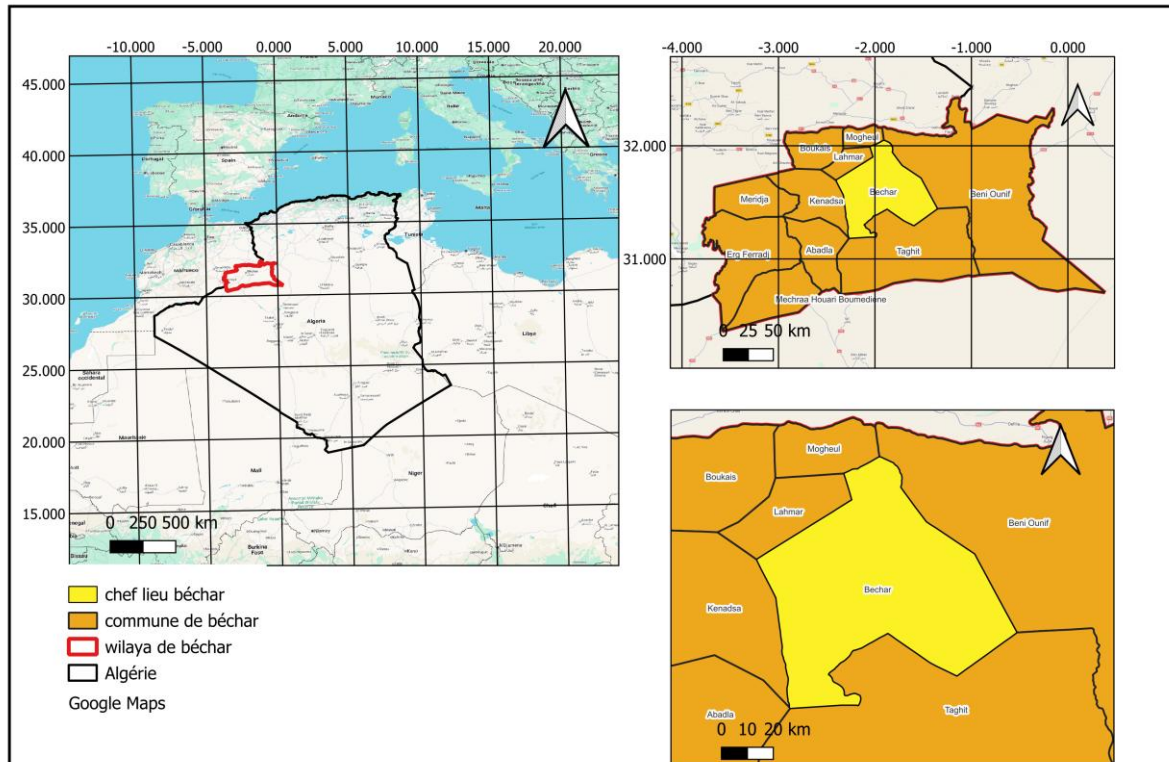


Figure 4.6 : Importe fichier shipfile des limites administrative de l'Algérie dans Qgis,
Source : auteurs.

Le résultat obtenu est une carte de situation réalisée sous QGIS, permettant de localiser et de représenter la zone d'étude ainsi que les limites administratives de l'Algérie.



carte de situation de la wilaya de béchar et ses communes

Figure 4.7 : Carte de situation de la wilaya de Béchar et ses communes (Qgis) , Source : auteurs.

7. Carte de DEM :

Réalisation de la carte du Modèle Numérique d'Élévation (MNT/DEM) et intégration du plan vectoriel sous QGIS

- Connexion à la plateforme (OpenTopography), Délimitation de la zone d'étude à l'aide de l'outil de sélection rectangulaire sur la carte interactive, Sélection du modèle (SRTM GL1) avec une résolution spatiale de 30 m, Téléchargement le DEM au format (GeoTIFF)
- Ouverture du logiciel QGIS et importation du DEM (GeoTIFF) via :

Layer → Add layer → Add raster layer (Vérification de l'affichage des couches dans le projet, Reprojection du raster et du plan vectoriel vers : WGS 84 / UTM Zone 30N.)

Découpage du DEM selon les limites administratives (Béchar) ou l'emprise du bassin versant à partir de :

- Raster → Extraction → clip raster by mask layer

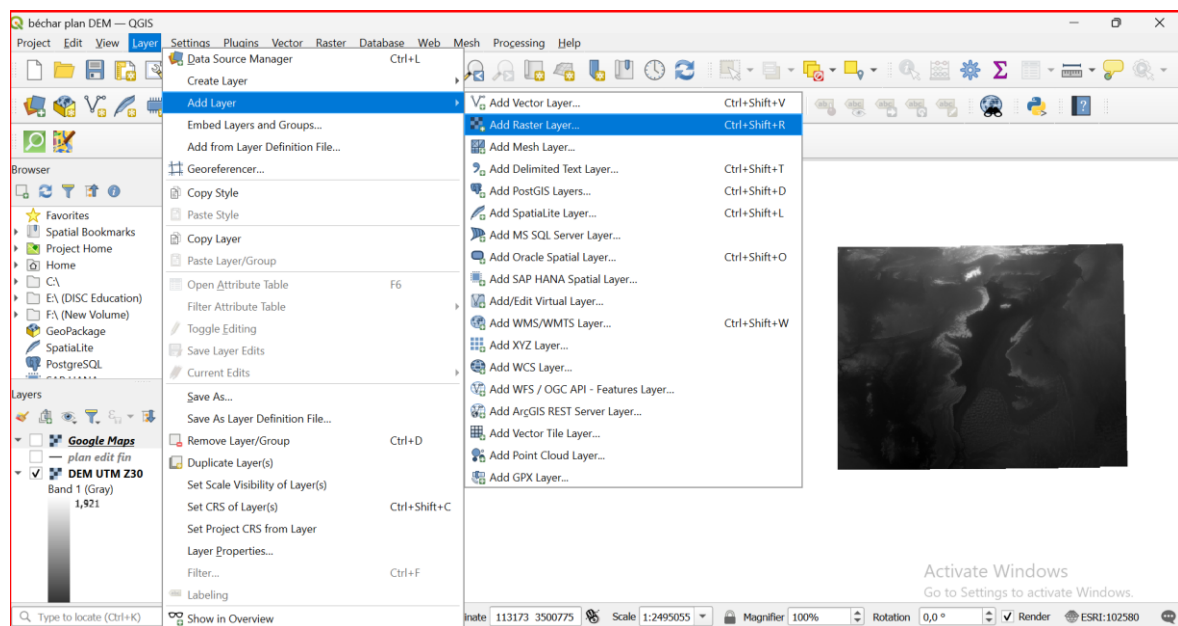


Figure 4.8: Ajouté layer de DEM de cite (Open topographie) Béchar, Source : auteurs.

- Découpage du DEM selon les limites administratives ou l’emprise du bassin versant à partir de :

Raster → Extraction → clip raster by mask layer.

Analyse spatiale et amélioration visuelle

Création de la couche d’ombrage (Hillshade) via :

Raster → Analysis → Hillshade.

Application d’une symbologie :

Pseudo-couleur à bande unique sur le DEM.

- Choix d’un dégradé de couleurs :

Vert : basses altitudes ;

Marron : altitudes élevées.

Superposition de la couche Hillshade avec le DEM.

- Activation du mode de fusion :

Multiplier (Multiply) avec une opacité de 100 %.

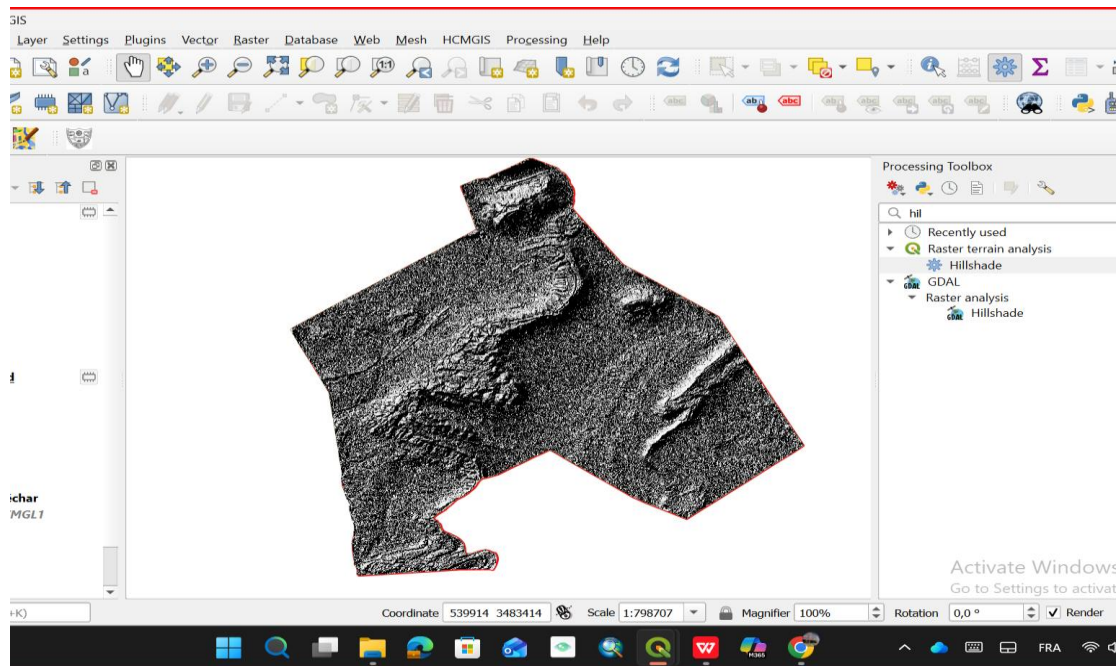


Figure 4.9 : Création de la couche d’ombrage (Hillshade), Source : auteurs.

Récupération du PDAU de la ville de Béchar.

- Conversion du fichier Plan_Bechar.dwg au format DXF (AutoCAD 2010) pour assurer sa compatibilité.

Importation du plan DXF via :

- Layer → Add layer → Add vector layer.
- Géoréférencement du plan vectoriel à l’aide de points de contrôle au sol (GCP) pour le caler sur la zone d’étude.

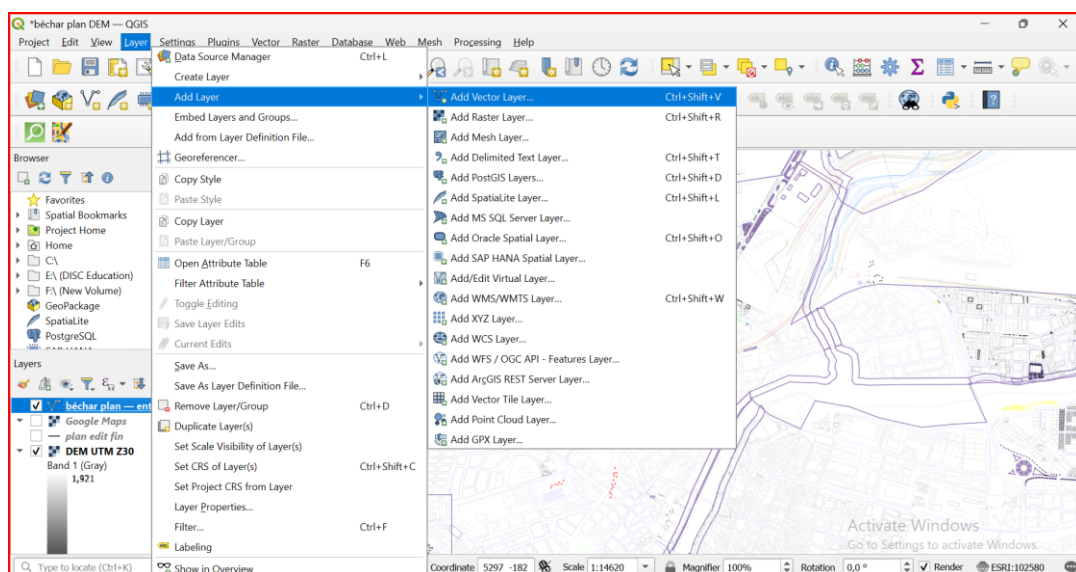


Figure 4.10 : Ajouté et récupération du PDAU de la ville de Béchar. , Source : auteurs.

Ajout du plan de PDAU géoréférencé au-dessus du relief.

Réglage de la transparence pour une meilleure visualisation du tissu urbain.

Mise en page cartographique et exportation DEM

Ouverture du composeur d'impression via :

- Projet → Nouvelle mise en page Choix du format de sortie (A4 ou A3) Insertion de la carte principale.

Ajout (d'une grille de coordonnées UTM, Personnalisation de : (la légende ; la flèche du nord ; l'échelle graphique) Vérification finale de la mise en page.

- Exportation de la carte en :

PNG haute résolution (300 DPI) ;

PDF vectoriel.

8. Carte des Pentes du bassin versant :

- Découper le DEM sur le périmètre urbain via Raster -> Extraction -> Clip Raster by Extent (en choisissant Draw on Canvas).
- Calculer la pente via Raster Analysis Slope... à partir du DEM découpé de la ville.(WGS 84 / UTM Zone 30N)
- Styliser la pente via les Properties de la couche Symbology Singleband pseudocolor (du vert au rouge).

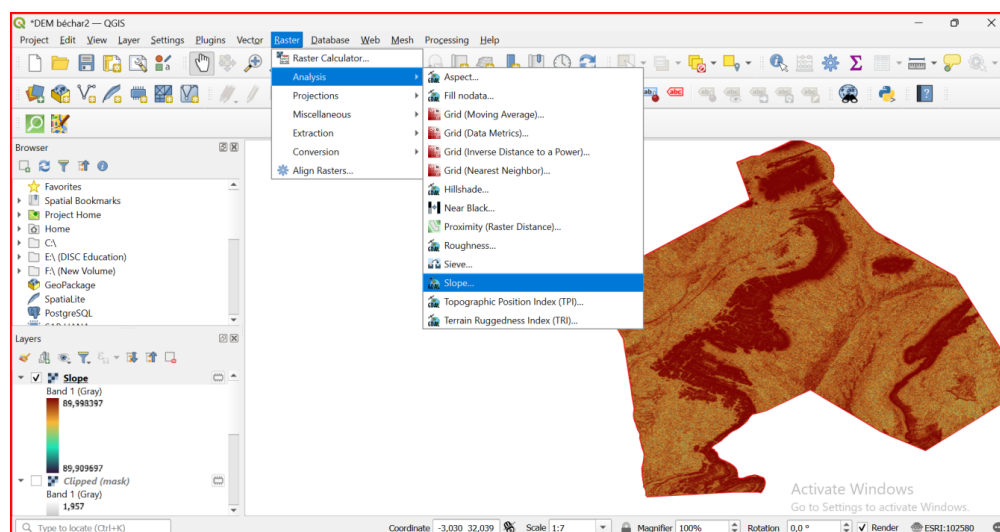


Figure 4.11 : Pente à partir du DEM découpé, Source : auteurs.

- Créer la mise en page finale via Project New Print Layout.
- Ajouter les éléments de la carte (Add Map, Add Legend, Add Scala Bar, Add North Arrow et la Grille de coordonnées).
- Exporter la carte finale sous forme d'image ou PDF

Rastérisation de l'Oued (Vecteur vers Raster)

- Menu : Raster Conversion Rasterize (Vector to Raster).
- Input layer: Oued_Bechar_Vector.
- A fixed value to burn: Saisir 1.
- Output raster size units: Sélectionner Georeferenced units.
- Resolution (X et Y) : Saisir 30 (pour s'aligner sur le DEM).
- Output extent : Sélectionner Calculate from layer DEM_Bechar.
- Output file : Enregistrer sous le nom Oued_Raster puis cliquer sur Run.

9. Carte de réseau hydrographie de bassin versant d'oued Béchar:

Étapes pratiques sous QGIS (Interface en Anglais) :

Correction du MNT :

- Aller dans Processing Toolbox.
- Chercher et double-cliquer sur Fill sinks (Wang & Liu).
- Choisir le MNT dans Elevation puis cliquer sur Run.

Accumulation de flux :

- Dans Processing Toolbox , chercher Catchment Area (SAGA).
- Sélectionner le MNT corrigé dans Elevation puis cliquer sur Run.

Extraction du réseau :

- Dans Processing Toolbox chercher Channel network and drainage basins.
- Introduire le MNT corrigé dans Elevation ajuster le Threshold puis cliquer sur Run.

Vectorisation :

Exporter la couche Channels générée en faisant Export Save Features As au format ESRI Shapefile.

Superposition :

Glisser et déposer (Drag & Drop) la couche des canaux sur la carte des pentes (Slope) dans le panneau Layers.

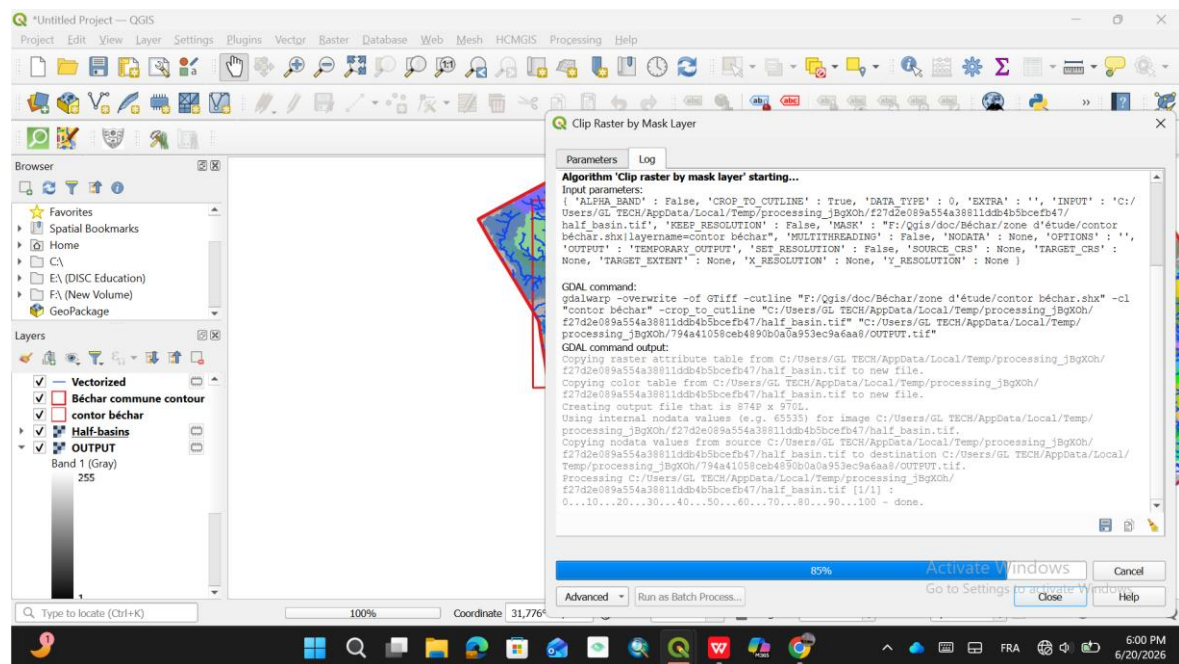


Figure 4.12 : Pente à partir du DEM découpé, Source : auteurs.

10. Délimitation des sous-bassins (Raster) :

- L'algorithme Channel network and drainage basins génère automatiquement une couche raster nommée Drainage Basins.

Vectorisation des sous-bassins :

- Dans Processing Toolbox chercher et ouvrir Polygonize (Raster to Vector).
- Dans Input layer sélectionner la couche Drainage Basins puis cliquer sur Run.

Extraction des sous-bassins d'étude :

Sélectionner les polygones des sous-bassins correspondants à la zone d'étude.

11. Carte de proximité d'oued :

- Menu : Raster Analyse Proximity (Raster Distance).
- Input layer : Oued_Raster.
- Target pixel values : Saisir 1.
- Distance units : Sélectionner Georeferenced coordinates (Calcul en mètres).
- Output data type : Laisser en Float32.
- Output file : Enregistrer sous le nom Distance_Oued_Bechar puis cliquer sur Run.

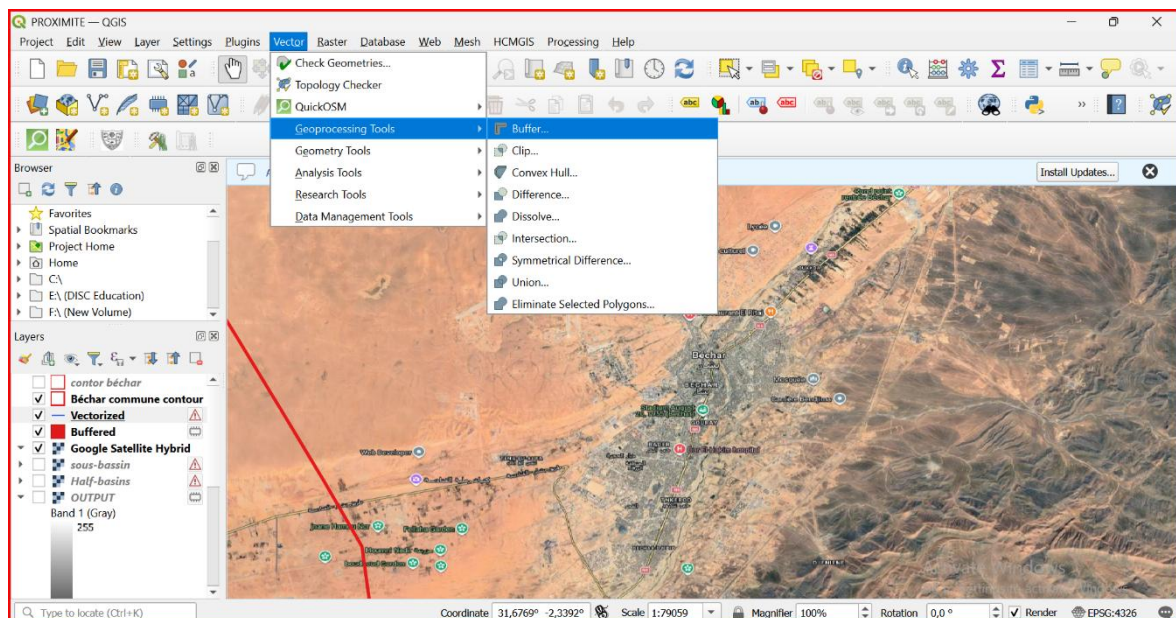


Figure 4.13 : distances (Proximité) d'Oued, Source : auteurs.

- Go to the top menu Click on Processing Click on Toolbox

In the search bar of the Processing Toolbox Type: Fill sinks.

- Double-click on the tool: Fill Sinks (Wang & Liu).

In the window that opens:

- DEM: Sélectionner votre couche DEM projetée (Reprojected) Leave other settings as default.

- Click on Run Click on Close (Une nouvelle couche appelée Filled DEM est créée dans votre panneau Layers).
- Détermination de la Direction d'Écoulement (Flow Direction), In the search bar of the Processing Toolbox Type: Flow direction.
 - Double-click on the tool: Flow Direction (SAGA).

In the window that opens:

- Elevation : Sélectionner la couche corrigée Filled DEM (générée à l'étape précédente).
- Click on Run Click on Close
- Calcul de la Concentration des Eaux (Flow Accumulation), in the search bar of the Processing Toolbox Type: Flow accumulation.
 - Double-click on the tool: Flow Accumulation.

In the window that opens:

- Flow Direction: Sélectionner la couche Flow Direction (générée à l'étape précédente).
- Click on Run Click on Close (Votre réseau hydrographique apparaît enfin sur l'écran sous le nom de Flow Accumulation).
- Extraction et Production de la Carte Hydrologique Finale

12. Les données satellitaires :

Les données provenant de la couverture du sol issues de l'image TM de Sentinel 2.

- Téléchargement et Préparation des Données Satellitaires)
- Inscription et connexion sur la plateforme (USGS Earth Explorer)

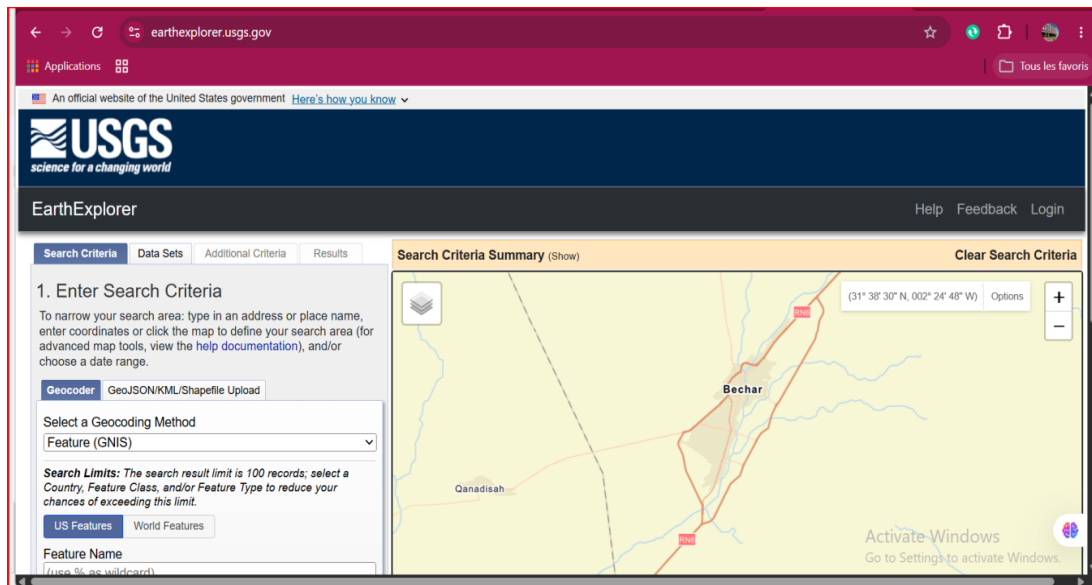


Figure 4.14 : Plateforme de USGS Earth Explorer, Source : auteurs.

- Recherche géographique de la zone d'étude (Ville de Béchar, Algérie)
- Sélection du capteur optique à haute résolution (Sentinel 8/9)
- Filtrage des images selon le taux de nébulosité (Nuages inférieurs à 10%)
- Choix de la date optimale avant l'inondation (image du mois d'août 2024)
- Téléchargement des bandes spectrales nécessaires en format (TIFF 16 bit)

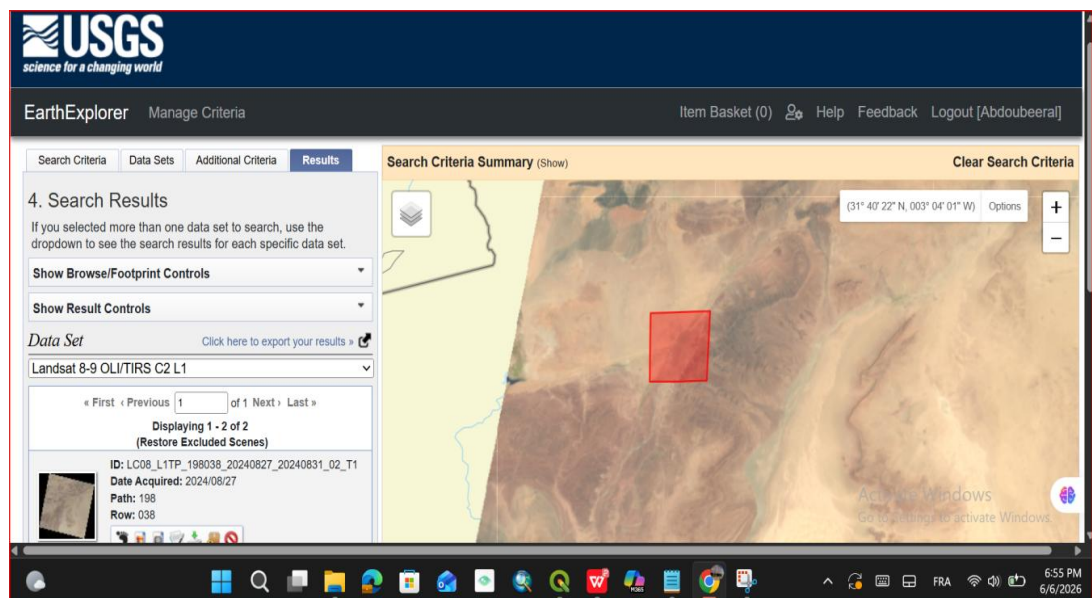


Figure 4.15 : Télécharge la photo landsat 8/9 Avant l'inondation dans le site USGS

Et dans l'après l'inondation (image du mois de aout 2024), Source : auteurs.

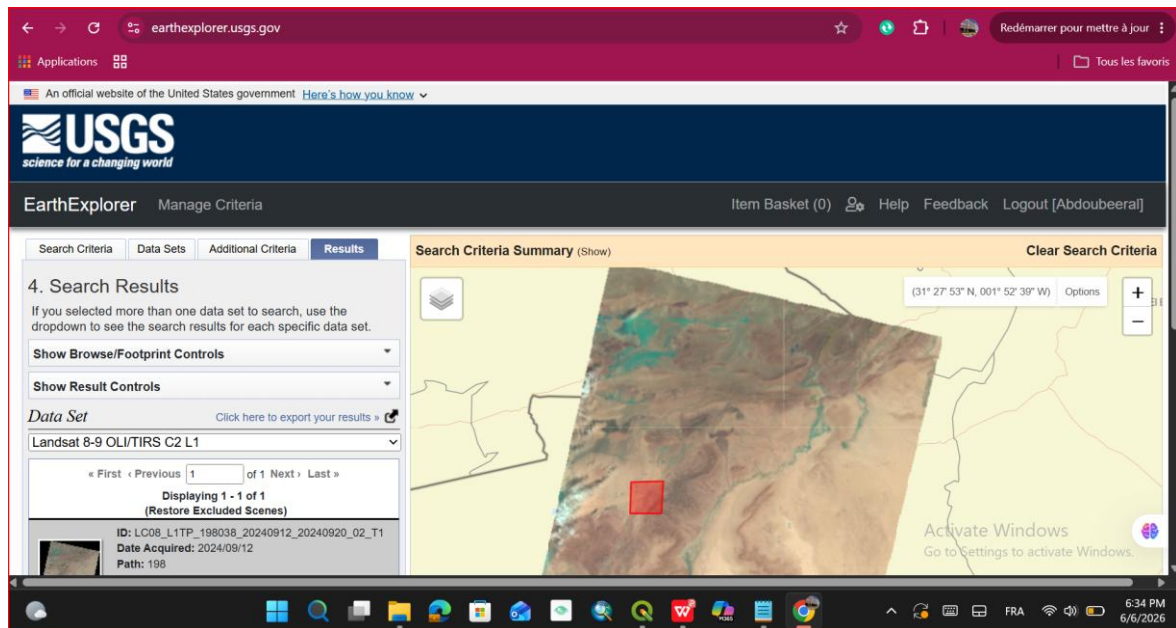


Figure 4.16 :: Télécharge la photo landsat 8/9 Après l'inondation (12 sept) dans le site USGS, Source : auteurs.

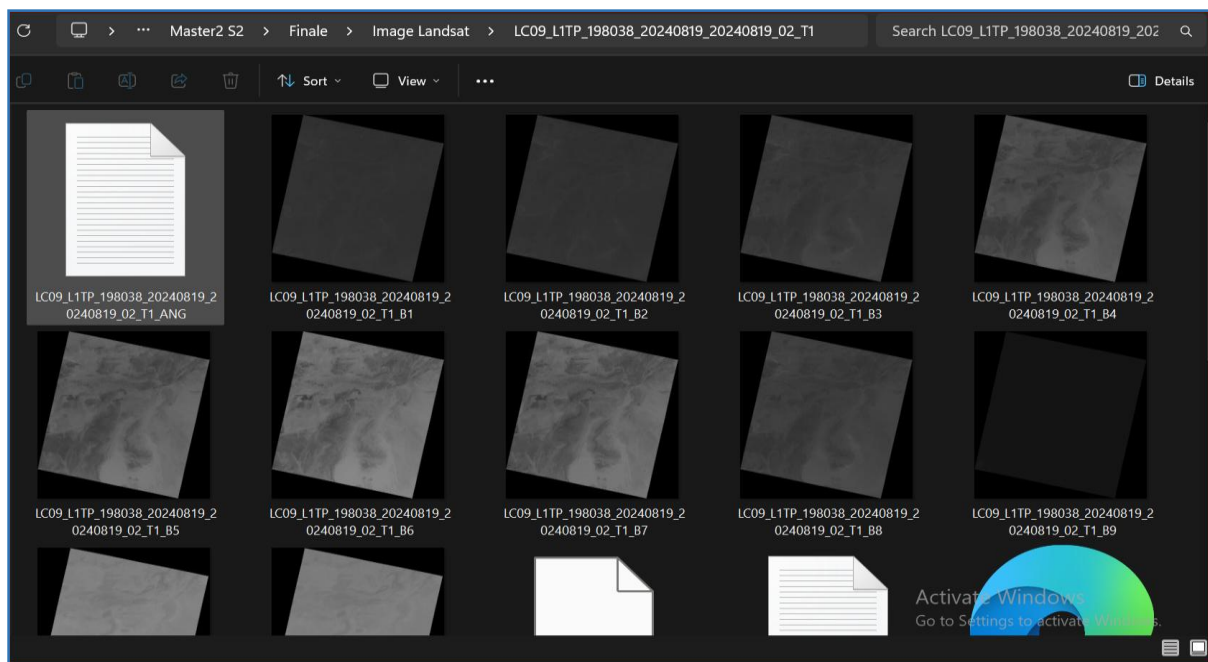


Figure 4.17: Les bandes de photo landsat 8/9, Source : auteurs.

12.1. Importation et Combinaison des Bandes Spectrales dans QGIS :

Ouverture du logiciel (QGIS) et configuration du projet sur le système (WGS 84 / UTM Zone 30N)

- Importation des bandes téléchargées (B02, B03, B04, B5, B6, B7) via le gestionnaire des couches (Raster)

- Accès à l'outil de combinaison via le menu (Raster Miscellaneous Build virtual raster)
- Sélection de toutes les bandes importées comme fichiers sources (Input lasers)
- Activation de l'option (Placer chaque fichier d'entrée dans une bande séparée)
- Enregistrement du produit final sous format (TIFF) sous le nom (Image_Composite_Bechar)

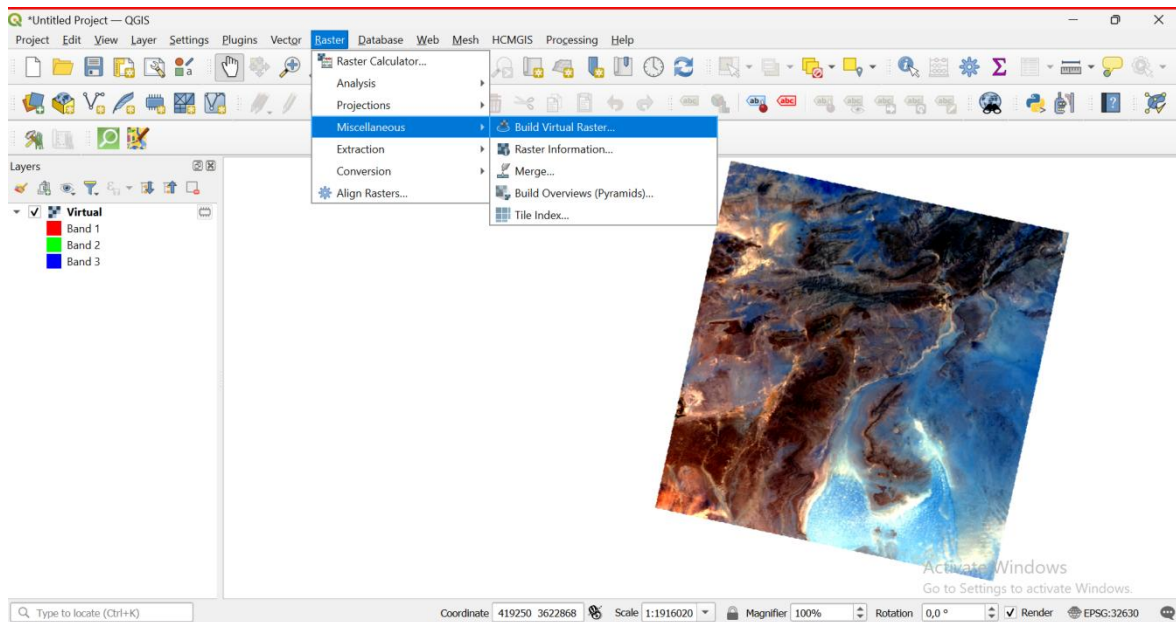


Figure 4.18 : Importation et Combinaison des Bandes Spectrales dans QGIS, Source : auteurs.

12.2. Découpage de l'Image Composite sur la Zone d'Étude :

- Importation de la couche vectorielle des limites de la ville de Béchar (Fichier Shapefile / SHP)
- Accès à l'outil de découpage via le menu (Raster Extraction Clip raster by mask layer)
Sélection de l'image (Input layer)
- Sélection du Shapefile de la ville (Mask layer)
- Configuration du Système de Coordonnées (CRS Source et Cible : WGS 84 / UTM Zone 30N)
- Enregistrement du résultat sous format (TIFF) sous le nom (Image_Clip_Bechar)

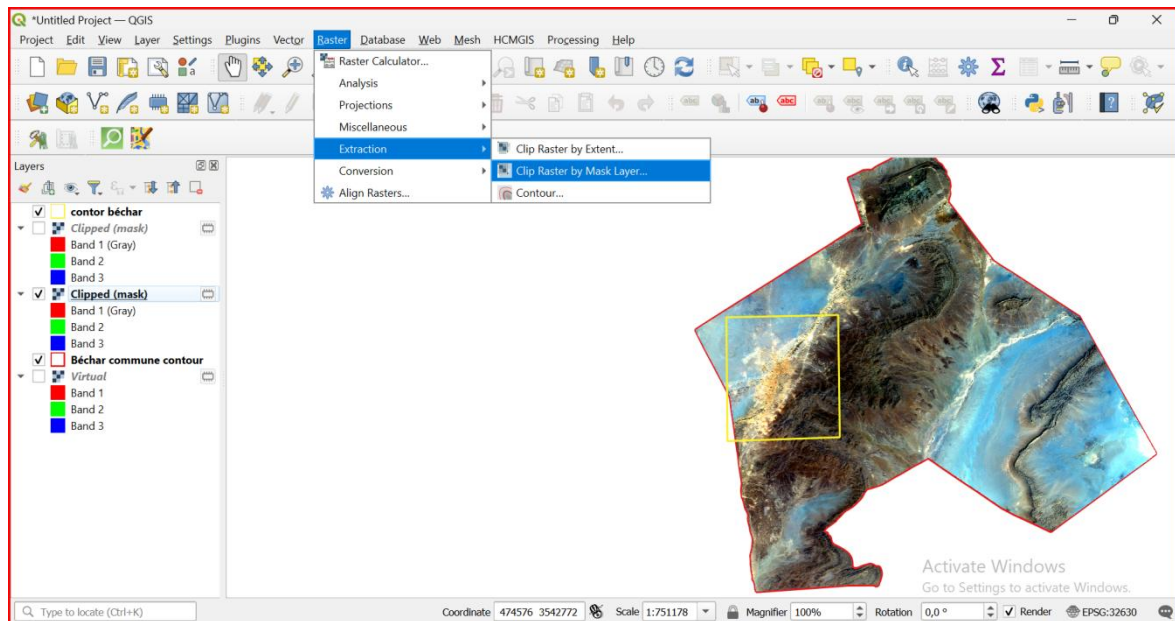


Figure 4.19 : Découpage de l'Image Composite sur la Zone d'Étude, Source : auteurs.

12.3. Amélioration de la résolution spatiale dans QGIS :

Cette opération fusionne la précision géométrique de la bande panchromatique (15 m) avec la richesse thématique des bandes spectrales (30 m). Le résultat permet de cartographier avec une haute précision les oueds et les zones vulnérables aux inondations.

- Ouvrir l'outil Accéder à la Boîte d'outils de traitement et rechercher l'algorithme Pansharpening (GDAL).
- Configurer les entrées Sélectionner l'image composite (6 bandes) comme Spectral Layer et la Bande 8 (15m) comme Panchromatic Layer.
- Rééchantillonnage et Sauvegarde Choisir la méthode Cubic pour éviter la pixellisation, puis enregistrer le produit final (Béchar_15m_Composite.tif).

13. Calcul des Indices NDVI et NDWI :

- Le **NDVI** permet d'évaluer la densité et l'état de la végétation.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

- Où :

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NIR = bande proche infrarouge (Near Infrared)

Red = bande rouge

- **Interprétation :**

Les valeurs de NDVI varient de -1 à +1, et chaque intervalle indique un type de couverture terrestre différent.

Intervalle NDVI	Type de Couverture Terrestre
● -1 à 0	Surfaces sans végétation (eau, sol nu, neige)
● 0 à 0.2	Végétation très rare ou sol nu
● 0.2 à 0.5	Végétation modérée (prairies, arbustes)
● 0.5 à 1.0	Végétation dense (forêts, cultures saines)

- Le **NDWI** permet de détecter les surfaces en eau et l'humidité.

$$NDWI = \frac{(\rho_{GREEN} - \rho_{NIR})}{(\rho_{GREEN} + \rho_{NIR})}$$

- Où :

NDWI (Normalized Difference Water Index)

Green = bande verte

NIR = bande proche infrarouge

➤ Interprétation :

NDWI > 0 : Présence probable d'eau

NDWI ≈ 0 : Zones humides ou mixtes

NDWI < 0 : Végétation ou sol nu

13.1. Calcul des Indices pour la Date Avant Inondation

Calcul du NDVI Avant :

Equation du NDVI : (Proche Infrarouge - Rouge) / (Proche Infrarouge + Rouge)

- Ouvrir l'outil Raster Calculator du menu supérieur.
- Saisir la formule du NDVI en sélectionnant les bandes de l'image avant inondation.

$$\text{NDVI} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

- Enregistrer le résultat sous le nom NDVI_Avant_Bechar.

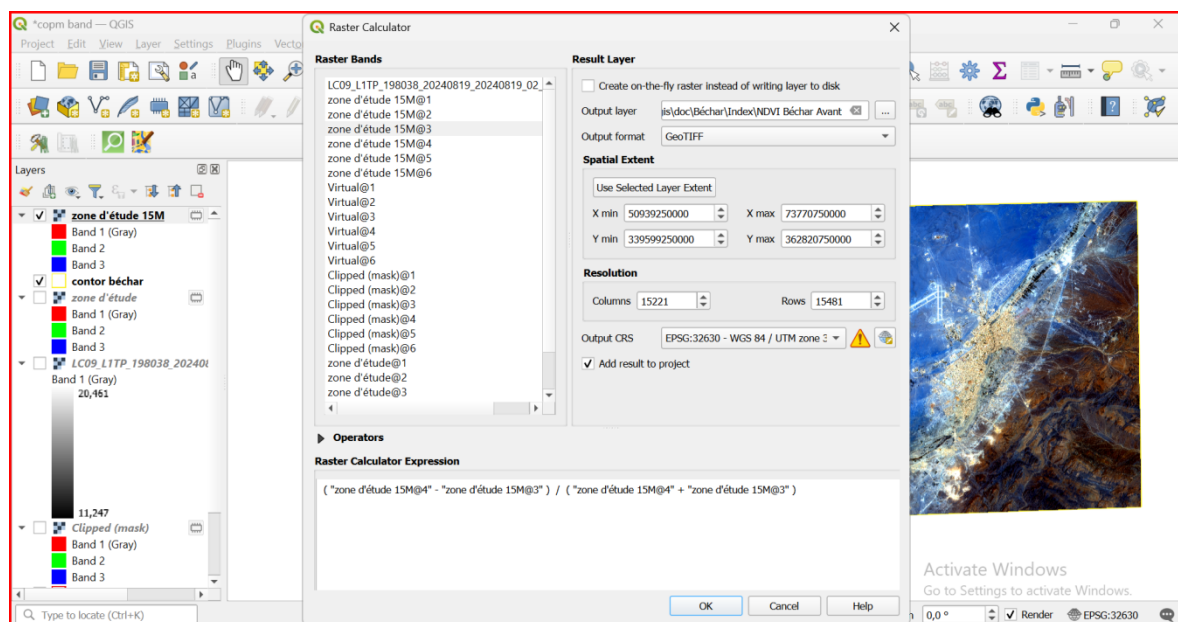


Figure 4.20 : Calcul des Indices NDVI pour la Date Avant Inondation, Source : auteurs.

Calcul du NDWI Avant :

Equation du NDWI : (Vert - Proche Infrarouge) / (Vert + Proche Infrarouge)

- Ouvrir à nouveau l'outil Raster Calculator.
- Saisir la formule du NDWI pour la même image avant inondation.

$$\text{NDWI} = \text{B3} - \text{B5} / \text{B3} + \text{B5}$$

- Enregistrer le résultat sous le nom NDWI_Avant_Béchar.

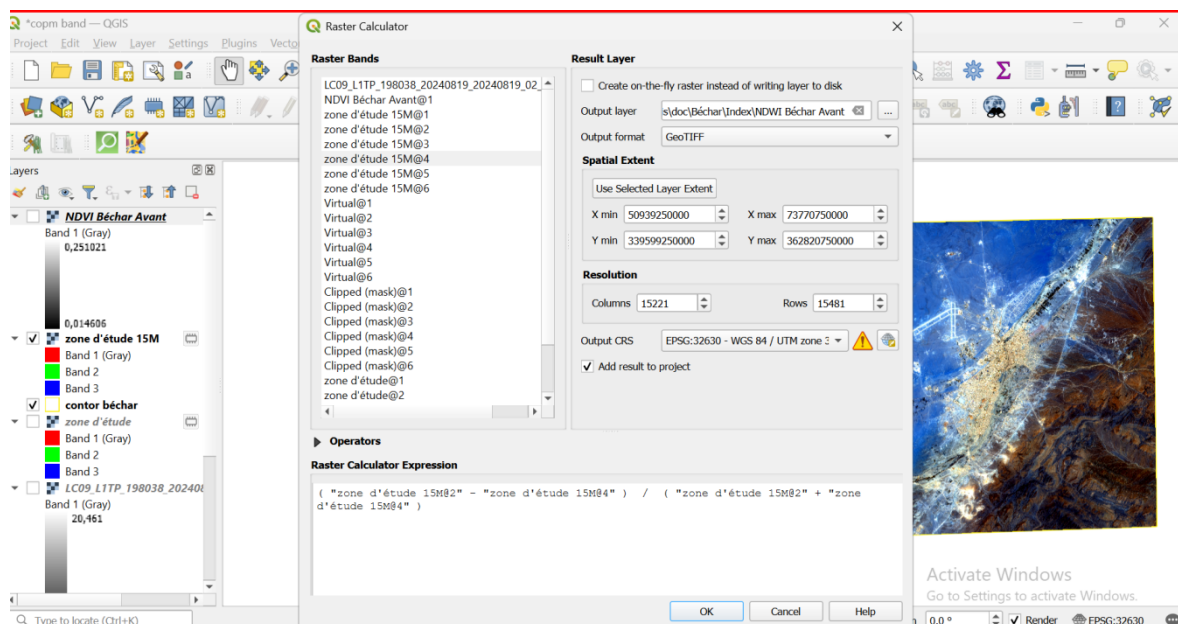


Figure 4.21 : Calcul des Indices NDWI pour la Date Avant Inondation, Source : auteurs.

13.2. Calcul des Indices pour la Date Après Inondation

Calcul du NDVI Après :

Calcul du NDWI Après :

13.3. Analyse Comparative et Détection des Changements

13.3.1. Comparaison Visuelle Spatiale:

- Superposer les couches Avant et Après dans le panneau des couches Layers.
- Activer et désactiver alternativement les couches pour observer l'extension spatiale des eaux de la crue de l'Oued Béchar.

Différenciation Numérique :

- Utiliser le Raster Calculator pour soustraire la carte NDWI Avant de la carte NDWI Après.
- Isoler uniquement les pixels qui ont subi un changement positif important représentant les surfaces inondées.

Mise en Page Cartographique :

- Créer une carte comparative contenant deux fenêtres côte à côte pour illustrer le changement dans le rapport final.

14. Classification supervisé :

14.1. Préparation du Jeu de Bandes (Band Set) dans SCP

- Installer l'extension en allant au menu supérieur Plugins, puis Manage and Install Plugins, chercher SCP et cliquer sur Install.
- Ouvrir l'onglet SCP dans le menu supérieur, aller sur Band set.
- Sous la liste Single band list, rafraîchir et sélectionner les bandes originales de l'image satellite ainsi que les couches des indices NDVI et NDWI calculées.
- Cliquer sur le bouton Plus pour ajouter ces couches dans le tableau du Band set 1.
- Dans la case Quick wavelength, sélectionner le capteur correspondant (Landsat 8/9) pour ajuster automatiquement les longueurs d'onde.

14.2. Création des Échantillons d'Entraînement (Training Input)

- Dans le panneau SCP de gauche, cliquer sur l'onglet Training input.
- Cliquer sur le bouton Create a new training input pour créer et enregistrer un fichier de signatures spectrales sous le nom Signatures_Bechar.
- Utiliser l'outil Create a ROI polygon sur la barre d'outils pour dessiner manuellement des polygones d'entraînement sur l'image.
- Définir les classes principales de la région de Béchar dans le tableau des macroclasses (MC_ID) :
 - Macroclass 1 : Zones Urbaines (Bâtiments et routes).
 - Macroclass 2 : Végétation (Palmeraies et cultures).
 - Macroclass 3 : Sols Nus (Désert et roche).
 - Macroclass 4 : Surfaces en Eau (Oued Béchar et zones inondées).
- Cliquer sur Save temporary ROI pour chaque échantillon créé afin de nourrir l'algorithme.

14.3. Exécution de la Classification

- Aller à l'onglet Band processing dans le menu SCP, puis sélectionner Classification.
- Sous la case Use MC ID, choisir l'algorithme de classification désiré (Random Forest).
- Cliquer sur le bouton Run en bas à droite.
- Choisir le dossier de destination sur votre PC et nommer le fichier final Carte_Occupation_Sol_Bechar.
- Cliquer sur Enregistrer et attendre la fin du traitement pour voir s'afficher la carte thématique colorée.

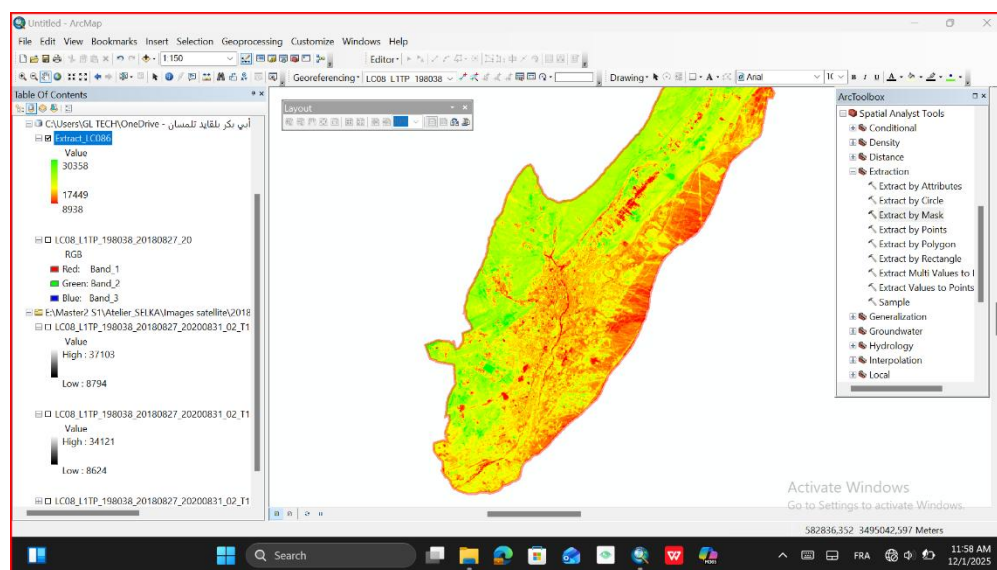


Figure 4.22 : Exécution de la Classification, Source : auteurs.

Tableau 4.2 : Bilan des impacts et des dommages sur l'occupation du sol (Classification Supervisée), Source : auteurs.

Macroclasse Touchée	Description des Dommages à Béchar	Superficie Submergée (Ha)
Zones Urbaines	Bâtiments inondés, tissu urbain et infrastructures	0000
Végétation	Palmeraies touchées et cultures d'oued détruites	0000
Sols Nus	Zones désertiques, lits d'oued secondaires et débris	0000
Total Impacté	Superficie totale touchée par la crue	0000

15. Extraction des Surfaces Inondées par Seuillage Numérique du NDWI

15.1. Principe de la Méthode :

Le seuillage consiste à isoler les plans d'eau en fixant une valeur limite. Selon la littérature géographique, toute valeur du NDWI supérieure à zéro représente de l'eau.

15.2. Résultats Obtenus :

Génération d'une carte binaire contenant uniquement deux valeurs distinctes.

- La valeur 1 représente les pixels submergés par la crue de l'Oued Béchar.
- La valeur 0 représente les zones sèches non touchées par l'inondation.

15.3. Application du Seuillage Numérique dans QGIS

- Aller au menu supérieur et cliquer sur Raster puis sélectionner Raster Calculator.
- Dans la case Raster Calculator Expression, saisir la formule logique suivante en double-cliquant sur la couche du NDWI après inondation :

$$\text{NDWI_Après_Bechar} > 0$$

- Dans la case Output layer, cliquer sur le bouton avec les trois points pour définir le dossier d'enregistrement.
- Nommer le nouveau fichier sous le nom Masque_Inondation_Bechar puis cliquer sur Save.
- Laisser les autres paramètres par défaut et cliquer sur le bouton OK pour lancer le traitement.

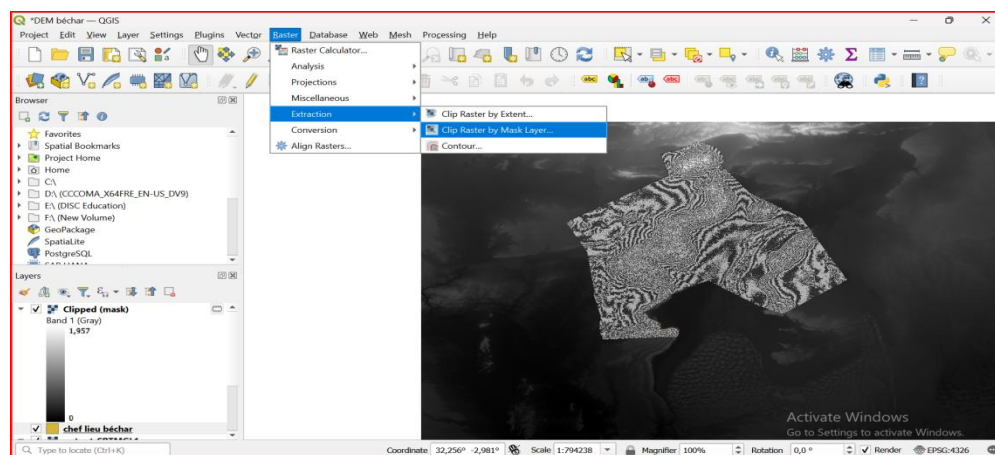


Figure 4.23 : Application du Seuillage Numérique dans QGIS, Source : auteurs.

15.4. Conversion du Masque d'Inondation en Mode Vecteur (Polygone)

- Aller au menu supérieur de QGIS et cliquer sur Raster, puis sur Conversion, et sélectionner Polygonize (Raster to Vector).
- Dans la case Input layer, sélectionner votre fichier binaire Masque_Inondation_Bechar.
- Dans la case Output vector layer, cliquer sur les trois points pour choisir le dossier de sauvegarde.
- Nommer le fichier Zone_Inondee_Vector puis cliquer sur Save.
- Cliquer sur Run pour exécuter l'opération.

15.5. Calcul de la Superficie Inondée en Hectares (Dans la Table d'Attributs)

- Faire un clic droit sur la nouvelle couche Zone_Inondee_Vector dans le panneau des couches, et sélectionner Open Attribute Table.
- Activer le mode édition en cliquant sur l'icône du crayon jaune (Toggle Editing Mode).
- Ouvrir l'outil Calculatrice de champs en cliquant sur l'icône Open Field Calculator.
- Cocher la case Create the new field, et nommer le nouveau champ Superficie_Ha.

Saisir la formule géométrique suivante dans la case de calcul pour obtenir la surface en hectares : $\text{area} / 10000$

- Cliquer sur OK, puis enregistrer les modifications et fermer le mode édition.

16. Application de la méthode AHP :

16.1. Les Couches Raster Nécessaires

- DEM_Bechar (Modèle Numérique de Terrain / Altitude).
- Pente_Bechar (Calculée à partir du DEM).
- Distance_Oued_Bechar (Calculée à partir de la couche vecteur de l'Oued).
- Carte_Occupation_Sol_Bechar (Générée par la classification supervisée SCP).

16.2. Les Poids et Pourcentages AHP

- Altitude (DEM) : 40% (Coefficient : 0.40)
- Distance à l'Oued : 30% (Coefficient : 0.30)

- Pente : 20% (Coefficient : 0.20)
- Occupation du sol : 10% (Coefficient : 0.10)

16.3. La Méthode Pratique dans QGIS

Étape A : Standardisation des critères (Reclassify by table)

Pour combiner des données d'unités différentes (mètres, degrés, classes d'occupation), il faut standardiser toutes les couches sur une échelle commune de notation de 1 (Risque très faible) à 5 (Risque très élevé) :

Pour la couche DEM_Bechar :

- Les altitudes les plus basses (proches du lit de l'Oued) reçoivent la note 5.
- Les altitudes les plus hautes reçoivent la note 1.

Fichier de sortie : **DEM_Reclass.**

Pour la couche Distance_Oued_Bechar :

- Les zones très proches de l'Oued (0 à 50 mètres) reçoivent la note 5.
- Les zones éloignées reçoivent la note 1.

Fichier de sortie : **Distance_Oued_Reclass.**

Pour la couche Pente_Bechar :

- Les pentes plates ou faibles (zones d'accumulation d'eau) reçoivent la note 5.
- Les pentes fortes (zones de ruissellement) reçoivent la note 1.

Fichier de sortie : **Pente_Reclass.**

Pour la couche Carte_Occupation_Sol_Bechar :

- Les zones urbaines et surfaces imperméables reçoivent la note 5.
- Les palmeraies et les sols nus stables reçoivent une note plus faible (2 ou 3).
- Note sur l'imperméabilisation urbaine :

Le critère d'Occupation du Sol intégré dans notre modèle AHP ne représente pas seulement les enjeux exposés, mais reflète également le degré d'imperméabilisation de la ville de Béchar. En situation de pluies torrentielles, le tissu urbain dense (béton, routes asphaltées) génère un coefficient de ruissellement très élevé. Combiné aux défaillances ou à

la saturation du réseau d'assainissement pluvial, ce facteur anthropique amplifie les inondations pluviales par accumulation directe dans les points bas, avant même la saturation du lit de l'Oued.

Fichier de sortie : **Occupation_Sol_Reclass.**

Étape B : Combinaison Linéaire Pondérée (Raster Calculator)

- Menu supérieur Raster Raster Calculator
- Saisie de l'équation mathématique en appliquant les coefficients AHP :

$$(\text{DEM_Reclass} * 0.40) + (\text{Distance_Oued_Reclass} * 0.30) + (\text{Pente_Reclass} * 0.20) + (\text{Occupation_Sol_Reclass} * 0.10)$$

Les Résultats Obtenus

Fichier final : **Carte_Risque_Inondation_AHP.**

16.4. Classification visuelle :

Application d'un style pseudo-couleur à bande unique (Singleband pseudocolor) structuré en 4 classes majeures :

- Classe 1 : Risque Faible (Couleur Verte).
- Classe 2 : Risque Modéré (Couleur Jaune).
- Classe 3 : Risque Élevé (Couleur Orange).
- Classe 4 : Risque Très Élevé (Couleur Rouge).

17. Résultats et Discussion et Perspectives :

18. Structuration, Intégration et Cartographie du Risque d'Inondation

18.1. Analyse des Facteurs Spatiaux de l'Aléa :

Dans cette section, nous analysons les composantes biophysiques et topographiques qui déterminent la probabilité d'occurrence de l'inondation dans la commune de Béchar. Ces facteurs physiques constituent l'Aléa naturel.

18.1.1. Le Facteur Topographique et Morphologique :

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT/DEM) et la carte des pentes permettent d'identifier les zones de basse altitude et les fortes déclivités qui accélèrent la convergence des eaux de ruissellement vers le milieu urbain.

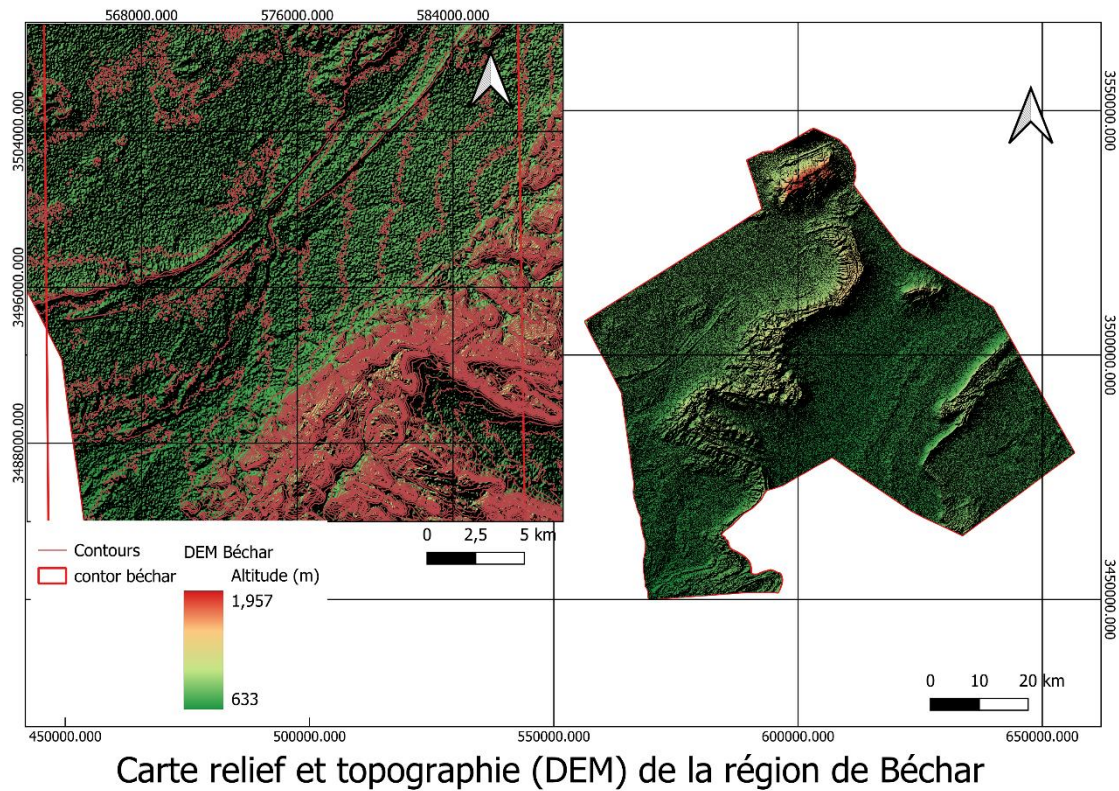


Figure 4.24 : Carte du Modèle Numérique de Terrain (MNT/DEM) de Béchar, Source : auteurs.

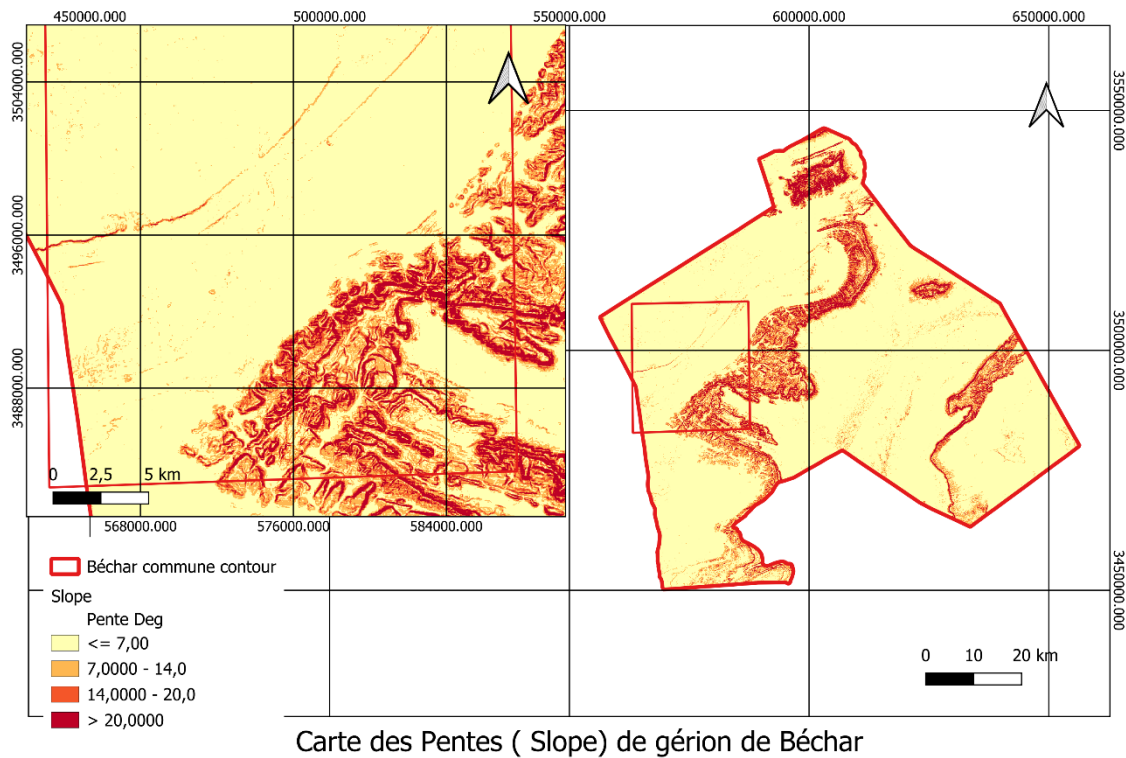


Figure 4.25 : Carte des Pentes du bassin versant de l'Oued Béchar. , Source : auteurs.

18.1.2. Le Facteur Hydrographique et Spatial

La carte hydrologique définit l'architecture du réseau d'écoulement, tandis que la carte de proximité calcule la distance euclidienne par rapport au lit majeur de l'Oued Béchar, matérialisant les zones d'influence directes du cours d'eau.

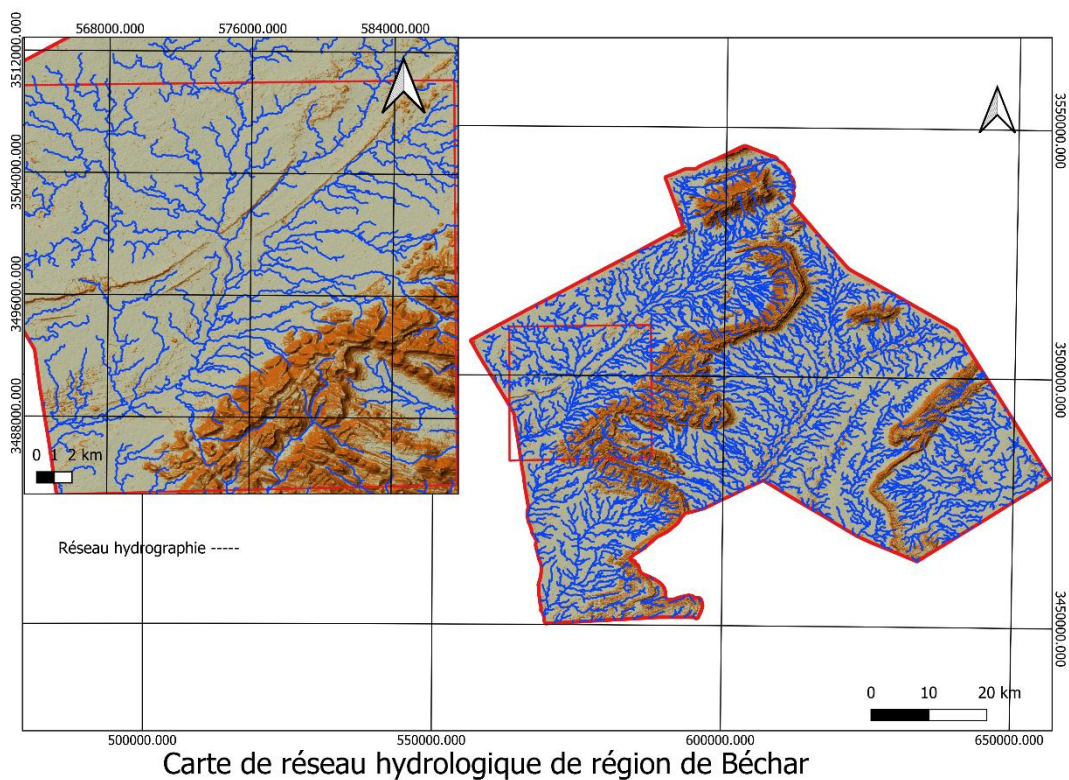


Figure 4.26 : Carte du Réseau Hydrographique et des cours d'eau de Béchar. , Source : auteurs.

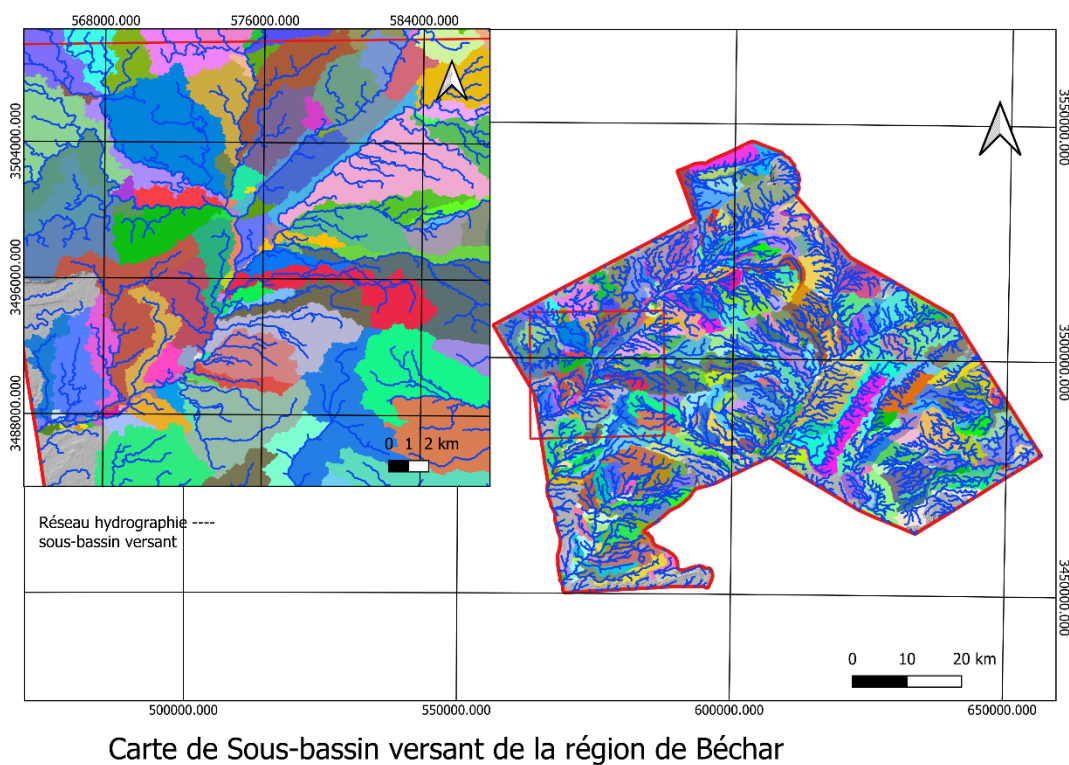
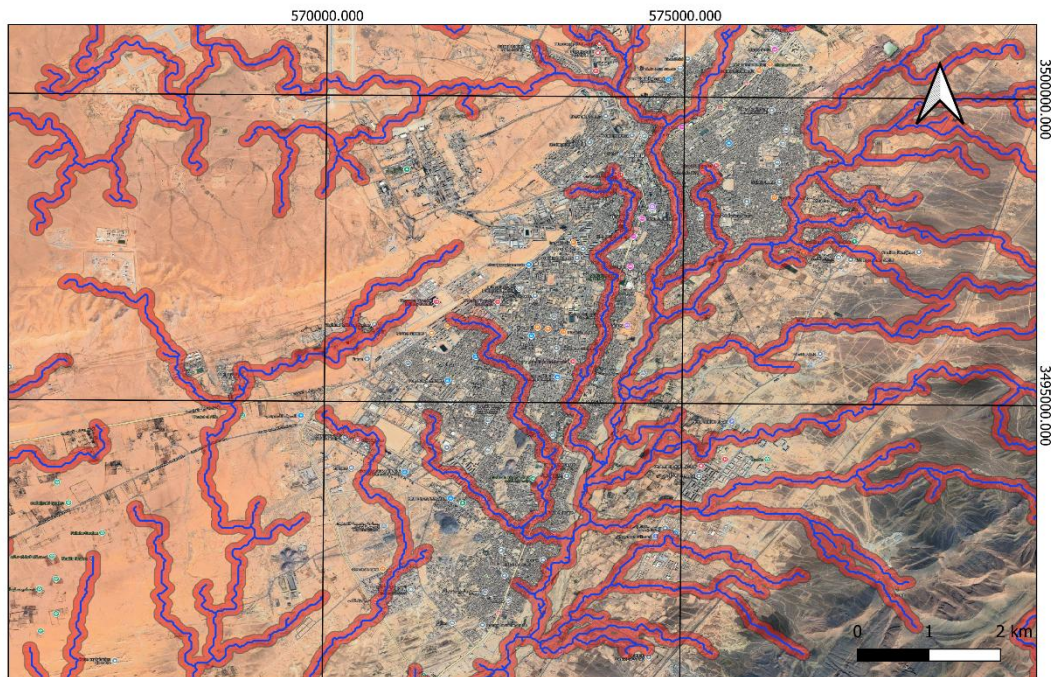


Figure 4.27 : Carte des sous bassin versant d'Oued Béchar, Source : auteurs.



Carte de proximité des oueds de la région de Béchar

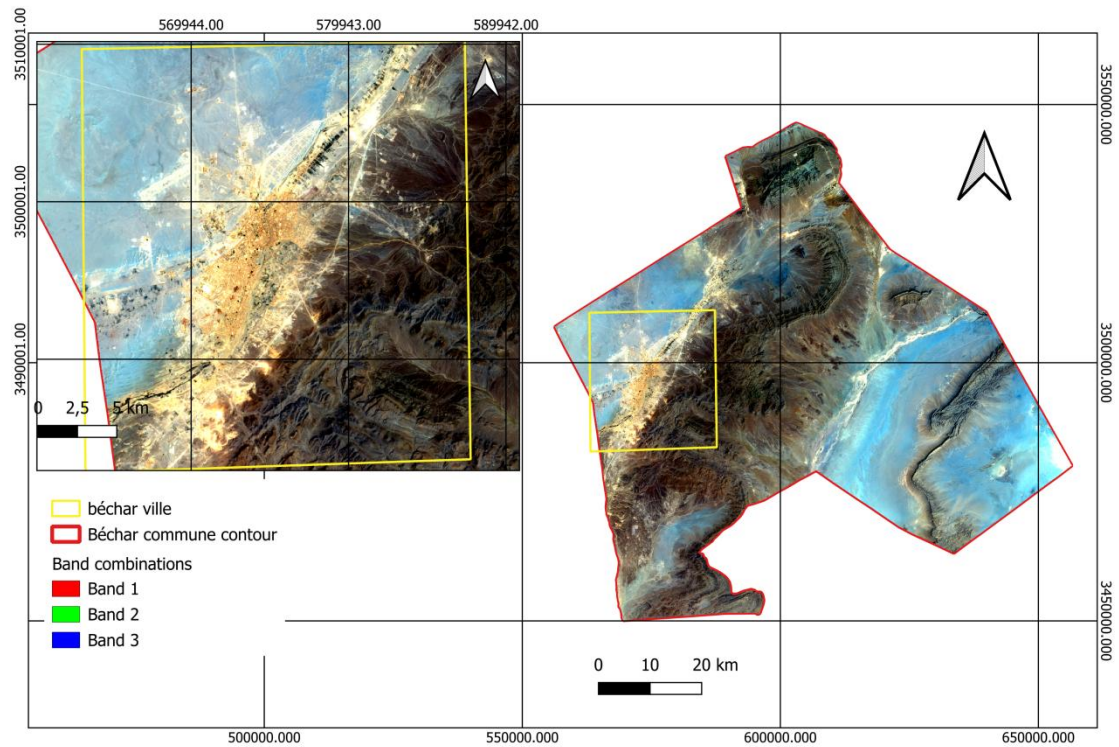
Figure 4.28 : Carte des Distances (Proximité) à l'Oued Béchar, Source : auteurs.

18.2. Évaluation des Enjeux et de la Vulnérabilité Urbaine

L'impact d'une crue dépend directement des éléments anthropiques exposés au danger. Cette section cartographie les enjeux socio-économiques et leur degré de vulnérabilité face à l'aléa.

18.2.1. Traitement d'images et Classification de l'Occupation du Sol

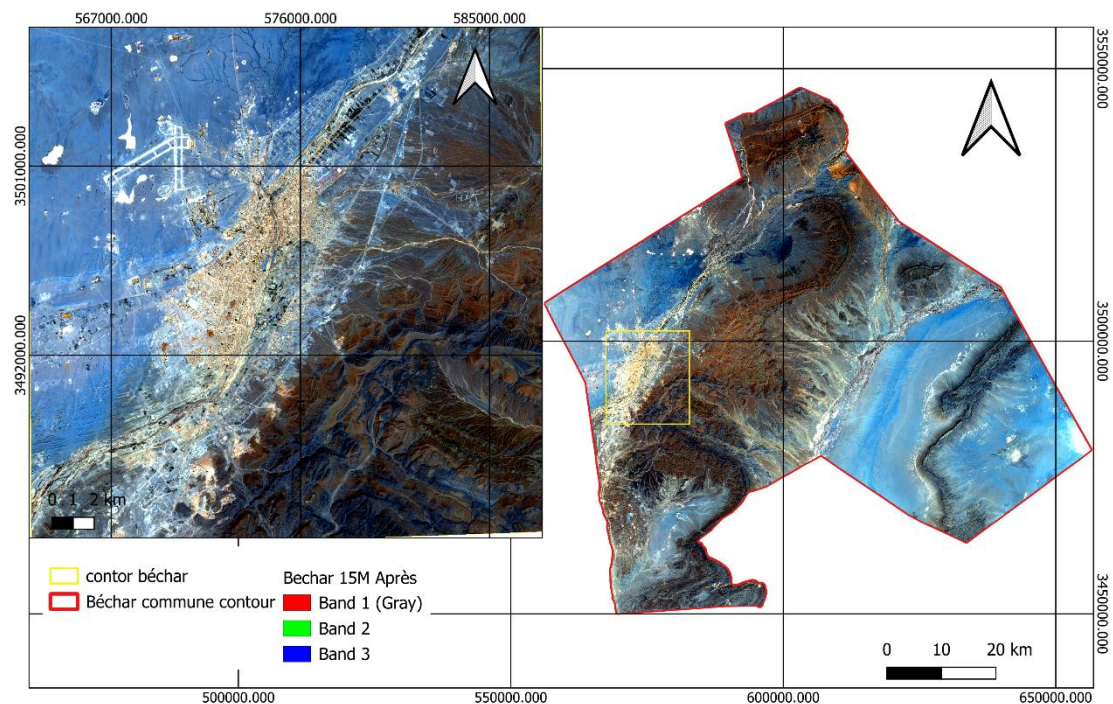
À partir de la (Carte de composite bands), nous avons appliqué un algorithme de classification supervisée basé sur le Random Forest. Ce traitement a permis de générer la carte d'occupation du sol qui identifie les Enjeux majeurs (Zones urbaines bâties, Palmeraies, Infrastructures).



Carte de prétraitement et combinaison spectrale des bandes de l'image Landsat 8/9 (Zone d'étude - Béchar)

Figure 4.29 : Carte de prétraitement et combinaison spectrale des bandes de l'image

Landsat 8/9 (Zone d'étude - Béchar) Avant l'inondation, Source : auteurs.



Carte de prétraitement et combinaison spectrale des bandes (Après l'inondation sep 2024)

Figure 4.30 : Carte de prétraitement et combinaison spectrale des bandes de l'image

Landsat 8/9 (Zone d'étude - Béchar) Après l'inondation, Source : auteurs.

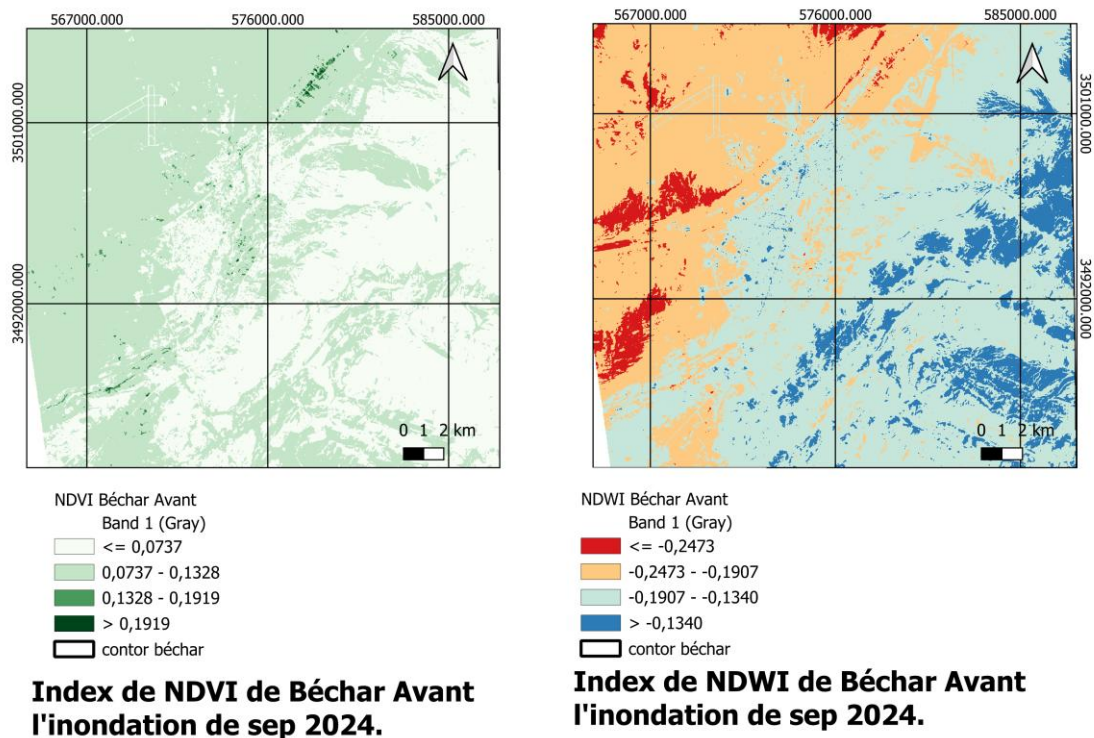


Figure 4.31 : Carte des indices spectraux (NDVI et NDWI) avant d'inondation Béchar 2024, Source : auteurs.

Détermination de la Vulnérabilité (Reclassification)

En attribuant des poids et des notes de sensibilité aux différentes macroclasses (le bâti urbain recevant la note de vulnérabilité la plus élevée), nous transformons la carte d'occupation du sol en une véritable carte de vulnérabilité socio-économique et structurelle.

18.2.2. Modélisation Multi-critères (AHP) :

Ces tableaux décrivent la matrice de comparaison parpaire et les poids finaux calculés selon la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) de Thomas Saaty pour la cartographie du risque d'inondation à Béchar.

Tableau 4.3 : Matrice de Comparaison Parpaire (AHP), Source : auteurs.

Critères	Distance Oued	Altitude (MNT)	Occupation du Sol	Pente
Distance Oued	1	2	3	5
Altitude (MNT)	1/2	1	2	4
Occupation du Sol	1/3	1/2	1	3
Pente	1/5	1/4	1/3	1
Total	2.03	3.75	6.33	13.00

Tableau 4.4 : Tableau des Poids Finaux (Vecteur Propre), Source : auteurs.

Critères d'Analyse	Poids Calculé	Pourcentage (%)	Priorité Académique
Distance à l'Oued	0.48	48 %	Priorité Très Élevée (Facteur critique)
Altitude (MNT)	0.28	28 %	Priorité Élevée (Zones basses)
Occupation du Sol	0.17	17 %	Priorité Modérée (Vulnérabilité/Enjeux)
Pente	0.07	7 %	Priorité Faible (Topographie urbaine plane)
Total	1.00	100 %	Cohérence du modèle validée (CR < 10%)

18.3. Synthèse, Croisement et Validation du Risque Final :

18.3.1. Spatialisation du Risque par l'Approche Multicritère AHP :

En utilisant la Calculatrice Raster (Raster Calculator), nous avons procédé à la combinaison linéaire pondérée selon le procédé AHP (Analytic Hierarchy Process). Ce

croisement mathématique entre les couches de l'Aléa (MNT, Pentes, Proximité) et la couche de Vulnérabilité (Occupation du sol) a généré la carte synthétique finale du risque.

18.3.2. Validation et Cartographie de la Surface Inondée Réelle

Pour valider scientifiquement la précision de notre modèle AHP, nous avons traité les indices spectraux NDWI et NDVI post-crue afin d'extraire l'enveloppe exacte de l'inondation de septembre 2024. La superposition montre une corrélation parfaite entre les zones classées à "Risque Très Élevé" et la surface réellement submergée.

19. Présentation et analyse des résultats de la cartographie :

L'utilisation des outils de la géomatique a permis d'obtenir des résultats précis, aussi bien quantitatifs que qualitatifs, concernant l'inondation survenue à Béchar en septembre 2024. Tout d'abord, le mapping de la zone submergée à l'aide de la méthode NDWI a permis de délimiter les espaces affectés par les eaux de crue. Ensuite, l'approche de classification du sol (SCP) a contribué à l'identification des différentes classes d'occupation du sol présentes dans la zone d'étude. Par ailleurs, la modélisation de l'aléa par la méthode AHP a permis de mettre en évidence les niveaux de risque d'inondation. Les zones identifiées comme présentant un « risque très élevé » correspondent précisément aux secteurs historiquement touchés, ce qui confirme la validité du modèle mathématique utilisé. Enfin, l'intersection spatiale a permis d'analyser les répercussions de l'inondation, tant sur l'environnement biophysique, notamment les palmeraies, que sur l'environnement construit, en particulier les zones urbaines.

20. L'apport de la Géomatique, du SIG et de la Télédétection

Ce travail démontre que la télédétection et les SIG ne sont plus de simples outils d'illustration, mais des piliers indispensables pour la gestion moderne des risques naturels :

- Facilitation de la gestion des crises : Ces technologies ont permis de surmonter les contraintes de terrain lors des inondations de Béchar. La télédétection a offert une vision synoptique pré- et post-crue, tandis que le SIG a facilité l'intégration de données hétérogènes (altimétrie, hydrographie, urbanisme) pour sectoriser le risque en un temps record.
- Limites et Défis futurs (Perspectives technologiques) : Malgré leur efficacité, l'avenir de ces techniques à Béchar fait face à des défis majeurs :
- La nécessité d'intégrer des images satellite à très haute résolution spatiale (comme Radar Sentinel-1 pour percer la couverture nuageuse pendant la pluie).
- Le besoin d'implanter des modèles de simulation hydraulique 2D en temps réel.
- Le manque de bases de données géospatiales unifiées et actualisées au niveau des collectivités locales.

21. La protection contre les inondations à Béchar :

Dans les régions arides et semi-arides comme la ville de Béchar, les inondations se manifestent sous forme de (crues soudaines et violentes). La gestion de ce risque nécessite une combinaison de mesures de protections directes (sur le lit de l'oued) et indirectes (sur l'ensemble du bassin versant).

21.1. Protection directe :

21.1.1. Curage et débroussaillage :

Consiste à nettoyer le lit de l'oued en enlevant les sédiments accumulés, les débris urbains et la végétation sauvage qui bloquent l'écoulement des eaux.

Application à Béchar : Libérer le lit majeur de l'Oued Béchar au niveau des ponts urbains avant la saison des pluies d'automne pour éviter l'effet de bouchon (embâcle).



Figure 4.32 : Curage et débroussaillage

21.1.2. Recalibrage :

Action de modifier la géométrie (largeur et profondeur) du lit de l'oued pour augmenter sa capacité de transit hydraulique lors des fortes crues.

Application à Béchar : Élargir les sections étroites de l'oued traversant le tissu urbain dense afin de contenir les débits de pointe extrêmes comme ceux de septembre 2024.



Figure 4.33 : Recalibrage

21.1.3. Protection des berges et endiguement des oueds :

Construction d'ouvrages longitudinaux (en gabions, en enrochement ou en béton) le long des rives pour empêcher l'érosion, stabiliser les flancs de l'oued, contenir l'eau et délimiter le cours d'eau pour empêcher son débordement. Application à Béchar : Poser des cages de gabions et ériger des barrières en béton ou en terre compactée le long des virages de l'Oued Béchar à proximité des quartiers résidentiels vulnérables (ex. Debdaba, Centre-ville) et des palmeraies pour stopper l'effondrement des sols.



Figure 4.34 : Protection endiguement des oueds



Figure 4.35 : Protection des berges

21.2. Protection indirecte

21.2.1. Renforcement des ouvrages :

Modernisation et surélévation des infrastructures de franchissement (ponts, routes) pour qu'elles résistent à la pression hydrodynamique des crues.

Application à Béchar : Redimensionner les ponts urbains de la ville pour qu'ils ne soient pas submergés et isolés lors des montées subites des eaux.



Figure 4.36 : Renforcement des ouvrages

21.2.2. Réalisation des canaux :

Création de voies d'évacuation artificielles (canaux de dérivation collecteurs d'eaux pluviales) pour détourner les flux excédentaires hors des zones habitées.

Application à Béchar : Aménager des canaux de contournement en amont de la ville pour dévier une partie de la crue vers les zones désertiques (Sols Nus).



Figure 4.37 : Réalisation des canaux

21.2.3. Réalisation des barrages ou seuils :

Ouvrages transversaux construits pour stocker l'eau (barrages d'écrêtement) ou pour réduire la vitesse du courant (seuils de ralentissement).

Application à Béchar : Implanter des petits barrages de retenue en amont du bassin versant pour casser la force de la crue flash et recharger la nappe phréatique.



Figure 4.38 : Réalisation des barrages ou seuils

21.2.4. Aménagement des bassins versants :

Gestion globale de l'espace en amont à travers des aménagements biologiques et mécaniques pour limiter le ruissellement de surface et l'érosion.

Application à Béchar : Construire des banquettes de rétention sur les versants rocheux entourant Béchar pour freiner la convergence rapide des eaux de pluie vers le lit principal.



Figure 4.29 : Aménagement des bassins versants

22. Outils géomatiques au service de la prévention des inondations : télédétection et SIG appliqués à Béchar :

22.1. Justification du Choix des Outils Géomatiques

Dans le cadre de la gestion des risques naturels, la géomatique (Télédétection et SIG) offre des outils d'analyse spatiale avancés développés par les géographes pour surmonter les limites des méthodes cartographiques traditionnelles. Pour la région semi-aride de Béchar,

caractérisée par des crues flash rapides, l'imagerie satellitaire et l'analyse multicritère sont indispensables pour deux raisons majeures :

La Télédétection (Landsat 8/9) : Permet un suivi temporel synoptique (Avant/Après la crue de Septembre 2024) et le calcul d'indices spectraux précis, impossibles à mesurer à l'œil nu sur le terrain.

Le SIG (QGIS) : Centralise des données hétérogènes (altimétrie, hydrographie, occupation du sol) dans un seul système de coordonnées géographiques pour simuler le comportement spatial des eaux.

22.2. Les Outils Spécifiques Appliqués au Cas de Béchar

Pour matérialiser cette approche, nous avons mobilisé les outils géographiques suivants au sein de QGIS :

L'Indice Hydrologique NDWI (Normalized Difference Water Index) : Développé pour isoler les pixels d'eau en combinant les bandes du Proche Infrarouge (NIR) et de l'Infrarouge à Ondes Courtes (SWIR). Cet outil a permis de cartographier la zone inondée avec précision en éliminant le bruit des sols nus désertiques.

L'Extension SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) : Un outil de pointe pour la classification supervisée, utilisé pour segmenter l'espace urbain de Béchar en classes homogènes (Bâti, Palmeraies, Sols nus) à partir de signatures spectrales.

L'Analyse Multicritère AHP (Analytic Hierarchy Process) via la Calculatrice Raster : Une méthode mathématique rigoureuse développée par Thomas Saaty, permettant de pondérer les facteurs physiques (Altitude, Pente, Proximité de l'Oued) selon leur degré d'influence dans le déclenchement de l'inondation.

22.3. Résultats Numériques et Spatialisation des Dommages (Données Modèles):

Superficie Globale de la Crue

L'application du seuil hydrographique sur l'indice NDWI post-crue a permis de délimiter l'enveloppe maximale de l'inondation. La superficie totale submergée par l'Oued Béchar est estimée à 00000 Hectares.

Croisement Spatial et Secteurs Touchés

En croisant la couche de la zone inondée avec notre classification SCP, nous avons sectorisé les impacts sur les deux zones les plus vulnérables.

23. Discussion : Comment ces outils facilitent-ils la prévention ?

L'intégration de la télédétection et des SIG modifie radicalement la gestion de la prévention à Béchar :

- **Gain de Temps et de Précision** : Au lieu de mener des enquêtes de terrain longues et dangereuses pendant la crise, le SIG fournit une cartographie des dommages en quelques heures.
- **Aide à la Décision (Modèle AHP)** : La carte de risque finale issue de la calculatrice raster ne se contente pas de décrire le passé, mais localise scientifiquement les futures zones d'extension de la crue. Elle permet aux décideurs d'ajuster les plans d'urbanisme (PDAU/POS) en interdisant les constructions dans les zones rouges à "Risque Très Élevé".
- **Orientation des Aménagements** : Grâce à la carte de proximité (Distance_Oued), les ingénieurs peuvent cibler précisément les méandres prioritaires nécessitant une protection des berges (gabions) ou un endiguement.

24. Proposition innovation (Web-Mapping) :

Vers un Web-Mapping Participatif pour la Transparence du Risque à Béchar

Au-delà des cartes statiques sur papier, nous proposons la création d'une plateforme de Web-Mapping (Cartographie en ligne) interactive et accessible au grand public. Cette solution technologique repose sur la publication des cartes de risques issues du modèle AHP sur un serveur cartographique open-source (comme Geoserver associé à Leaflet ou OpenLayers).

24.1. Les Objectifs et Avantages de la Plateforme :

1. Transparence et Accès à l'Information :

Permettre à chaque citoyen de Béchar de consulter librement et en temps réel les zones de susceptibilité aux inondations depuis un smartphone ou un ordinateur. Cela renforce la confiance entre les administrés et les autorités locales.

2. Aide à la Décision Citoyenne :

Offrir un outil d'évaluation avant tout acte d'achat immobilier ou de construction. Un citoyen ou un investisseur peut vérifier instantanément si sa future parcelle de terrain se situe dans une zone à risque (Zone Rouge), protégeant ainsi des vies humaines et matériaux.

3. Urbanisme Participatif et Vigilance :

Intégrer une option de "Cartographie participative" (Crowdsourcing) où les habitants peuvent signaler directement sur la carte web les anomalies (bouchons dans l'oued, affaissements de berges, montées des eaux) en y joignant des photos géolocalisées.

25. Conclusion :

En ce chapitre a permis de concrétiser l'apport opérationnel de la géomatique à travers une chaîne de traitement méthodologique rigoureuse, appliquée au cas des crues flash de la commune de Béchar.

Dans un premier temps, la mobilisation de données hétérogènes (altimétriques via le MNT, et satellitaires via Landsat 8/9) a constitué le socle de notre base de données spatiales. L'implémentation de ces données sous l'environnement QGIS nous a permis de modéliser les facteurs physiques de l'aléa (pentes, hydrographie, distances à l'oued) et de cartographier les enjeux vulnérables par l'algorithme de classification Random Forest.

Dans un second temps, l'intégration de ces facteurs au sein d'une analyse multicritère basée sur la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) a abouti à la génération de la carte synthétique du risque final. Ce modèle a été validé scientifiquement par la superposition de l'enveloppe de la zone inondée réelle de septembre 2024, extraite avec précision par l'indice spectral NDWI.

Face aux diagnostics alarmants révélés par nos résultats cartographiques et numériques (notamment l'impact sévère sur le tissu urbain bâti et les palmeraies), nous avons proposé une série d'aménagements structurels. Ces recommandations s'articulent autour de mesures de protection directe sur le lit de l'oued (curage, recalibrage, endiguement en gabions) et de mesures indirectes sur l'ensemble du bassin versant (barrages d'écêtement, banquettes de rétention, redimensionnement des ponts).

Enfin, cette étude démontre le rôle puissant et incontournable de la télédétection et des SIG dans la gestion prospective des risques naturels en milieu semi-aride. Pour aller au-delà de la cartographie statique et offrir un outil d'aide à la décision en temps réel pour les gestionnaires de la ville de Béchar, nous préconisons, en perspective, le développement d'une plateforme de Webmapping. Un tel dispositif interactif permettrait de diffuser, de visualiser et de mettre à jour dynamiquement les zones de vulnérabilité afin d'optimiser les plans d'alerte et de secours.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Les inondations constituent aujourd'hui l'un des risques naturels les plus préoccupants, y compris dans les régions arides où leur fréquence et leur intensité tendent à s'accroître sous l'effet combiné des changements climatiques, de la pression urbaine et des transformations des milieux naturels. Les événements exceptionnels survenus à Béchar en septembre 2024 ont démontré que les territoires sahariens ne sont plus épargnés par ces phénomènes extrêmes et qu'ils présentent, au contraire, des vulnérabilités particulières liées à leurs caractéristiques géographiques, hydrologiques et urbanistiques.

Dans ce contexte, le présent mémoire avait pour objectif principal d'évaluer l'apport des outils géomatiques, de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique dans l'analyse, la cartographie et la prévention des risques d'inondation dans la ville de Béchar. La démarche adoptée s'est appuyée sur l'exploitation de données spatiales et environnementales, l'analyse des paramètres physiques du bassin versant de l'Oued Béchar ainsi que l'intégration multicritère des facteurs influençant l'aléa et la vulnérabilité à travers la méthode AHP appliquée sous QGIS.

Les résultats obtenus confirment la pertinence des hypothèses formulées au début de cette recherche, l'utilisation des images satellitaires et des données géographiques a permis de caractériser avec précision les éléments déterminants du risque, notamment la topographie, la proximité du réseau hydrographique, l'occupation du sol et les zones urbanisées. Par ailleurs, l'intégration de ces différents critères au sein d'un environnement SIG a rendu possible la production d'une cartographie synthétique du risque d'inondation, mettant en évidence plusieurs secteurs fortement exposés, principalement localisés à proximité de l'Oued Béchar et dans les espaces où les enjeux humains et matériels sont les plus importants.

Au-delà de l'identification des zones à risque, cette étude démontre que les technologies géo spatiales constituent de véritables outils d'aide à la décision pour les gestionnaires territoriaux, elles offrent une meilleure compréhension des dynamiques hydrologiques, facilitent la surveillance des phénomènes extrêmes et permettent d'orienter les politiques d'aménagement vers une gestion plus préventive que curative. Dans un contexte marqué par l'augmentation des événements météorologiques extrêmes, la

Conclusion générale

cartographie du risque apparaît comme une étape indispensable pour renforcer la résilience urbaine et réduire les impacts potentiels des futures crues.

Néanmoins, certaines limites doivent être soulignées, la disponibilité limitée de données hydrologiques détaillées, l'absence de mesures de terrain systématiques ainsi que les contraintes liées à la résolution spatiale de certaines données utilisées peuvent influencer la précision des résultats obtenus. Ces limites ouvrent des perspectives de recherche intéressantes, notamment à travers l'intégration de modèles hydrauliques plus avancés, l'utilisation d'images satellitaires à très haute résolution, l'exploitation de données en temps réel et le développement de systèmes d'alerte précoce adaptés aux spécificités des régions sahariennes.

Cette recherche met en évidence l'importance stratégique de la géomatique dans la gestion des risques naturels et confirme que la combinaison de la télédétection, des SIG et des méthodes multicritères constitue une approche efficace pour l'évaluation et la prévention des inondations. Les résultats obtenus peuvent servir de base scientifique et technique aux collectivités locales, aux services de protection civile et aux décideurs publics afin de promouvoir un aménagement territorial plus sûr, plus durable et mieux adapté aux défis climatiques auxquels la ville de Béchar devra faire face dans les années à venir.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE :

Ouvrages

- Veyret, Yvette. (2007). Dictionnaire de l'environnement. Paris : Armand Colin.
- Veyret, Yvette, & Reghezza, Magali. (2006). Aléas et risques : enjeux sociaux et territoriaux. Paris : SEDES.
- Musy, André, & Higy, Christophe. (2005). Hydrologie : une science de la nature. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Dauphiné, André, & Provitolo, Damienne. (2013). Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer. Paris : Armand Colin.
- Defossez, S. (2009). Evaluation Des Mesures De Gestion Du Risque Inondation application Au Cas Des Basses Plaines De L'Aude. Géographie.
- D'Ercole, R., Thouret, J. C., Dollfus, O., & Asté, J. P. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés concepts, typologie, modes d'analyse. Revue de géographie alpine,
- Thouret, J. C., & D'Ercole, R. (1996a). Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain: effets, facteurs et réponses sociales. Cahiers des sciences humaines. ORSTOM,
- Adger, W.N. 2006. Vulnerability, global environmental change,

Thèses et mémoires

- Yakhlefoune, M. (2024). Vulnérabilité et risque d'inondation : vers une stratégie de prévention et d'adaptation. Cas de la ville de Constantine.
- Bekhira, (2019). La gestion des risques d'inondations et aménagement des cours d'eau dans les zones urbaines : cas de la ville de Béchar.
- Ghiles, & Aouadj (2025). Analyse spatio-temporelle des dynamiques d'occupation du sol à l'aide des séries d'images satellitaires : cas de la wilaya de Relizane.
- Abdelghani Bekhira. (2020). Contribution à l'étude du risque d'inondation dans les zones arides.
- Bourenane, H. (2017). Analyse spatiale, évaluation et cartographie des risques naturels : application à l'aménagement de la ville de Constantine (Nord-Est Algérien).

Bibliographie

Revues et Articles

Bergeron, C. (1992). Vocabulaire de la géomatique. Québec : Université Laval.

(FICCDC). (1988) Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography. Digital Cartography and Geographic Information Systems. Washington, DC.

(Bourenane, 2017)

Article de journal

Open edition journals;

ASJP Algerian scientific journal platform;

Office national des statistique;

Texte de loi

-Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire N°

Site web

USGS Earth explorer;

Open topography.

NASA power;

Météo Algérie;

Annexes

ANNEXES

Tableau 1.3 : Les inondations dans le monde entre 2000 à 2026 (EM-DATA CRED).

Pays	Région	Année	mois	N total de décès	N total de affecté
China	Asia	2016	6	289	60000000
Pakistan	Asia	2022	6	1739	33012865
India	Asia	2017	8	514	17200000
China	Asia	2021	6	352	14500000
China	Asia	2017	6	78	12000008
India	Asia	2023	6	1529	10250000
Iran	Asia	2019	3	70	10001076
China	Asia	2020	6	22	10000000
India	Asia	2024	8	25	8007173
Bangladesh	Asia	2017	8	144	8000000
Bangladesh	Asia	2019	6	114	7600000
Bangladesh	Asia	2022	5	141	7200000
India	Asia	2001	8	158	7000000
China	Asia	2002	8	165	6340000
Bangladesh	Asia	2020	6	257	5448271
China	Asia	2019	6	300	4500000
Guatemala	American	2023	5	78	4400005
China	Asia	2020	5	280	4200000
Thaïlande	Asia	2025	11	276	4000005
Bolivia	American	2025	2	68	3005000
India	Asia	2019	7	1900	3000000
United Republic of Tanzania	Africa	2023	10	38	2896500
Guatemala	American	2022	5	48	2890023
Nigeria	Africa	2022	7	603	2802500
India	Asia	2017	8	101	2700000
Nepal	Asia	2024	9	268	2590178
Thaïlande	Asia	2000	7	47	2500000

Annexes

Somalia	Africa	2023	9	118	2480000
Brazil	American	2024	5	209	2399061
Democratic Republic of the Congo	Africa	2024	1	300	2190000
Philippines	Asia	2023	1	52	2143358
India	Asia	2013	6	80	2000000
Chad	Africa	2024	8	576	1941869
Nigeria	Africa	2018	9	199	1922332
India	Asia	2015	11	325	1801000
Peru	American	2017	3	184	1800505
Congo	Africa	2023	12	23	1800000
Nepal	Asia	2017	8	176	1700134

Tableau 1.4 : Les inondations dans l’Algérie entre 2000 à 2026, (EM-DATA CRED)

Location	Année	mois	N total de décès	N total de affecté
Chlef, Laghouat, Blida, Tiaret, Djelfa, Médéa, Mascara, El Bayadh, Boumerdes, Tissemsilt, Tipaza, Ain-Defla, Relizane	2026	1	1	6000
Chlef Province	2021	3	10	2500
Tindouf province	2015	10		35000
Tindouf province	2006	2	1	60000
Bab Al-Assa Municipality (Tlemcen); El Haoudh Village (El Bayadh Province)	2023	9	8	1668
Jijel	2024	2		1000
Béchar, Elbayadh, Beni Abbes, Tamanrasset, Tiaret, Tindouf, and Naama	2024	9	5	11000
Laghouat, Tiaret, Djelfa, M'Sila	2025	5	5	1350
Bab el oued, Oued Koriche, Bologhine, Rais Hamidou, Bains Romains, Ain Benian, Bouzareah, Dely Brahim, El Biar, Casbah, Alger districts (Alger province), Djinet...ect	2001	11	921	45423
Hamma, Boutaleb districts (Setif province), Batna, Biskra provinces	2002	10	13	4
Tizi Ouzou, Bejaia, Annaba, Blida, Constantine	2003	4	15	50
Relizane, Saida, Oran, Annaba provinces	2007	3	15	
M'Sila, Biskra, Laghouat provinces	2009	9	15	
Adherdhi, Amsel villages (Tamanrasset district, Tamanrasset province)	2015	9	12	
Sidi Bel Abbes district (Sidi Bel Abbes province), Relizane district (Relizane province), El Bayadh district (El Bayadh province), Naama, Tlemcen provinces	2000	10	28	100
Asla, Ain Sefra districts (Naama province), Saida, Mascara, Tizi Ouzou provinces	2003	10	13	
Alger province	2004	11	19	20
Illizi, Adrar, Tamanrasset province	2005	3	11	70
Tsabit, Aoulef districts (Arda province) Ghardaïa, Ouargla, Tlemcen, Ain-Temouchent, Oran, Mostaganem, Medea, Alger, Boumerdes, Tizi Ouzou...ect	2009	1	33	2548

Annexes

El Bayadh province	2011	10	10	793
Tebessa, Tlemcen, M'Sila, Blida provinces	2012	8	20	56
Algiers, Boumerdes, Chlef, Oran, Tizi Ouzou Provinces	2021	10	3	420
Ain Zerga district (Tebessa province), Ouled Aouf, Taxlent districts (Batna province), Telaghma district (Mila province), Dahouara district (Guelma province)...ect	2002	8	29	2301
Bab El Oued, Bologhine Ibn Ziri, Bains Romains, Rais Hamidou, Bouzareah, Tassala El Merdja districts (Alger province), Bou Ismail district (Tipaza province), Dellys, Sidi Daoud districts (Boumerdes province), Oran district (Oran province), Tizi Ouzou, Blida provinces	2007	11	14	1203
Skikda, Boumerdes, Tizi Ouzou provinces	2012	2	49	45
Tiaret, El-Bayad	2018	4	6	200
Ghardaïa province, Béchar province	2008	10	93	59050
M'Sila, Ain-Defla, Tiaret, Tissemsilt, Chlef, Medea, Blida, Tipaza, Alger, Boumerdes, Tizi Ouzou, Bouira, Bejaia, Jijel, Bordj Bou Arrer, Setif, Khenchela, Tebessa...ect	2007	9	18	
Ech Chaiba, Ouled Djellal districts (Biskra province)	2007	8	1	102
Mostaganem province	2007	8	12	
M'Sila province	2007	4	22	
Djanet district (Illizi province)	2005	6	1	1750
Adrar, Laghouat, Oran, Ghardaïa, Biskra provinces	2004	4	3	27545
Reggane district (Adrar province), Hidoussa district (Batna province), Tamanrasset province	2003	8	13	

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	II
Dédicaces 1.....	III
Dédicaces 2.....	IV
Résumé.....	V
ملخص	VI
Abstract	VII
Sommaire	VIII
Table des illustrations	IX
INTRODUCTION GÉNÉRALE :	XIV
CHAPITRE I : RISQUE D'INONDATION ET GESTION TERRITORIALE	1
1. Introduction :	1
2. Définition générale des risques naturels.....	1
3. Classification des risques naturels géologiques, climatiques, hydrologiques :	2
4. Focus sur les risques hydrologiques: inondation, crues soudaines, débordements :	3
4.1. Les crues et leurs Typologies :	3
4.2. Classification des inondations :	3
4.3. La différence entre les crues et les inondations :	4
4.4. Mécanismes de submersion :	5
4.5. Impacts généraux des inondations sur les territoires et populations :	5
4.5.1. Impacts sur les populations et la santé :	5
4.5.2. Impacts sur les infrastructures et les biens matériels :	5
4.5.3. Impacts sur le secteur économique :	6
4.5.4. Impacts sur le territoire et l'environnement :	6
4.6. Enjeux économiques, sociaux et environnementaux liés aux inondations :	7

Table des matières

4.6.1. Enjeux économiques :	7
4.6.2. Enjeux sociaux :	7
4.6.3. Enjeux écologiques :	7
4.6.4. Enjeux patrimoine :	8
5. Définition du risque : aléa, enjeux et vulnérabilité:	8
5.1. Aléa :	8
5.2. Vulnérabilité :	9
5.2.1. Composantes de la vulnérabilité	9
5.2.2. Catégories de vulnérabilité:	9
5.3. Le risque :	10
5.4. Formule générale du risque :	10
6. Approches d'évaluation du risque : qualitative, semi-quantitative, quantitative :	10
6.1. Approche qualitative :	10
6.2. Approche semi-quantitative :	10
6.3. Approche quantitative :	11
7. Les inondations en zones urbaines sahariennes:	11
7.1. Caractéristiques climatiques et hydrologiques du Sahara :	11
7.1.1. Caractéristiques Climatiques :	11
7.1.2. Caractéristiques Hydrologiques :	12
8. Facteurs de vulnérabilité liés à la morphologie :	12
9. Les risques d'inondation : exemples mondiaux et algériens :	13
9.1. L'inondation dans le monde :	13
9.2. Les inondations au Brésil dans l'État du Rio Grande do Sul 2024 :	13
9.3. Les inondations en Algérie :	14
9.3.1. Les inondations de Bâb El Oued:	15
9.3.2. Les inondations de Ghardaïa :	16

Table des matières

9.3.3. Les inondations de Constantine (2018) :.....	17
10. Conclusion :	19
CHAPITRE II : APPORT DE LA GEOMATIQUE DANS L'ANALYSE ET LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION	20
1. Introduction.....	20
2. Notions de base en géomatique	20
2.1. Concept de la géomatique :	20
2.2. Objectifs de la géomatique :	21
2.3. Historique de la géomatique :	21
2.4. Les composantes de la géomatique	21
3. Les apports de la géomatique dans l'étude des inondations :	22
4. Les applications de la géomatique	22
5. Données géographiques : vecteur, raster, attributs :	24
5.1. Les données Vecteur	24
5.2. Les données Raster :	24
5.3. Les données Attributaires (Attributs) :	25
6. Importance de la géomatique dans la gestion des risques :	25
7. Applications concrètes : cartographie des zones inondables, suivi temporel des crues : 25	
7.1. Cartographie des zones inondables :	25
7.1.1. Modélisation hydraulique (HEC-RAS) :	25
7.1.2. Analyse multicritères (AHP) :	26
7.1.3. Modélisation basée sur le MNT (DEM):	26
7.1.4. Perspective historique et PHEC :	26
8. Suivi temporel et dynamique des crues :	26
8.1. Analyse diachronique (Occupation du sol) :	26

Table des matières

8.2.	Google Earth Engin (GEE) :	26
9.	Surveillance en temps réel et alertes :	27
10.	La télédétection : principes et données utilisées	27
10.1.	La télédétection :	27
10.2.	Rôle de la télédétection :	27
10.3.	Histoire de la Télédétection :	28
11.	Applications de la télédétection :	28
12.	Types de capteurs : optiques, radar, lidar :	29
12.1.	Le capteur :	29
12.2.	Capteurs Optiques (Passifs) :	29
12.3.	Capteurs Radar (Actifs) :	30
12.4.	Captures LiDAR (Light Detection and Ranging) :	30
13.	Les Plates-Formes Utilisées en Télédétection Active et Passive	30
14.	Données satellitaires et images aériennes : résolution spatiale, spectrale et temporelle :	31
14.1.	Résolution en termes d'espace :	31
14.2.	Résolution élevée et très élevée (< 10 m) :	31
14.3.	Résolution intermédiaire (10 - 30 m) :	31
14.4.	Résolution faible (> 30 m) :	31
14.5.	Photos aériennes :	31
15.	Résolution en termes de spectre :	31
16.	Résolution dans le temps :	32
17.	Importance des risques :	32
17.1.	Résolution Radiométrique :	32
18.	Traitements appliqués aux données : classification, indices de végétation, détection des surfaces inondées :	33

Table des matières

18.1.	Classification de l'utilisation des terres (LULC)	33
18.2.	Méthodes :.....	33
18.3.	Algorithmes fréquemment utilisés :.....	33
18.4.	Indices de végétation, d'urbanisation et d'eau :	33
18.5.	Identification et cartographie des zones inondées :	34
18.5.1.	Indice de l'humidité (NDWI) :	34
18.5.2.	HEC-RAS :	34
18.5.3.	SAGA GIS :	34
19.	Les SIG : rôle dans l'analyse et la gestion des risques	35
19.1.	Le système d'information géographique (SIG) :	35
19.2.	Le but d'un SIG :	35
19.3.	Caractéristiques des Systèmes d'Information Géographique :	36
19.4.	Le rôle du SIG :	36
19.5.	Fonctions principales : stockage, manipulation, analyse et visualisation des données spatiales :	37
19.5.1.	Stockage et Archivage (Archivage) :	37
19.5.2.	Manipulation et Mise à jour :	38
19.5.3.	Analyse spatiale (Analyse) :	38
19.5.4.	Visualisation et Restitution (Affichage):	38
19.6.	Aide à la décision et planification territoriale : prévention, aménagement urbain et conception architecturale :	39
19.6.1.	SIG et Télédétection des instruments d'assistance à la prise de décision :	39
19.6.2.	Planification territoriale et Prévention :	39
19.6.3.	Aménagement urbain et mesures structurelles :	40
20.	Limites et contraintes des SIG dans les zones sahariennes :	41
20.1.	Contraintes liées aux données (Disponibilité et Qualité) :	41

Table des matières

20.2.	Limites topographiques et de résolution :	41
20.3.	Contraintes environnementales et spectrales :	42
20.4.	Contraintes techniques et budgétaires :	42
21.	Conclusion	43
CHAPITRE III: PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE		44
1.	Introduction :	44
2.	Localisation et situation :	45
3.	Coordonnées Géographiques :	45
3.1.	Système Décimal :	45
3.2.	Degrés, Minutes, Secondes (DMS) :	45
3.3.	Coordonnées UTM (WGS84) de Béchar	45
4.	Le cadre administratif de la wilaya de Béchar :	46
5.	Le cadre administratif de la commune et la ville de Béchar :	46
6.	Accessibilité :	48
7.	Caractéristiques naturelles (Relief) :	49
8.	Situation démographique :	50
8.1.	Population de la wilaya au 31/12/2021 : (source DPSB).....	50
8.2.	La population résidente et sa répartition :	51
9.	Volet climatique :	51
9.1.	Température :	51
9.2.	Précipitation :	52
10.	Les ressources de la wilaya Béchar (source: DPSB 2021) :	52
10.1.	Les potentialités naturelles :	52
10.2.	Les ressources minières :	53
10.3.	Les possibilités en matière d'agriculture :	53

Table des matières

10.4.	Atouts touristiques :.....	53
11.	Morphologie urbaine et vulnérabilité des villes sahariennes :.....	54
11.1.	Caractéristiques de la morphologie urbaine saharienne :	54
12.	Historique des inondations à Béchar:	54
12.1.	L'inondation de 18-19 octobre 2007 :	54
12.2.	L'inondation du 10 octobre 2008 :	55
12.3.	Le risque d'inondation du 8 septembre 2024 :	56
12.3.1.	Impacts sur les êtres humains :	57
12.3.2.	Impacts sur le bâti et les infrastructures urbaines :	58
12.3.3.	Conséquences sur l'urbanisme et la planification territoriale :.....	60
13.	Bassin versant d'Oued Béchar :	61
13.1.	Superficie du bassin versant :	62
14.	Carte topographique de l'Oued Béchar :	62
15.	Conclusion :	63
CHAPITRE IV : METHODOLOGIE ET APPLICATION		64
1.	Introduction :	64
2.	Méthodologie :	64
2.1.	Collecte et Spatialisation des Données Climatologiques:.....	64
2.2.	Traitement du DEM et Extraction des Facteurs Physiques:	65
2.3.	Traitement des Images Satellites (Landsat 8/9) et Télédétection :	65
2.4.	Implémentation de la Méthode AHP et Croisement Spatial sous QGIS :	65
3.	Données utilisées :	66
4.	Sélection et Reclassification des Facteurs du Risque :	66
4.1.	La Pente (Facteur Topographique) :	66
4.2.	Densité du Réseau Hydrographique (Facteur Hydrologique) :	67
4.3.	L'Occupation du Sol (Facteur Anthropique et Environnemental) :	67

Table des matières

4.4.	La Pluviométrie (Facteur Déclencheur) :.....	67
5.	Spatialisation Climatologique (Pluviométrie) :	69
5.1.	Étapes techniques :	69
6.	Limites administratives de l'Algérie :	72
7.	Carte de DEM :	73
8.	Carte des Pentés du bassin versant :	76
9.	Carte de réseau hydrographie de bassin versant d'oued Béchar:.....	77
10.	Délimitation des sous-bassins (Raster) :	78
11.	Carte de proximité d'oued :	79
12.	Les données satellitaires :	80
12.1.	Importation et Combinaison des Bandes Spectrales dans QGIS :	82
12.2.	Découpage de l'Image Composite sur la Zone d'Étude :	83
12.3.	Amélioration de la résolution spatiale dans QGIS :	84
13.	Calcul des Indices NDVI et NDWI :	85
13.1.	Calcul des Indices pour la Date Avant Inondation	86
13.2.	Calcul des Indices pour la Date Après Inondation	87
13.3.	Analyse Comparative et Détection des Changements	87
13.3.1.	Comparaison Visuelle Spatiale:	87
14.	Classification supervisé :	88
14.1.	Préparation du Jeu de Bandes (Band Set) dans SCP	88
14.2.	Création des Échantillons d'Entraînement (Training Input)	88
14.3.	Exécution de la Classification	89
15.	Extraction des Surfaces Inondées par Seuillage Numérique du NDWI	90
15.1.	Principe de la Méthode :	90
15.2.	Résultats Obtenus :	90
15.3.	Application du Seuillage Numérique dans QGIS.....	90

Table des matières

15.4.	Conversion du Masque d'Inondation en Mode Vecteur (Polygone)	91
15.5.	Calcul de la Superficie Inondée en Hectares (Dans la Table d'Attributs)	91
16.	Application de la méthode AHP :	91
16.1.	Les Couches Raster Nécessaires	91
16.2.	Les Poids et Pourcentages AHP	91
16.3.	La Méthode Pratique dans QGIS.....	92
16.4.	Classification visuelle :	93
17.	Résultats et Discussion et Perspectives :	93
18.	Structuration, Intégration et Cartographie du Risque d'Inondation.....	93
18.1.	Analyse des Facteurs Spatiaux de l'Aléa :	93
18.1.1.	Le Facteur Topographique et Morphologique :	94
18.1.2.	Le Facteur Hydrographique et Spatial.....	95
18.2.	Évaluation des Enjeux et de la Vulnérabilité Urbaine	97
18.2.1.	Traitement d'images et Classification de l'Occupation du Sol	97
18.2.2.	Modélisation Multi-critères (AHP) :	100
18.3.	Synthèse, Croisement et Validation du Risque Final :	101
18.3.1.	Spatialisation du Risque par l'Approche Multicritère AHP :	101
18.3.2.	Validation et Cartographie de la Surface Inondée Réelle	102
19.	Présentation et analyse des résultats de la cartographie :	102
20.	L'apport de la Géomatique, du SIG et de la Télédétection	103
21.	La protection contre les inondations à Béchar :	103
21.1.	Protection directe :	103
21.1.1.	Curage et débroussaillage :	103
21.1.2.	Recalibrage :	104
21.1.3.	Protection des berges et endiguement des oueds :	104
21.2.	Protection indirecte	105

Table des matières

21.2.1.	Renforcement des ouvrages :.....	105
21.2.2.	Réalisation des canaux :	106
21.2.3.	Réalisation des barrages ou seuils :.....	106
21.2.4.	Aménagement des bassins versants :	107
22.	Outils géomatiques au service de la prévention des inondations : télédétection et SIG appliqués à Béchar :.....	107
22.1.	Justification du Choix des Outils Géomatiques	107
22.2.	Les Outils Spécifiques Appliqués au Cas de Béchar.....	108
22.3.	Résultats Numériques et Spatialisation des Dommages (Données Modèles): 108	
23.	Discussion : Comment ces outils facilitent-ils la prévention ?	109
24.	Proposition innovation (Web-Mapping) :.....	109
24.1.	Les Objectifs et Avantages de la Plateforme :	109
25.	Conclusion :	110
	CONCLUSION GÉNÉRALE :	XVIII
	BIBLIOGRAPHIE :.....	XX
	ANNEXES	XXII
	TABLE DES MATIÈRES	XXVI