

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences de la
Mer et l'aménagement de littoral

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers (STU)

Filière : Géographie et aménagement du territoire

Spécialité : Gestion et Protection du Littoral

Thème :
**Contribution à l'étude des risques naturels de la wilaya de
Tipaza**

Présenté par :

- DJEBBAR Sabrina
- AITHAMMOUDA Silia

Soutenu le 22/06/2025 devant le jury composé de :

M. Otmani Housseyn	MCA (ENSSMAL)	Président
M ^{me} Keraghel Mehdiya Asma	MCA (ENSSMAL)	Promotrice
M. Ait Kaci Malik	Docteur (ENSSMAL)	Co-promoteur
M ^{me} Harid Romaiassa	MCB (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2024 – 2025

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences
de la mer et l'aménagement de littoral

Spécialité : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**Contribution à l'étude des risques naturels de la wilaya de
Tipaza**

Présenté par :

- DJEBBAR Sabrina
- AITHAMMOUDA Silia

Soutenu le 22/06/2025 devant le jury composé de :

M. Otmani Housseyn	MCA (ENSSMAL)	Président
M ^{me} Keraghel Mehdiya Asma	MCA (ENSSMAL)	Promotrice
M. Ait Kaci Malik	Docteur (ENSSMAL)	Co-promoteur
M ^{me} Harid Romaiassa	MCB (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2024 – 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Dieu Tout-Puissant, source de sagesse, de force et de persévérance, pour nous avoir accordé la santé, la patience et la capacité de mener à bien ce mémoire de fin d'études.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante M^{me} Keraghel Mehdiya Asma, pour son accompagnement bienveillant, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail. Sa rigueur et sa disponibilité ont été essentielles à l'aboutissement de ce projet.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre Co-promoteur M. Ait Kaci Malik pour son accompagnement, qui est grandement contribué à la réussite de ce mémoire.

Nous remercions également le chef du service feux de forêts M. FRITAS Saïd et M. KHALDI Sid Ali de la Direction Générale des Forêts (Ben Aknoun – Alger), ainsi que le chef du service d'inondations M. TOUATI Saïd de la Délégation Nationale aux Risques Majeurs (Hussein Dey – Alger), pour nous avoir fourni l'accès aux données indispensables à nos analyses statistiques. Leur collaboration a été précieuse et a significativement enrichi la qualité de notre travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury. Nos remerciements s'adressent particulièrement à M. Otmani Housseyn, qui nous fait l'honneur de présider ce jury, ainsi qu'à M^{me} Harid Romaiça pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Nous leur sommes reconnaissants pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à l'examen attentif de ce mémoire, et nous leur adressons, à travers ces lignes, l'expression de notre considération et de notre respect le plus sincère.

Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble des enseignants et formateurs qui nous ont encadrés tout au long de notre parcours académique. Leurs enseignements, leur engagement et leur disponibilité nous ont permis d'acquérir les connaissances indispensables à ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire, avec tout mon amour et ma reconnaissance :

À mon binôme Silia, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, sa rigueur, son esprit d'équipe ont grandement contribué à la réussite de ce projet. Merci pour cette belle expérience commune.

À mes parents, piliers de ma vie, source inépuisable de force, d'encouragement et d'amour. Rien n'aurait été possible sans vos sacrifices, votre patience et votre foi indéfectible en moi. Vous êtes mon moteur, ma lumière et mon refuge.

*À ma sœur Amira, mon trésor inestimable, ma complice de tous les instants. Ton soutien, ta tendresse et ta présence ont été un véritable baume pour mon cœur. Ton amour dépasse les mots
Tu es plus qu'une sœur, tu es une partie de moi.*

À ma deuxième famille, (la famille BOUAAZZA), qui m'a ouvert ses bras avec chaleur, bienveillance et générosité, Tata Amina, mon oncle Ghrissi, ma chère sœur Akila. Merci de m'avoir offert un second foyer, rempli d'humanité et de sérénité.

À Asma, ma meilleure amie, pour ton soutien moral et ton amitié sincère. Tes encouragements m'ont permis de surmonter tous les obstacles.

À ma grande famille, paternelle et maternelle, merci pour votre amour collectif, vos prières silencieuses, et votre bienveillance constante. Vous êtes mes racines, ma force invisible.

À vous tous, ce travail est le reflet de ce que vous m'avez donné : amour, force, et confiance.

DJEBBAR Sabrina

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mon encadrante, Mme Mehdiya KERAGHEL pour son encadrement précieux, sa patience et ses conseils éclairés.

À mon binôme, qui a partagé avec moi les hauts et les bas, les succès et les défis. Notre complicité a rendu ce parcours plus facile et plus enrichissant

À ma très chère mère,

Il n'existe aucun mot assez fort pour exprimer toute la reconnaissance que je te porte. Tu es celle qui m'a donné la force de croire en moi, même dans les moments de doute. À chaque étape, tes prières m'ont accompagnée en silence, comme une présence invisible mais profondément ressentie. Ce mémoire est aussi le tien

À mon très cher père

Pour ton soutien de chaque instant, tes encouragements toujours présents, et tous les sacrifices que tu as faits afin que rien ne vienne entraver mon parcours. Grâce à toi, j'ai pu avancer sereinement et poursuivre mes études.

À ma sœur Kenza, pour sa présence réconfortante et ses mots toujours justes dans les moments difficiles.

À mes frères Ayoub et Mahdi, pour leur soutien discret mais précieux, et pour avoir toujours cru en moi, chacun à sa manière.

À mes meilleures amies : Amani, Souhila, Hadil, pour leur présence rassurante.

À mes chères colocataires de la cité universitaire : Manel et Hadil, qui ont partagé avec moi tant de rires, de défis et de souvenirs inoubliables. Votre amitié a rendu ces années exceptionnelles

A mes camarades de la promo 2020.

Ce travail est le fruit d'un chemin que je n'ai jamais parcouru seule. À vous tous, merci du fond du cœur.

AIT HAMMOUDA Silia

Sommaire

Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des abréviations.....	xii
Introduction	1
1 Chapitre I : Généralités	5
1.1 Aperçu général sur les risques naturels	5
1.2 Les inondations	6
1.2.1 Causes des inondations.....	6
1.2.2 Types d'inondations	7
1.2.3 Les inondations en Algérie.....	7
1.3 Les feux de forêts	8
1.3.1 Types des feux.....	9
1.3.2 Facteurs favorisant les incendies.....	9
1.3.3 Les feux de forêts en Algérie	10
1.3.4 Facteurs de déforestation et de dégradation des forets.....	11
2 Chapitre II : Contexte général de la zone d'étude : Wilaya de Tipaza	13
2.1 Choix de la zone d'étude	13
2.2 Situation géographique.....	14
2.3 Découpage administrative	14
2.4 Population et urbanisation.....	15
2.5 Activités économiques	17
2.6 Réseau hydrographique	18
2.7 Climatologie	19
2.7.1 Température	20
2.7.2 Précipitations.....	20
2.7.3 Vents.....	22

2.8	Patrimoine forestier	22
2.9	Aires Protégées.....	23
3	Chapitre III : Matériels et Méthodes.....	25
3.1	Logiciels utilisés.....	25
3.2	Données récoltées.....	25
3.3	Etude du réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza	25
3.3.1	Présentation des données utilisés	26
3.3.2	Etapes de travail	26
3.4	Paramètres de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza	28
3.4.1	Carte de distribution des altitudes	29
3.4.2	Carte des pentes.....	29
3.4.3	Carte de densité de drainage.....	30
3.4.4	Carte de l'indice d'humidité topographique (Topographic Wetness Index, TWI) ...	30
3.4.5	Carte de l'occupation du sol de la wilaya d'Alger	31
3.4.6	Carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)	33
3.4.7	Carte des types de sol	34
3.4.8	Carte de distance des oueds.....	35
3.4.9	Carte des précipitations	35
3.5	Cartographie de la vulnérabilité aux inondations à l'aide de l'analyse multicritères ...	35
4	Chapitre IV : Résultats et discussion.....	39
4.1	Statistiques sur les risques majeurs abordés.....	39
4.1.1	Les inondations de la wilaya de Tipaza	39
4.1.2	Les feux de forêts de la wilaya de Tipaza	43
4.2	Réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza	47
4.2.1	Bassin versant de l'oued Mazafran	48
4.2.2	Bassin versant de l'oued Nador.....	49
4.2.3	Bassin versant de l'oued El Hachem.....	49

4.2.4	Bassin versant de l'oued Damous	50
4.3	Paramètres de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza	51
4.3.1	Carte de la distribution des altitudes et carte des pentes	51
4.3.2	Carte de la densité de drainage.....	52
4.3.3	Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI)	53
4.3.4	Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza.....	54
4.3.5	Carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)	56
4.3.6	Carte des types de sol	57
4.3.7	Carte de distance par rapport aux oueds.....	59
4.3.8	Carte des précipitations	60
4.4	Carte de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza	61
4.4.1	Validation des résultats	62
4.4.2	Analyse de la vulnérabilité des communes côtières de la wilaya de Tipaza.....	63
	Conclusion générale	68
	Références bibliographiques	71
	Annexes	I
	Annexe 1	I
	Annexe 2	VIII
	Annexe 3	IX
	Annexe 4	X
	Annexe 5	X
	Annexe 6	XI
	Annexe 7	XIII
	Résumé	

Liste des figures

Figure 1: Schéma de la décomposition du risque en aléa et vulnérabilité	5
Figure 2: Schéma des différents types d'inondation.....	7
Figure 3: Distribution des inondations (mois, saison, région) en Algérie (1965-2013) (BOUTAGHANE et al., 2022).....	8
Figure 4: Types des feux de forêts. Source : FAO (2001), modifié.....	9
Figure 5: Répartition des forêts en Algérie (BENKHEIRA, 2018)	10
Figure 6: Schéma des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts Algérienne (GEIST and LAMBIN, 2002).....	11
Figure 7: Les dix wilayas les plus touchées par les feux (2008-2017), selon BENKHEIRA (2018)	14
Figure 8: Carte de la situation géographique de la zone d'étude (Wilaya de Tipaza).....	15
Figure 9: Evolution de la population de la wilaya de Tipaza (1998-2023) (ONS, 2023)	16
Figure 10: Nombre d'habitations an niveau des communes de la wilaya de Tipaza en 1998	16
Figure 11: Nombre d'habitations an niveau des communes de la wilaya de Tipaza en 2008	16
Figure 12: Carte des principaux réseaux hydrographiques de la wilaya de Tipaza	19
Figure 13: Moyennes mensuelles des données météorologiques sur les derniers 30 ans pour la wilaya de Tipaza.....	21
Figure 14 : Evolution des températures annuelles moyennes à Tipaza entre 1981 et 2024.....	22
Figure 15 : Evolution du cumul annuel des précipitations (en mm/an) dans la wilaya de Tipaza pour trois stations (Centre, Est, Ouest) sur une période de plus de 40 ans (1981-2024)	22
Figure 16: Schématisation des étapes de travail pour l'extraction du réseau hydrographique	27
Figure 17: Organigramme de réalisation de la carte de vulnérabilité de Tipaza aux inondations	29
Figure 18: Schématisation des étapes de réalisation de la carte de vulnérabilité aux inondations à Tipaza sur le logiciel ArcGIS.....	37
Figure 19: Evolution du Nombre d'inondations de la wilaya de Tipaza (1974-2019) : (a) par année, (b) par date	40
Figure 20: (a) Nombre d'inondations en fonction des communes de la wilaya de Tipaza (1974-2019). (b) Carte de distribution des inondations à Tipaza (1974-2019)	41
Figure 21: Evolution Mensuelle du nombre d'inondations à Alger : Distribution par saison	42
Figure 22: Nombre et pourcentage des inondations à Tipaza par type	42
Figure 23: L'évolution temporelle des feux de forêts de Tipaza (2012-2023).....	44
Figure 24 : (a) Comparaison du nombre des feux de forêts par commune (2012-2023). (b) Répartition spatiale des feux de forêts à Tipaza (2012-2023).....	45

Figure 25: la superficie brûlée en hectares pour différentes catégories de végétation de Tipaza (2012-2024).....	46
Figure 26: Carte des bassins versants des principaux oueds de Tipaza	47
Figure 27: Carte du bassin versant de l'oued Mazafran.....	48
Figure 28: Carte du bassin versant de l'oued Nador.....	49
Figure 29: Carte du bassin versant de l'oued El Hachem.....	50
Figure 30: Carte montre le bassin versant d'oued Damous	50
Figure 31: Carte de distribution des altitudes de la wilaya de Tipaza.....	51
Figure 32: Carte des pentes de la wilaya de Tipaza	52
Figure 33: Carte de la densité de drainage de la wilaya de Tipaza	53
Figure 34: Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI) de la wilaya de Tipaza.....	54
Figure 35: Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza (Année 2017).....	55
Figure 36: Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza (Année 2024).....	56
Figure 37: Carte de l'indice NDVI de la wilaya de Tipaza (Année 2017).....	57
Figure 38: Carte de l'indice NDVI de la wilaya de Tipaza (Année 2024).....	57
Figure 39: Carte des types de sol de la wilaya de Tipaza	59
Figure 40: Carte des distances par rapport aux oueds de la wilaya de Tipaza.....	59
Figure 41: Carte des précipitations de la wilaya de Tipaza.....	61
Figure 42: Carte de la vulnérabilité aux inondations de la wilaya de Tipaza	62
Figure 43: Carte montrant la distribution spatiale des principales inondations enregistrées dans la wilaya de Tipaza superposées à la carte de vulnérabilité.....	63
Figure 44: Carte de la vulnérabilité des communes côtières de la wilaya de Tipaza aux risques d'inondations	65
Figure 45: Carte de distribution de l'urbanisation des communes côtières de la wilaya de Tipaza selon leurs vulnérabilités aux inondations	66
Figure 46: La matrice construite à partir de la mise en relation des caractéristiques étudiées ...	XII
Figure 47: Carte géologique provisoire des provinces d'Alger et d'Oran, ressée d'après les travaux de MM. Badynski... [et al.] par MM. Pomel et Pouyanne 1881 (Muséum national d'histoire naturelle (Paris) - Direction des bibliothèques et de la documentation)	XIII

Liste des tableaux

Tableau 1: Répartition des industries par localisation (2019). Source : (INTERIEUR GAOV, 2021)	18
Tableau 2 : Répartition du nombre d'unités par branches d'activité (INTERIEUR GAOV, 2021)	18
Tableau 3: Caractéristiques des images utilisées	32
Tableau 4: Répartition du nombre de foyers et superficie brulée selon les différentes régions de l'Algérie (2024)	46
Tableau 5: Caractéristiques morphologiques des bassins versants de Tipaza	48
Tableau 6: Superficie et pourcentage des classes d'occupation du sol de la wilaya de Tipaza en 2017 et 2024	55
Tableau 7: Superficies des classes de vulnérabilité aux inondations de la wilaya de Tipaza	62
Tableau 8 : Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (2000-2019).....	VIII
Tableau 9 : Statistiques des feux de forêts en Algérie (2017-2023)	IX
Tableau 10: Communes et daïras de la wilaya de Tipaza	X
Tableau 11: Répartition des superficies forestières par essences dans la wilaya de Tipaza.	X
Tableau 12: Echelle proposée par SAATY (1991)	XI
Tableau 13: Critères de causalité des inondations à Tipaza.....	XI

Liste des abréviations

ABH	Les Agences de Bassin Hydrographiques
ADE	L'Algérienne des Eaux
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANBT	L'Agence Nationale des Barrages et Transferts
ANP	Armée Nationale Populaire
ANRH	L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ASAL	L'Agence Spatiale Algérienne
CENEAPED	Centre National d'Etudes et d'Analyses pour la Population et le Développement
CERFO	Le centre d'enseignement et de recherche en foresterie
CHRS	Center for Hydrometeorology and Remote Sensing
CNULCD	La Convention des Nations Unies contre la désertification
DGF	La Direction Générale des Forêts
DGPC	Direction Générale de la Protection Civile
DNRM	Délégation Nationale des Risques Majeurs
DRTR	La Direction de la Restauration des Terres et de Reboisement
DSA	La Direction des Services Agricoles
DTP	La Direction des Travaux Publics
ENVI	The Environment for Visualizing Images
ESA	European Space Agency
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FRA	Futur Rate Agreement
GIEC	Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZC	La Gestion Intégrée des Zones Côtières
GN	Gendarmerie Nationale
IDW	Inverse Distance Weighting
INPE	L'Institut National de Perfectionnement de l'Équipement
INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
INSID	Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MRE	Ministère des Ressources en Eau
MSI	Multi Spectral Instrument
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

NIR	Near Infrared
ONA	L'Office National de l'Assainissement
ONM	Office national de la météorologie
ONS	Office National des Statistiques
ORSEC	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PAC	Programme d'Aménagement Côtier
PDIR-Now	PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate
PNE	Le Plan National de l'Eau
PNGIF	Le Plan national de prévention et de gestion des incendies de forêt
PNR	Le Plan national de reboisement
PPRI	Les périmètres de prévention du risque d'inondation
ROI	Région Of Interest
SAU	Surface agricole utile
SIG	Systèmes d'informations géographiques
SNAP	Sentinel Application Platform
SNTF	La Société Nationale des Transports Ferroviaires
SONELGAZ	La Société Nationale de l'Électricité et du Gaz
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWIR	Short Wave InfraRed
TWI	Topographic Wetness Index
UCI	L'Université de Californie à Irvine
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
USGS	l'United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System.

INTRODUCTION

Introduction

La gestion des risques naturels constitue un enjeu mondial majeur, en raison de la fréquence et de l'intensité croissante des catastrophes naturelles. Ces risques résultent de la rencontre entre des aléas naturels tels que les séismes, inondations, érosions ou tempêtes et des enjeux humains, économiques et environnementaux exposés à ces phénomènes. Entre 2000 et 2019, 7 348 catastrophes majeures ont été enregistrées à travers le monde, faisant 1,23 million de victimes, affectant 4,2 milliards de personnes et entraînant des pertes économiques mondiales d'environ 2,97 billions de dollars ; une forte augmentation par rapport aux vingt années précédentes (UNDRR et CRED, 2020). Le changement climatique joue un rôle central dans l'aggravation de ces risques, en amplifiant la fréquence et la sévérité des phénomènes extrêmes tels que les vagues de chaleur, les précipitations intenses ou l'élévation du niveau des mers (MASSON-DELMOTTE et al., 2021). Ceci accroît la vulnérabilité des populations et des écosystèmes, des infrastructures et des systèmes alimentaires, tout en perturbant la saisonnalité des événements climatiques (CALVIN et al., 2023). Ces changements ont conduit à un doublement des catastrophes naturelles recensées dans le monde au cours des vingt dernières années, avec des conséquences humaines, économiques et sociales majeures¹.

Dans la région méditerranéenne, cette vulnérabilité est particulièrement marquée du fait de sa situation géographique, exposée à des risques sismiques importants liés aux mouvements tectoniques, ainsi qu'à des risques hydrométéorologiques. Les épisodes méditerranéens, caractérisés par des pluies intenses et localisées sur de courtes périodes, provoquent des inondations torrentielles qui représentent 35% des catastrophes naturelles dans la région entre 1990 et 2010 (GALLINAL ARIAS et al., 2024). Ces inondations sont aggravées par l'urbanisation rapide et souvent mal planifiée, qui réduit la capacité d'évacuation des eaux, notamment dans les zones urbaines (MENAD et al., 2009). En outre, la région méditerranéenne est l'une des plus touchées au monde par les feux de forêt, avec environ 50 000 incendies annuels qui détruisent entre 700 000 et 1 million d'hectares (ALEXANDRIAN et al., 1998). Ces incendies exacerbés par les sécheresses estivales récurrentes et le réchauffement climatique, causent des dégâts écologiques majeurs, détruisant la biodiversité et les sols, mais aussi des pertes économiques et humaines significatives, comme en témoigne l'incendie meurtrier en Grèce en 2018 qui a fait plus de 100 victimes (VEYRET, 2012). La vulnérabilité méditerranéenne est aussi liée à des facteurs

¹ <https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview>

anthropiques tels que la sur-urbanisation des littoraux, l'intensification du tourisme et la pression sur les ressources naturelles, qui fragilisent les patrimoines culturels et naturels (CALENDA, 2024).

Selon le diagnostic de la Banque mondiale sur la gestion des risques climatiques et des catastrophes (2023)², l'Algérie en tant que pays méditerranéen, est particulièrement exposée à une diversité d'aléas naturels majeurs, avec une concentration accrue des risques sur ses zones côtières, qui abritent une grande partie de sa population et de ses infrastructures économiques. La wilaya de Tipaza, située sur la côte ouest d'Alger, constitue un exemple emblématique de cette vulnérabilité multidimensionnelle (NOURI and OZER, 2014). En effet, cette région est soumise à un risque sismique élevé en raison de sa proximité avec des failles actives liées aux mouvements tectoniques de la plaque africaine (BACHAR, 2018). Par ailleurs, Tipaza fait face à des inondations récurrentes, souvent exacerbées par des épisodes méditerranéens intenses, qui provoquent des dégâts matériels importants et perturbent les activités économiques locales (NOURI and OZER, 2014). En outre, le rapport de la Banque mondiale (2014)³ confirme que Tipaza est confrontée à un risque croissant de feux de forêt, lié à la combinaison de facteurs climatiques, tels que des étés de plus en plus secs et chauds, et à des activités humaines parfois négligentes. Ces incendies ont des conséquences écologiques lourdes, détruisant la biodiversité locale et dégradant les sols, tout en mettant en danger la sécurité des populations.

Face à ces défis, la caractérisation précise de ces risques est une étape fondamentale pour comprendre leurs mécanismes, leurs zones d'occurrence et leurs conséquences spécifiques dans ce contexte local. Ce mémoire entre dans le cadre de la nécessité de développer une démarche globale et contextualisée pour caractériser, cartographier et gérer les risques naturels à Tipaza. Cette démarche doit prendre en compte les interactions complexes entre les aléas naturels, les facteurs humains et les effets du changement climatique, afin d'élaborer des stratégies adaptées qui contribuent à réduire la vulnérabilité et à promouvoir un développement durable et résilient dans cette région côtière stratégique. Cette étude analyse la vulnérabilité de la wilaya de Tipaza face aux inondations en mobilisant la méthode d'Analyse Hiérarchique par Processus (AHP). Neuf critères ont été retenus pour structurer l'évaluation. L'agrégation de ces paramètres a permis de

²<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099121023122035477/pdf/P16287912eaf5a01d1a1941a72376b420e5.pdf>

³Lien du rapport de la banque mondiale :

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099110823163530127/pdf/P1776690df4652080094ed07663fc864a5a.pdf>

générer une carte de vulnérabilité, utilisée comme outil d'aide à la décision pour une gestion efficace des risques naturels et une planification territoriale adaptée. Ce travail porte également sur l'étude de la dynamique spatio-temporelle des inondations et des incendies survenus dans la région, en mettant en évidence leur évolution, leurs causes et leurs impacts au fil du temps.

Ce document est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est dédié aux notions générales ainsi qu'aux définitions des termes et phénomènes abordés dans cette étude. Il donne également un aperçu des inondations et feux de forêts ayant affecté l'Algérie.
- Le deuxième chapitre présente la wilaya de Tipaza, en détaillant sa situation géographique, sa démographie, son urbanisation, son climat et son patrimoine forestier.
- Le troisième chapitre décrit les données utilisées et les méthodes appliquées pour analyser les deux risques abordés dans la wilaya de Tipaza.
- Enfin, le quatrième chapitre regroupe les résultats obtenus et leur analyse.

Généralités

1 Chapitre I : Généralités

Ce chapitre inclut une description de deux catastrophes naturelles : les inondations et les feux de forêts, en citant leurs causes, leurs types ainsi que leur distribution et répartition en Algérie.

1.1 Aperçu général sur les risques naturels

Le concept de risque est multidimensionnel et peut être défini de plusieurs manières selon le contexte. Le risque, résultant de l'interaction entre l'aléa et la vulnérabilité, varie d'un territoire à l'autre, car ces deux facteurs ne sont pas uniformes selon les zones exposées (**Figure 1**).

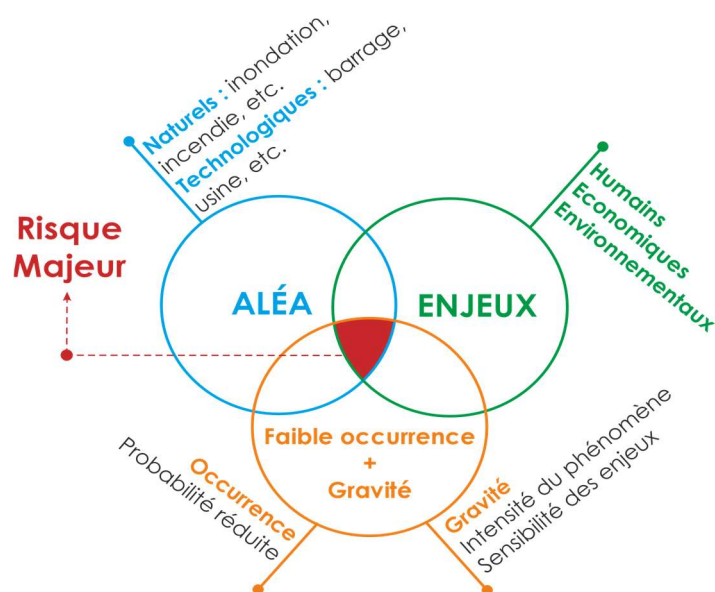


Figure 1: Schéma de la décomposition du risque en aléa et vulnérabilité ⁴

Un risque est qualifié 'majeur' lorsque deux critères principaux sont remplis :

- A- Faible fréquence** : Ces événements sont rares, ce qui peut amener les sociétés à les ignorer ou à ne pas se préparer adéquatement à leur survenue.
- B- Gravité élevée** : Les conséquences d'un risque majeur peuvent inclure de nombreuses victimes, des dommages considérables et des impacts environnementaux significatifs, dépassant souvent les capacités de réaction des autorités à l'échelle de la zone touchée.

Les risques majeurs peuvent être naturels ou anthropiques. Les risques majeurs d'origine humains incluent des événements technologiques comme des accidents nucléaires ou industriels, ainsi que le transport de matières dangereuses. Les risques naturels désignent les menaces posées par des événements d'origine naturelle susceptibles d'occasionner des dommages aux populations, aux

⁴ https://www.cypres.org/default/presentation-des-risques-majeurs.aspx?_lg=fr-FR

infrastructures et à l'environnement. Ces risques résultent de l'interaction entre un aléa naturel (comme un séisme ou une inondation) et des enjeux humains, économiques ou environnementaux. Les risques naturels se classent en trois types : **géophysiques** (séismes, volcans, tsunamis), **géomorphologiques** (glissements de terrain, érosion, avalanches) et **hydrométéorologiques** (cyclones, tempêtes, inondations, sécheresses).

L'Algérie fait face à divers risques naturels selon les régions : la loi 24-04 recense dix-huit types de risques majeurs (naturels et anthropiques). C'est une région considérée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) comme l'un des 24 « hot spots » les plus vulnérables au changement climatique et touchée par des phénomènes extrêmes climatiques récurrents (inondations, sécheresses, incendies de forêts, etc.)⁵. Dans le contexte de sa stratégie nationale de lutte contre les catastrophes naturels (**Annexe 1**), l'Algérie a élaboré **la loi 04-20** (du 25 décembre 2004), abrogée par **la loi 24-04** (du 26 février 2024) qui vise à réduire les vulnérabilités, d'améliorer la réponse aux crises et d'intégrer la gestion des risques dans les politiques publiques et les plans de développement durable.

Ce mémoire se focalise sur deux types des risques naturels : **les inondations** et **les feux de forêts**.

1.2 Les inondations

1.2.1 Causes des inondations

Une inondation correspond à une submersion temporaire par l'eau d'une zone qui, en temps normal, se trouve hors d'eau. Ce phénomène est causé par plusieurs facteurs :

- **Causes d'origine naturelle** : elles correspondent aux phénomènes météorologiques et climatiques remarquables tels que : pluies exceptionnelles, orages violents, pluies torrentielles, fonte des neiges, etc.
- **Causes d'origine humaine directe** : elles consistent dans la modification du système fluvial des cours d'eau ou de leurs caractéristiques morphologiques (largeur, longueur, pente, etc.) par les différentes activités anthropiques.
- **Causes d'origine humaine indirecte** : elles sont liées à la pollution et le réchauffement climatique qui ont modifié les conditions climatiques du monde entier.

⁵<https://www.me.gov.dz/fr/risques-et-vulnerabilite/>

1.2.2 Types d'inondations

Selon l'événement à l'origine de la catastrophe, plusieurs types d'inondation peuvent être identifiés (Figure 2) :

- **L'inondation par débordement d'un cours d'eau** : se produit quand la rivière dépasse son lit habituel. Celle-ci découle de deux phénomènes :
 - **Les crues lentes de plaines** : se produisent principalement sur des plaines, où le fleuve ou la rivière sort progressivement de son lit mineur pour submerger le lit moyen ou majeur.
 - **Les crues rapides (dites aussi éclairées ou torrentielles)** : se manifestent dans les zones montagneuses ou à relief marqué, souvent à la suite de fortes pluies ou de la fonte des neiges.
- **Inondations par remontée de nappe souterraine** : est provoquée par la montée du niveau de la nappe phréatique au-delà de la surface du sol.
- **L'inondation par ruissellement pluvial** se produit lorsque les eaux de pluie ne peuvent pas s'infiltrer dans le sol généralement suite à des précipitations intenses.
- **Inondation par submersion marine** : Ce sont des inondations rapides et de courtes durées de la zone côtière par la mer ou les océans lors de conditions météorologiques défavorables.

Les inondations peuvent aussi résulter d'un accident, comme dans le cas de la rupture d'un barrage.

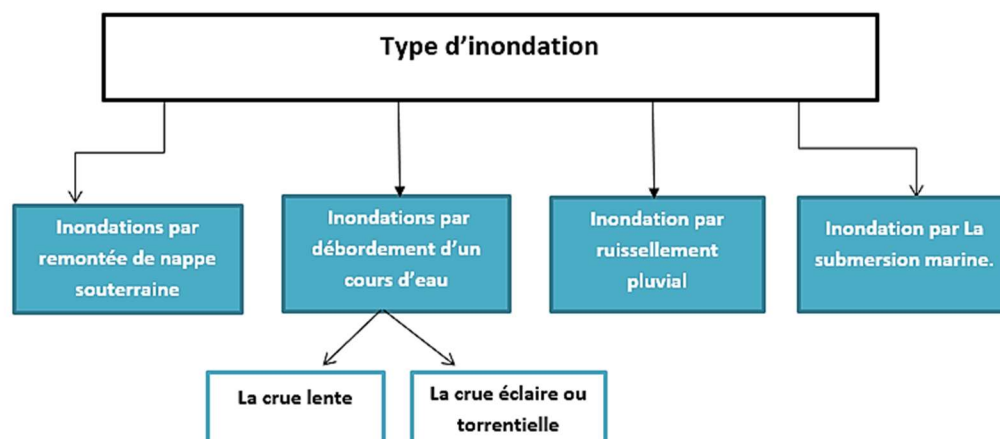


Figure 2: Schéma des différents types d'inondation.

1.2.3 Les inondations en Algérie

Les inondations sont un danger fréquent en Algérie. Les régions les plus touchées par les inondations sont le Nord-Ouest, le Sud-est et la côte méditerranéenne (HADJADJI and MEROUANE, 2022a). La plupart des inondations se produisent en automne (48%), principalement durant le mois d'octobre (Figure 3). Elles entraînent d'importantes pertes en vies humaines, des dégâts matériels considérables et nuisent aux économies. Au fil des dernières

décennies, l'Algérie a connu des inondations dévastatrices (**Annexe 2**). Le type dominant d'inondations qui se produisent est celui des crues éclair, qui ont tendance à ne pas être bien documentées et étudiées en Algérie. Les deux inondations éclair catastrophiques qui ont marqué le pays au cours des années 2000 sont la crue éclair de Bab El Oued (2001, crues éclair urbaines) et la crue éclair de Wadi M'Zab (2008, crue éclair du site du patrimoine mondial de l'UNESCO).

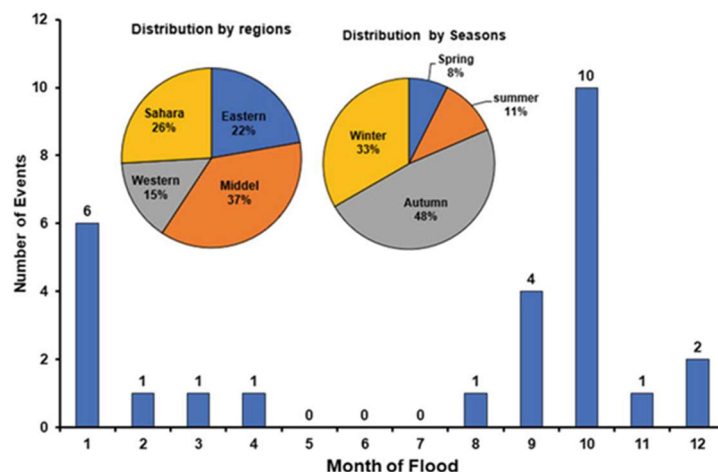


Figure 3: Distribution des inondations (mois, saison, région) en Algérie (1965-2013) (BOUTAGHANE et al., 2022)

1.3 Les feux de forêts

Les forêts couvrent environ 30% de la superficie des terres émergées de la planète (FAO, 2007), soit près de 40 millions de km² (MAYER NATHALIE, 2023). Elles abritent une grande diversité d'espèces d'arbres, estimée à 73 300 dans le monde.

Un feu de forêt par définition est un feu non contrôlé qui se propage dans une zone boisée ou forestière. Ces feux sont considérés comme un sous-ensemble d'incendies. Tous les feux de forêt sont des incendies, mais tous les incendies ne sont pas des feux de forêt. A l'échelle mondiale, les dernières données sur les feux de forêts confirment que leurs étendues deviennent de plus en plus importantes, brûlant au moins deux fois plus de surface arborée qu'il y a 20 ans. Les données de l'Université du Maryland montrent une augmentation annuelle de 5,4 % des surfaces brûlées par les feux de forêt entre 2001 et 2023 (MACCARTHY et al., 2024). Les incendies de forêts font rage sur le pourtour méditerranéen, affectant plusieurs pays tels que la France, la Corse, l'Algérie, la Grèce et l'Italie (DELMONTE, 2023). Le changement climatique intensifie ce phénomène chaque année, rendant les massifs forestiers méditerranéens plus vulnérables aux incendies en raison de la combinaison entre canicules, sécheresse et vent.

Pour qu'un incendie de forêt se déclenche, cela nécessite trois éléments : du combustible (comme l'essence, le papier...), une source d'allumage (comme la foudre ou un feu de camp) et des

conditions météorologiques propices au feu (comme un temps chaud et sec). Ces trois facteurs, souvent appelés le "triangle du feu", affectent à la fois l'apparition des incendies et leurs comportements.

1.3.1 Types des feux

Les types d'incendies de forêt sont résumés dans la **Figure 4**.

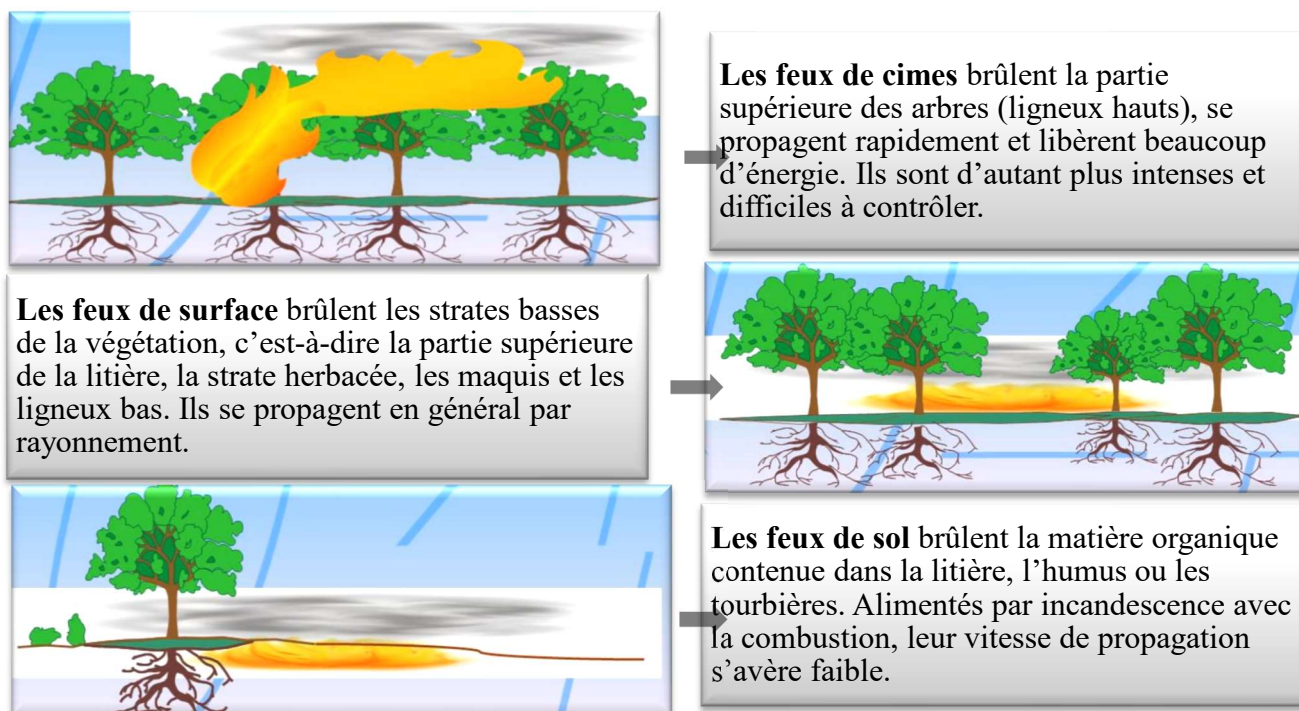


Figure 4:Types des feux de forêts. Source : FAO (2001), modifié

1.3.2 Facteurs favorisant les incendies

Plusieurs facteurs naturels peuvent influencer la propagation d'un feu de forêt :

- **La végétation** : La combustibilité caractérise l'aptitude de la végétation à propager le feu en se consumant. La structure de la forêt et les essences végétales présentes influent sur les quantités de chaleur libérées lors de la combustion.
- **Le vent** : Le vent apporte de l'oxygène, active la combustion, rabat les flammes sur la végétation, modifie la direction du feu et transporte des particules incandescentes.
- **Le relief** : La pente conditionne l'inclinaison des flammes par rapport au sol et leur vitesse de propagation.

L'influence des facteurs anthropiques :

Les activités humaines sont responsables de 70 à 80 % des incendies de forêt chaque année. Ces feux ont cinq origines principales : les accidents liés aux transports, lignes électriques et dépôts

d'ordures, l'imprudence comme les mégots jetés ou les pique-niques en forêt, les travaux agricoles et forestiers, ainsi que l'urbanisation et les loisirs en zones boisées.

1.3.3 Les feux de forêts en Algérie

Le patrimoine forestier national (Algérie du Nord) couvre une superficie globale d'environ 4.149.400 ha (BENKHEIRA, 2018), et se répartit comme suit (**Figure 5**).

- Forêts naturelles.....1.329.400 ha.
- Maquis..... 1.844.400 ha.
- Reboisement..... .972.800 ha.
- Pelouse..... 3.000 ha.

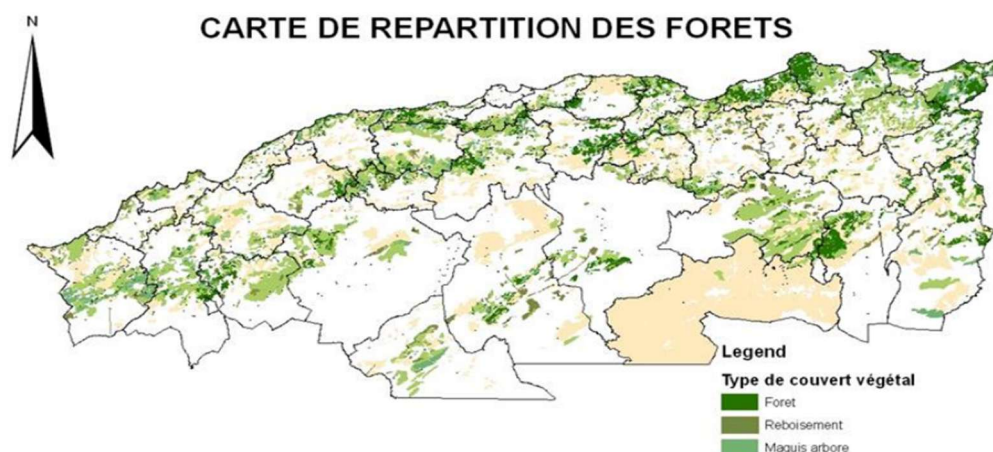


Figure 5: Répartition des forêts en Algérie (BENKHEIRA, 2018)

Les feux de forêt en Algérie ont connu des épisodes tragiques et dévastateurs ces dernières années, marqués par des pertes humaines et des dégâts matériels considérables. La déforestation s'intensifie en raison de la forte inflammabilité des essences forestières, du climat aride, des sécheresses prolongées et des activités humaines des populations riveraines. Ces facteurs fragilisent les 4,1 millions d'hectares de forêts, maquis et broussailles, représentant un taux de boisement de 16,4 % dans le nord du pays et seulement 1,7 % à l'échelle nationale (BENDERRADJI et al., 2004). Les données d'impact des feux de forêts par régions (2008-2017) indiquent que la région Est est la plus touchée par ces feux avec une superficie incendiée de 86 246 ha de sa superficie forestière (800 239 ha). Cette couverture forestière reste insuffisante par rapport au seuil des 25 % recommandé à l'échelle mondiale (BENDERRADJI et al., 2004) selon le contexte discuté par la FRA (2020). Chaque année, les feux de forêts réduisent environ 30 000 hectares du patrimoine forestier (**Annexe 3**), une perte significative pour un pays comme l'Algérie (BELKAID, 2016), dont une grande partie du territoire est soumise à un climat désertique.

1.3.4 Facteurs de déforestation et de dégradation des forêts

Le schéma ci-après (Figure 6) identifie les principaux facteurs directs et indirects de la déforestation et de la dégradation des forêts algériennes. Parmi ces facteurs, les feux de forêt sont considérés par les forestiers comme le principal risque.

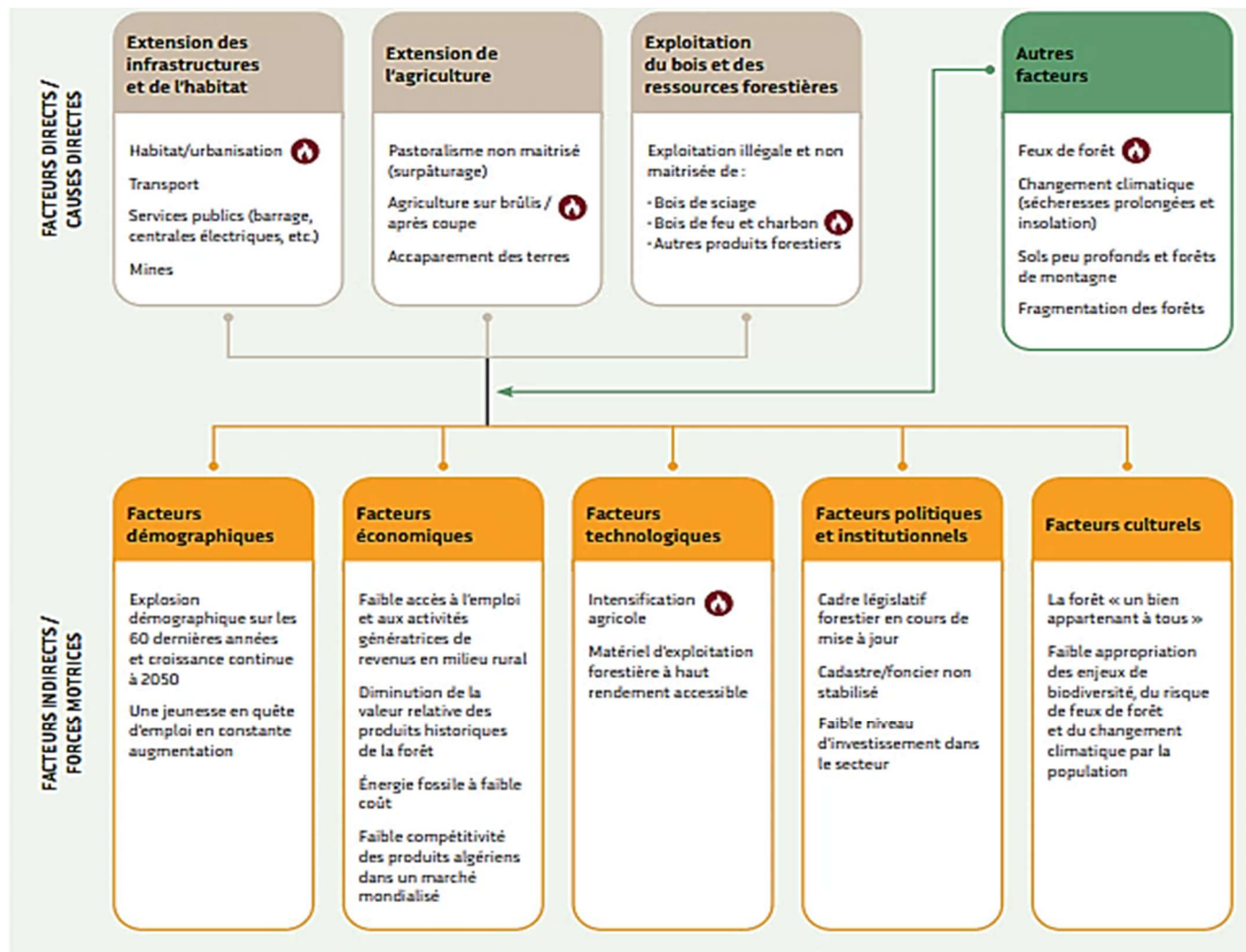


Figure 6: Schéma des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts Algérienne (GEIST and LAMBIN, 2002)

Contexte général de la zone d'étude :

Wilaya de Tipaza

2 Chapitre II : Contexte général de la zone d'étude : Wilaya de Tipaza

Ce chapitre vise à présenter notre zone d'étude, la wilaya de Tipaza. Cette région, dotée de caractéristiques géographiques, culturelles et socio-économiques diversifiées, constitue un cadre essentiel pour l'analyse des enjeux abordés. La présentation de Tipaza inclura un aperçu de sa situation géographique, administrative, climatique, géologique et hydrographique, ainsi qu'une analyse de son évolution démographique et urbanistique.

2.1 Choix de la zone d'étude

➤ Par rapport aux inondations

Notre sélection s'est arrêtée sur la wilaya de Tipaza, principalement, parce qu'elle représente une région particulièrement exposée aux catastrophes naturelles, notamment les inondations, à cause de son développement urbain rapide et non contrôlé. Tipaza est également exposée à plusieurs risques naturels, incluant les crues, le risque sismique et l'érosion du littoral, ce qui rend les événements météorologiques extrêmes particulièrement dangereux.

Le changement climatique est aussi un facteur clé, étant donné qu'il pourrait augmenter la fréquence et l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes. Des inondations récentes ont souligné l'urgence de la situation, mettant en lumière la nécessité d'études approfondies pour gérer ce risque. Enfin, la région abrite des activités économiques importantes et des écosystèmes sensibles qui nécessitent une protection particulière face aux risques naturels.

➤ Par rapport aux feux de forêts

La wilaya de Tipaza, en Algérie, a été confrontée à plusieurs incendies de forêt au fil des années. Entre 2008 et 2017, elle figurait parmi les dix wilayas les plus touchées, avec 12 810 hectares de forêts brûlés (**Figure 7**). Les feux de forêt ont continué à affecter la région, avec plusieurs départs signalés : En août 2022, des incendies ont ravagé les forêts du Mont Chenoua (ANP, 2022) ; le 14 août 2023, un important feu s'est déclaré dans les hauteurs de Messelmoune (HADDOUCHE, 2023), à l'ouest de Tipaza. La réduction des impacts des incendies demeure une priorité essentielle afin de protéger nos forêts.

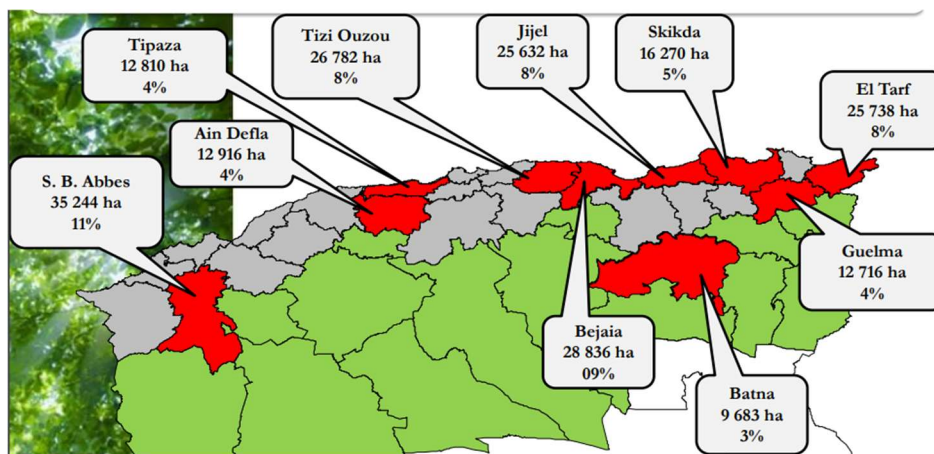


Figure 7: Les dix wilayas les plus touchées par les feux (2008-2017), selon BENKHEIRA (2018)

2.2 Situation géographique

La wilaya de **Tipaza** est une wilaya algérienne située à 68 km à l'ouest de la capitale Alger, délimitée par la mer Méditerranée au Nord, la wilaya d'Aïn Defla au Sud-Ouest, la wilaya d'Alger à l'Est, la wilaya de Blida au Sud-Est et la wilaya de Chlef à l'Ouest. Tipaza se situe entre 36°42' N et 36° 20' N de latitude et entre 1° 38' E et 2° 50' E de longitude.

La présence de la mer, des reliefs du Chenoua et du Dahra donnent un paysage particulier d'un intérêt touristique. De nombreux vestiges puniques, romains, chrétiens et musulmans attestent également de la richesse de l'histoire de cette région.

2.3 Découpage administrative

La wilaya de Tipaza a été créée par le redécoupage administratif de 1984 institué par la loi 84-09 du 04 février 1984. Cet espace était lié administrativement à la wilaya de Blida. Le territoire de la wilaya couvre une superficie de **1 707 km²** et se compose de **10 daïras et 28 communes**, dont **10 sont côtières (Figure 8 et Annexe 4)**.

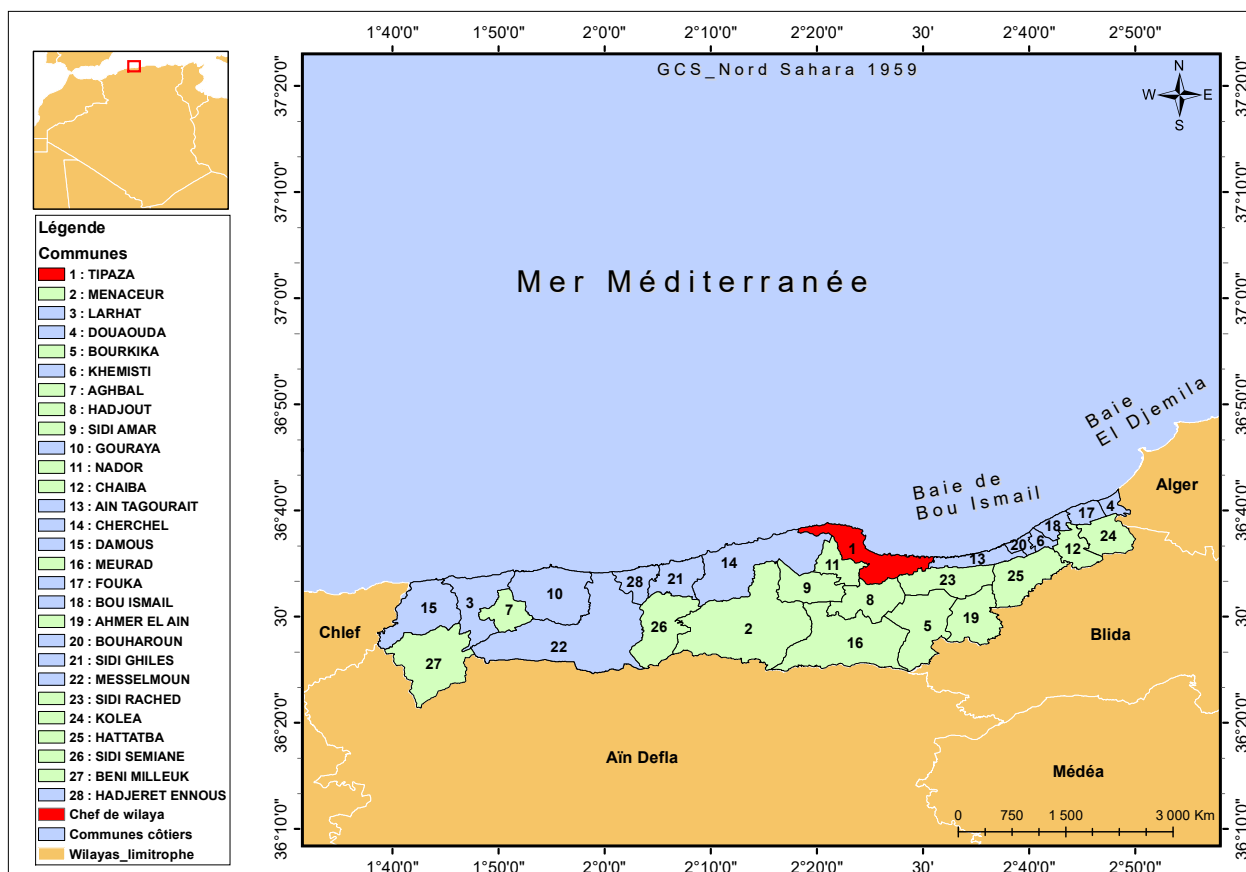


Figure 8: Carte de la situation géographique de la zone d'étude (Wilaya de Tipaza)

2.4 Population et urbanisation

La wilaya de Tipaza présente une population dynamique et une urbanisation croissante. Selon le recensement de l'Office National des Statistiques (ONS), la population s'élevait à 591 010 habitants en 2008 (ONS, 2008), avec une densité de 414 habitants par km² en 2019. La **Figure 9** montre une augmentation progressive de la population d'un recensement à un autre avec une diminution apparente de la population en 2021. La population montre une légère reprise entre 2022 et 2023. D'après la **Figure 10** et la **Figure 11**, la daïra de Koléa est la plus peuplée, comptant environ 124 537 habitants. La population est majoritairement jeune, avec environ 70 % ayant moins de 35 ans, ce qui souligne un potentiel démographique important pour le développement futur⁶.

⁶ https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=1899&wilaya=42

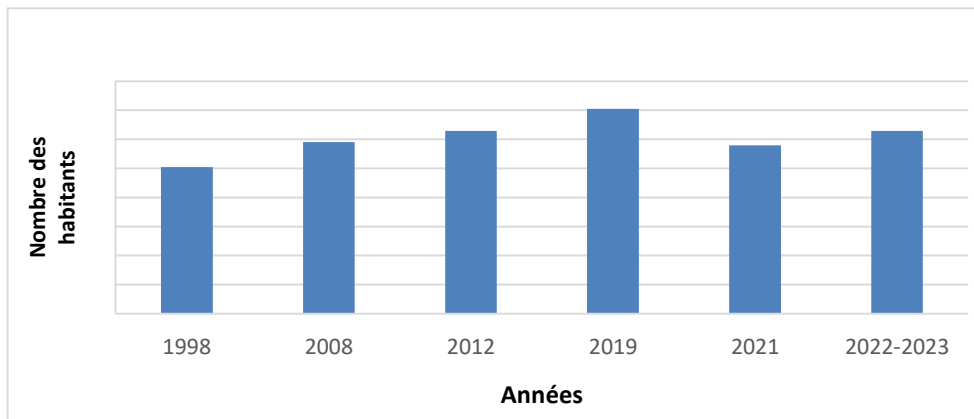


Figure 9: Evolution de la population de la wilaya de Tipaza (1998-2023) (ONS, 2023)

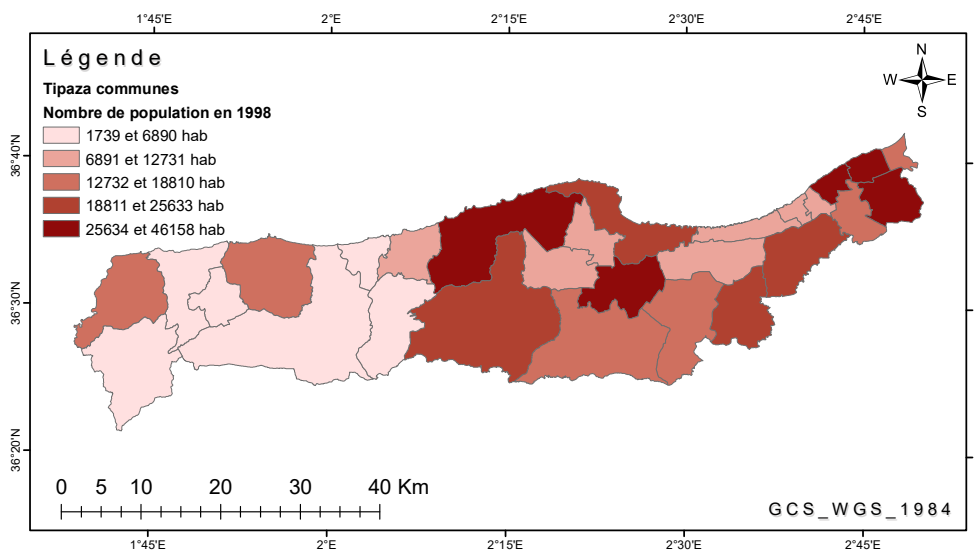


Figure 10: Nombre d'habitations an niveau des communes de la wilaya de Tipaza en 1998

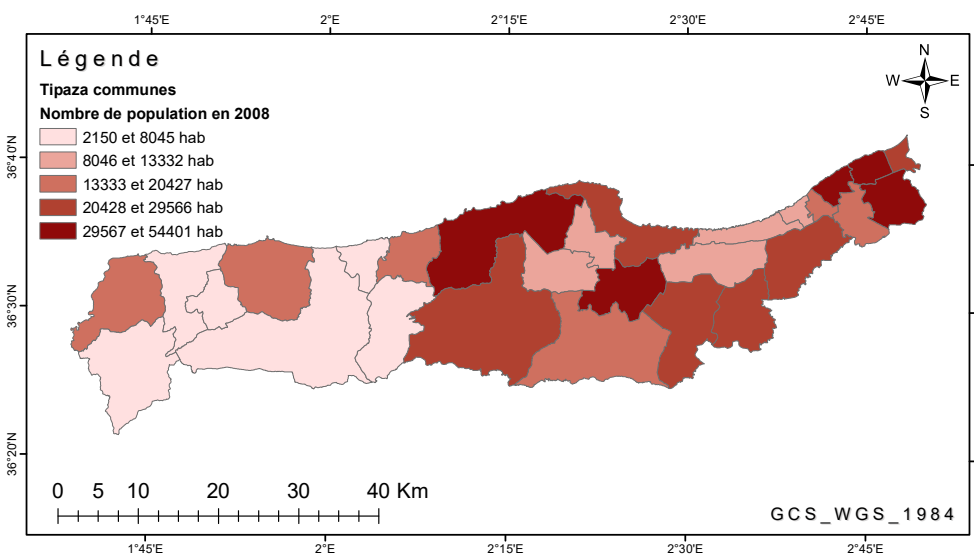


Figure 11: Nombre d'habitations an niveau des communes de la wilaya de Tipaza en 2008

L'urbanisation dans la wilaya est également notable, avec plusieurs communes dépassant les 40.000 habitants, telles que Koléa et Fouka⁷. Cette croissance urbaine est alimentée par des facteurs tels que l'amélioration des infrastructures et l'attractivité économique de la région, notamment dans les secteurs du tourisme et des services. Toutefois, cette urbanisation rapide pose des défis en matière de gestion des ressources et de planification urbaine, notamment en ce qui concerne les risques d'inondation et la nécessité d'une infrastructure adéquate pour soutenir la population croissante.

2.5 Activités économiques

➤ Agriculture

Le CENEAPED (Centre National d'Etudes et d'Analyses pour la Population et le Développement) a déclaré que le potentiel en sol agricole est estimé à environ 69388,52 ha, dont 61799,79 ha sont considérés comme surface agricole utile (SAU). L'agriculture est pratiquée sur trois principales zones agro-climatiques. D'abord, le Sahel qui couvre l'intégralité de la SAU du littoral où l'activité principale est le maraîchage. Ensuite, la plaine de la Mitidja qui est destinée à devenir le centre d'une agriculture intensive, surtout en ce qui concerne les agrumes, l'arboriculture fruitière, les pommes de terre, les fourrages et les céréales. Enfin, on retrouve la montagne qui se prête particulièrement bien à l'arboriculture rustique ainsi qu'à l'élevage local des bovins et des caprins.

➤ Pêche et Aquaculture

D'après la carte territoriale des opportunités d'investissements dans les communes de la Wilaya, Tipaza représente une zone cruciale pour les ressources halieutiques, possédant 123 km de côtes maritimes et cinq ports de pêche (Khemisti, BouHaroun, Tipasa, Cherchell et Gouraya). La zone propose aussi des perspectives pour l'expansion de l'aquaculture intensive, de la culture des mollusques et des installations de transformation des produits marins.

➤ Tourisme

Les données du CENEAPED confirment que le secteur touristique de Tipaza est très développé, attirant des millions de visiteurs chaque année grâce à son riche patrimoine historique et culturel. La wilaya abrite plusieurs sites classés au patrimoine mondial de l'UNESCO, tels que les ruines romaines de Tipasa et le mausolée royal de Maurétanie. Avec près de **123 km de côtes** et **59**

⁷ https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=1919&wilaya=42

plages, dont 43 ouvertes à la baignade, la région offre d'excellentes opportunités pour le tourisme balnéaire. En 2019, Tipaza a enregistré plus de 6 millions de visiteurs durant la saison estivale.

➤ Industrie

Selon l'étude du CENEAPED au niveau de la wilaya de Tipaza, l'activité industrielle est principalement exercée au niveau de douze zones d'activités qui totalisent une superficie de 138,47 ha. Cette activité est caractérisée par une coexistence entre le secteur public (**Tableau 1**) et le secteur privé (**Tableau 2**).

• Secteur public

Tableau 1: Répartition des industries par localisation (2019). Source : (INTERIEUR GAOV, 2021)

Dénomination	Localisation	Activité	Effectifs Employé	Unité	Capacité installée	Production 2018
SAIDAL EPE SPA Filial BIOTIC	Cherchell	Production des médicaments	85	Sirops Sachets	02 lignes de production	2125428 unités
EPE TONIC industrie SPA	Zone d'activités Bou Ismail	Production, transformation, commercialisation de papier et carton	2916	Tonnes	220000	70000
ECOREP CCNBH SPA	Bouharoun	Construction et réparation navale	115	Bateaux	100	63
ONCV (unité)	Bourkika	Traitement, Conditionnement. Commercialisation vitivinicoles	223	Bouteilles	4191000 hectolitres	4161000 Bouteilles

• Secteur privé

Tableau 2 : Répartition du nombre d'unités par branches d'activité (INTERIEUR GAOV, 2021)

Branches d'activités	Nombre d'unités	Effectif employé
Matériaux de construction	579	3325
Chimie-caoutchoucs-plastique	64	682
Textile	235	553
Agro-Alimentaire	942	3317

2.6 Réseau hydrographique

La wilaya de Tipaza, située au nord du Tell central en Algérie, possède un réseau hydrographique notable avec plusieurs caractéristiques distinctives. Elle comprend plusieurs barrages et oueds importants (**Figure 12**).

- Principaux oueds :

- **Oued Mazafran** : c'est un oued côtier méditerranéen situé à environ 30 km à l'ouest d'Alger, faisant partie de la plaine de la Mitidja.

- **Oued El Hachem** : il est proche de la localité de Neurkache ainsi que de la ville de Cherchell, qui se situe à environ 5 km à l'ouest.
 - **Oued Djer** : il se trouve près du village d'Attatba et de la localité de Clos Bakir.
 - **Oued Damous** : il traverse la ville éponyme de Damous, qui est à environ 70 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya (Tipaza), et à environ 50 km à l'ouest de Cherchell.
 - **Oued Nador** : c'est un oued secondaire dont l'embouchure se situe à l'ouest de la baie de Bousmail.
- **Principaux Barrages** :
- **Barrage de Boukourdane** : Situé dans la partie sud de la wilaya, il est utilisé pour l'irrigation et la fourniture d'eau potable.
 - **Barrage de Kef Eddir** : Situé à l'extrême-ouest de Tipaza, près de Damous.
 - **Barrage de Taourira** : Peu d'informations spécifiques disponibles sur ce barrage. Il est situé sur l'oued Messelmoun.

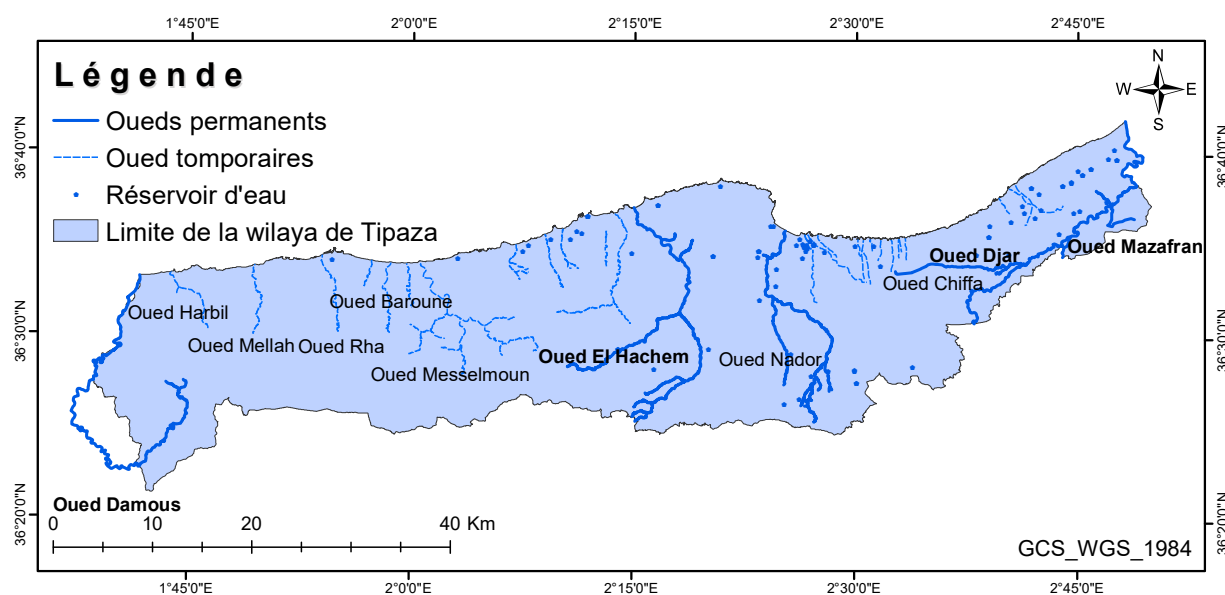


Figure 12: Carte des principaux réseaux hydrographiques de la wilaya de Tipaza (Site web : Hydrosheds⁸ et data.gov.fr⁹)

2.7 Climatologie

Un téléchargement des données journalières de températures (°C) et précipitations (mm/an) a été fait sur le site de la NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources)¹⁰ sur plus de 40

⁸ <https://www.hydrosheds.org/products/hydrorivers>

⁹ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/osm2igeo-algerie-2/>

¹⁰ Lien de NASA POWER : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

ans (de 1981 à 2024) dans trois stations de la wilaya de Tipaza : à l'est, au centre et à l'ouest de la Wilaya. Ce produit est basé sur des données satellites, couplées avec des modèles.

2.7.1 Température

La **Figure 13** montre que Tipaza possède généralement un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs, et des hivers frais et pluvieux. Les températures varient considérablement entre les saisons, ce qui est typique de cette région. Les températures sont les plus élevées en juillet et août, atteignant environ 30°C. Les températures maximales commencent à augmenter à partir d'avril et diminuent à partir de septembre. Les températures minimales sont les plus basses en janvier et février (environ 7-8°C) et atteignent leur maximum en juillet et août (environ 21-22°C).

La **Figure 14** met en évidence une tendance générale à la hausse des températures annuelles moyennes à Tipaza sur les 40 dernières années. Durant les deux premières décennies, les températures oscillent entre 17°C et 18,5°C, avec une variabilité interannuelle marquée. À partir des années 2000, la courbe montre une légère augmentation, mais c'est surtout après 2015 que la hausse devient plus prononcée : les températures dépassent régulièrement les 18,5°C, atteignant et dépassant 19°C sur les années les plus récentes. Cette évolution traduit un réchauffement climatique local, en cohérence avec les tendances observées à l'échelle régionale et mondiale¹¹. De plus, cette élévation des températures assèche la végétation et les sols, rendant les forêts plus vulnérables aux incendies, particulièrement lors des années de faibles précipitations ou de mauvaise répartition des pluies (GIL and DIEULIN, 2009).

2.7.2 Précipitations

Les précipitations mensuelles moyennes sont les plus élevées en novembre et décembre et les plus faibles en juillet et août. Les mois de mai à septembre sont généralement secs (**Figure 13**). Le climat de Tipaza, tel que révélé par ce graphique, est typiquement méditerranéen, avec des étés chauds et secs de juin à septembre, où les températures sont élevées et les précipitations minimales. En contraste, la saison de novembre à février se distingue par un temps frais et humide, avec des températures plus basses et une pluviométrie accrue. Les mois d'avril, mai, octobre et novembre représentent des périodes de transition entre ces deux extrêmes, offrant des températures modérées et des précipitations plus variables.

¹¹ https://www.meteoblue.com/fr/climate-change/tipaza_alg%c3%a9rie_2476028

La **Figure 15** montre une forte variabilité interannuelle, avec des années exceptionnellement humides (comme en 1982, 2008 et 2018) où les cumuls annuels dépassent 800 mm. Ces épisodes de fortes pluies augmentent le risque d'inondations, car des précipitations intenses sur de courtes périodes peuvent saturer les sols et provoquer des crues soudaines des cours d'eau (BOLAKONGA et OZER, 2007). Des années nettement plus sèches sont aussi observées, parfois sous les 300 mm/an (comme 1990, 2000, 2017, 2021 et 2023). Les trois stations présentent des variations synchronisées, bien que le Centre et l'Est enregistrent généralement des précipitations légèrement supérieures à celles de l'Ouest, ce qui peut être lié à leur exposition plus directe aux masses d'air humides méditerranéennes et aux influences atmosphériques régionales^{12 13 14}.

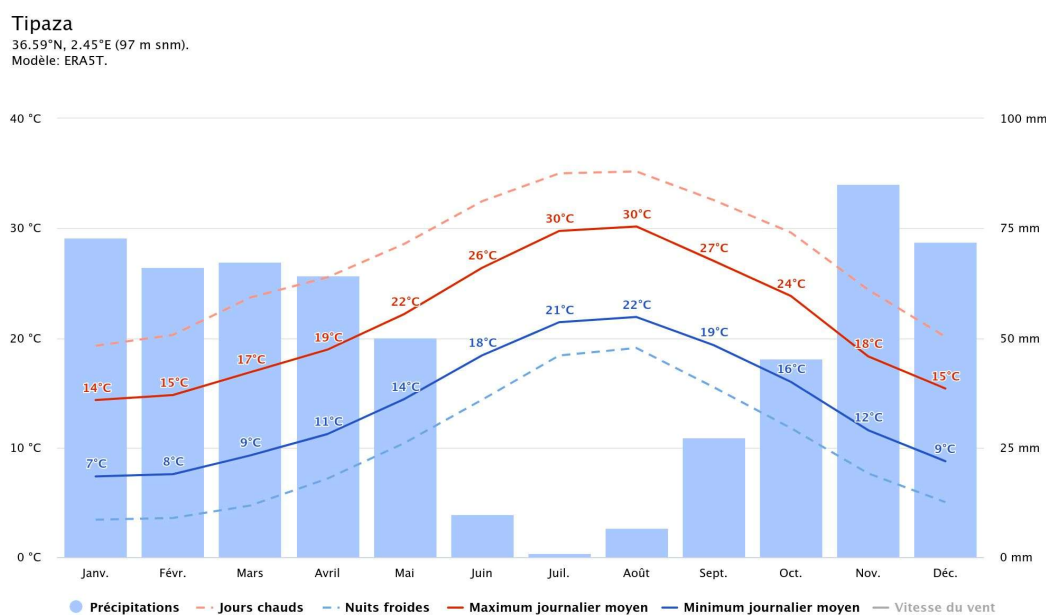


Figure 13: Moyennes mensuelles des données météorologiques sur les derniers 30 ans pour la wilaya de Tipaza (Source : site web meteoblue ¹⁵)

¹² https://onm-blog.meteo.dz/wp-content/uploads/2024/08/REVUE_JAMA_ONM_Vol_3.pdf

¹³ <https://www.ons.dz/IMG/pdf/Climatologie.pdf>

¹⁴ https://onm-blog.meteo.dz/wp-content/uploads/2025/01/REVUE_JAMA_ONM_Vol_8.pdf

¹⁵ https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/tipaza_alg%c3%a9rie_2476028

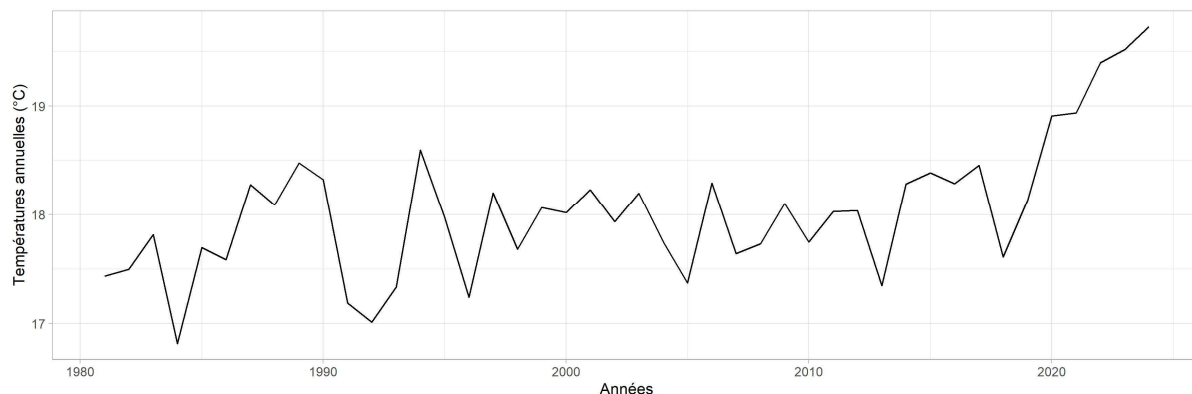


Figure 14 : Evolution des températures annuelles moyennes à Tipaza entre 1981 et 2024 (Source des données : site web NASA POWER¹⁶)

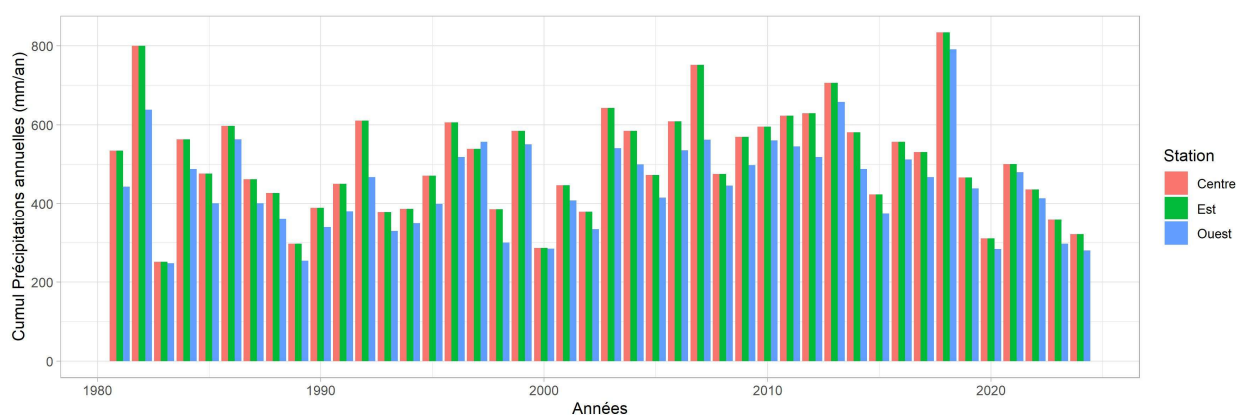


Figure 15 : Evolution du cumul annuel des précipitations (en mm/an) dans la wilaya de Tipaza pour trois stations (Centre, Est, Ouest) sur une période de plus de 40 ans (1981-2024) (Source des données : site web NASA POWER)

2.7.3 Vents

La zone littorale est exposée aux vents marins salés. Les vents dominants soufflent du Nord Est et du Nord-Ouest avec une vitesse moyenne de l'ordre de 2,5 à 3 m/s avec une sécheresse estivale prolongée (BELLOUT et FOUDIH, 2015). Les vents constituent un élément favorisant la propagation des feux forêts.

2.8 Patrimoine forestier

Le domaine forestier national de la wilaya de Tipaza couvre une superficie de 40 315 hectares, représentant environ 24 % de la superficie totale. Les communes avec les plus grandes superficies forestières incluent Merad (5 509 ha), Menaceur (5 917 ha), Messelmoune (4 610 ha), Cherchell (2 925 ha), Tipasa (2 417 ha), Sidi Simiane (1 820 ha), Beni Mileuk (1 822 ha), Damous (1 971

¹⁶ Lien de NASA POWER : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

ha), Gouraya (1 643 ha), Aghbal (1 505 ha), Attatba (1 275 ha) et Hadjret Ennous (1 295 ha). Le pin d'Alep est l'essence dominante, occupant 56 % de la superficie forestière totale, soit 22 452 hectares. Le chêne vert et les maquis/broussailles occupent respectivement 17 % chacun, avec des superficies de 6 857 ha et 6 870 ha. Les forêts récréatives sont peu développées par rapport aux superficies forestières existantes, surtout dans la région ouest de la wilaya, où se trouvent environ 70 % des forêts (**Annexe 5**).

2.9 Aires Protégées

Tipaza abrite des aires protégées à la fois naturelles et culturelles, avec un accent sur la conservation du patrimoine archéologique et la protection des écosystèmes côtiers et forestiers.

- **Aires Protégées Naturelles**

Mont Chenoua et Kouali : Ces régions ont été déclarées zones protégées par voie de décret. Même si le Mont Chenoua n'est pas officiellement reconnu comme parc naturel, des recherches sont en cours pour envisager cette reconnaissance.

Zone Marine Protégée du Chenoua : Cette région est classée comme zone marine protégée dans le contexte du Programme d'Aménagement Côtier (PAC), en mettant l'accent sur la préservation écologique.

Forêts de Loisirs : Dans la wilaya, nous avons identifié onze forêts de loisirs, dont plusieurs servent de parcs d'attractions. Bien qu'elles ne soient pas officiellement désignées comme zones protégées, elles s'inscrivent dans les initiatives de gestion écologique.

- **Aires Protégées Culturelles**

Site Archéologique de Tipaza : Ce site est classé au patrimoine mondial d'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (**l'UNESCO**) et comprend des vestiges phéniciens, romains, paléochrétiens et byzantins. Il dispose de stratégies de gestion et de préservation afin de maintenir son intégrité culturelle.

Matériels et Méthodes

3 Chapitre III : Matériels et Méthodes

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les risques naturels dans la wilaya de Tipaza et leur évolution dans le temps. L'approche méthodologique adoptée dans ce chapitre s'appuie sur une étude de la vulnérabilité du terrain de la wilaya via une analyse multicritère en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process). Cette approche utilise des systèmes d'informations géographiques pour superposer et analyser les données spatiales de différents paramètres (topographie, densité de drainage, occupation du sol...), permettant de visualiser la vulnérabilité de la zone sur une carte.

3.1 Logiciels utilisés

Le travail effectué dans ce mémoire a été réalisé en utilisant les logiciels suivants :

- **ArcGIS 10.4** : est un logiciel de systèmes d'informations géographiques (SIG) développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute), conçu pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données géospatiales.
- **SNAP (Sentinel Application Platform)** : est un logiciel de traitement et d'analyse d'images satellites. Il permet d'utiliser des données d'observation de la Terre provenant des missions Sentinel de l'Agence spatiale européenne (ESA).
- **ENVI 5.3 (The ENvironment for Visualizing Images)** : Développé par la société américaine Harris Geospatial, ce logiciel offre un environnement complet pour la visualisation et le traitement des images satellites, des photographies aériennes ainsi que d'autres types de données géospatiales.

3.2 Données récoltées

Les données historiques relatives aux inondations et aux feux de forêt utilisées dans cette étude ont été fournies par la Direction Générale des Forêts (DGF) et la Délégation Nationale des Risques Majeurs (DNRM). Ces organismes officiels assurent la collecte, le suivi et la mise à disposition d'informations fiables et actualisées, indispensables à l'évaluation de ces risques naturels dans la région de Tipaza.

3.3 Etude du réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza

Le réseau hydrographique aide à identifier les voies naturelles par lesquelles l'eau s'écoule, ce qui est crucial pour prédire où les inondations pourraient survenir, En analysant les bassins versants

et les cours d'eau, on peut localiser les zones qui sont les plus susceptibles d'être inondées, en fonction de la topographie et des caractéristiques du terrain.

L'hydrographie de la wilaya de Tipaza joue un rôle crucial dans la vulnérabilité de la région aux inondations. Cette section vise à cartographier les bassins versants des principaux oueds qui traversent la wilaya, notamment l'oued Mazafran, l'oued Nador, l'oued El Hachem, l'oued Damous, tout en présentant certaines de leurs caractéristiques physiques.

3.3.1 Présentation des données utilisés

Dans ce travail, trois MNT (Modèle Numérique de Terrain) à une résolution spatiale de 30 mètres étaient nécessaires pour couvrir toute la zone d'étude. Basés sur les données de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), ces rasters ont été utilisés pour extraire le réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza. Les MNT ont été téléchargés depuis le site de l'United States Geological Survey (USGS)¹⁷. Une étape de mosaïquage a été effectuée pour assembler les trois MNT en un seul. Cette étape a été effectuée sur le logiciel ArcGIS comme suit :

ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To new Raster

3.3.2 Etapes de travail

La reconstruction du réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza et de ses divers bassins versants a nécessité plusieurs étapes (**Figure 16**).

¹⁷ <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Figure 16: Schématisation des étapes de travail pour l'extraction du réseau hydrographique

Les indices morphométriques permettent de comparer les caractéristiques morphologiques de différents bassins versants, ce qui est utile pour l'analyse des processus hydrologiques, comme l'écoulement des eaux et la gestion des inondations. Dans cette étude, les paramètres suivants ont été calculés : la superficie, le périmètre et la largeur des bassins versants, la longueur du cours d'eau principal, l'indice de Horton et l'indice de Gravelius.

- ✓ **Calcul de la largeur moyenne des bassins versants :**

$$\text{Largeur moyenne (m)} = \frac{\text{Superficie du bassin versant}}{\text{Longueur du cours d'eau principal}} \dots (1)$$

- ✓ **Calcul de l'indice de Horton :** L'indice de Horton, également connu sous le nom d'indice de forme de Horton, est un paramètre morphométrique utilisé pour décrire la forme d'un bassin versant. Il est exprimé par :

$$K_H = \frac{A}{L^2} \dots (2)$$

- A : est la surface du bassin versant en km²,
- L : est la longueur du cours d'eau principal en km.

Cet indice est sans dimension et permet de caractériser la forme du bassin :

- $K_H < 1$: Bassin de forme allongée.
 - $K_H > 1$: Bassin de forme ramassée.
- ✓ **Calcul de l'indice de Gravelius** : L'indice de Gravelius, également appelé coefficient de compacité, est un paramètre morphométrique utilisé pour caractériser la forme d'un bassin versant. Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre d'un cercle ayant la même surface que le bassin. Mathématiquement, il est exprimé par :

$$K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots (3)$$

- P : est le périmètre du bassin versant.
- A : est la surface du bassin versant.

Cet indice permet de déterminer si un bassin est ramassé ou allongé :

- **KG proche de 1** : Bassin de forme circulaire ou ramassée.
- **KG supérieur à 1** : Bassin de forme allongée. Les valeurs typiques pour un bassin allongé se situent entre 1,5 et 1,8.

3.4 Paramètres de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza

Pour cartographier les niveaux de vulnérabilité aux inondations dans la wilaya de Tipaza, plusieurs cartes thématiques ont été créées. En effet, la wilaya de Tipaza a été analysée sous neuf aspects différents, représentés de manière schématique dans la **Figure 17**.

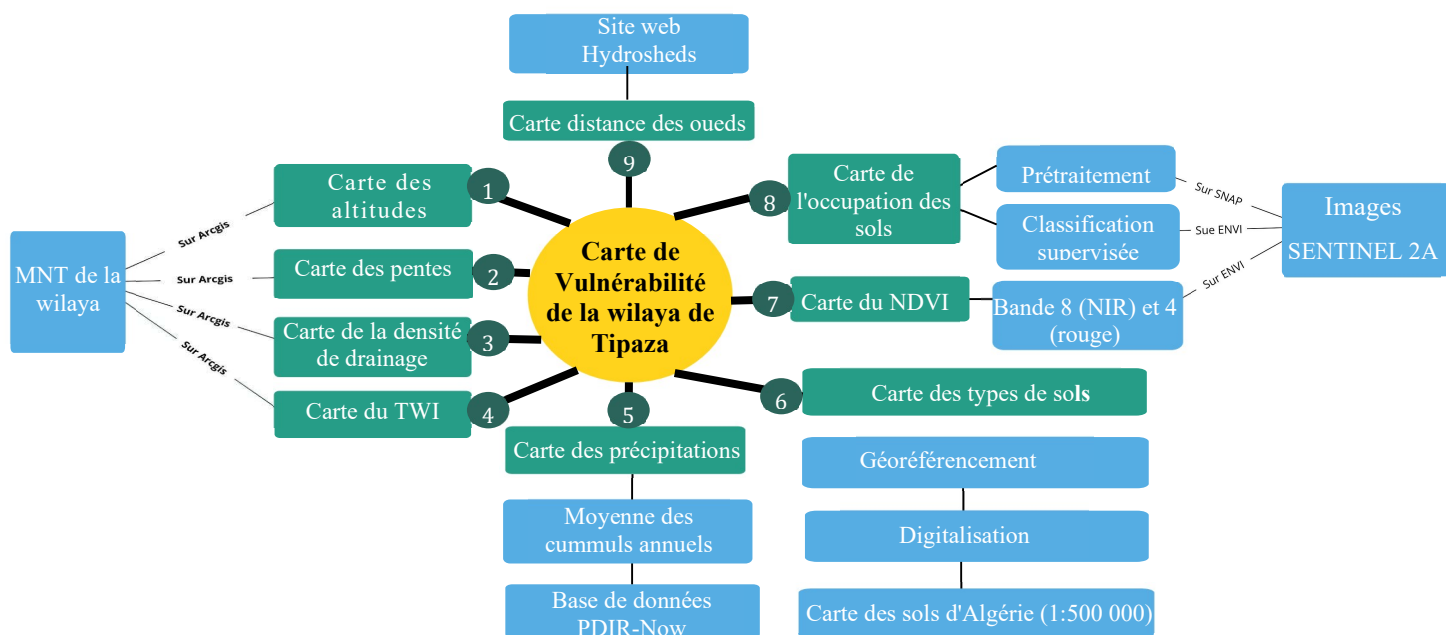


Figure 17: Organigramme de réalisation de la carte de vulnérabilité de Tipaza aux inondations

3.4.1 Carte de distribution des altitudes

Elle permet de visualiser et de comprendre la topographie d'une région, en montrant les zones de haute altitude et celles de basse altitude. Cela est crucial pour étudier le réseau hydrographique et comprendre la manière dont l'eau s'écoule dans une région, ce qui est vital pour la gestion des eaux et la prévention des inondations.

Pour créer cette carte, le MNT préparé précédemment a été utilisé pour classifier l'image en cinq classes. Cette classification a été effectuée en utilisant dans **ArcToolbox**, les **outils de spatial analyst** dans ArcGIS, spécifiquement via la commande "**reclassify**" dans le menu "**reclass**". Ensuite, une symbologie appropriée a été appliquée pour représenter les résultats sur une carte.

3.4.2 Carte des pentes

La carte des pentes présente plusieurs intérêts dans l'étude des risques d'inondations, En analysant les pentes, on peut identifier les zones où l'eau a tendance à s'accumuler ou à s'écouler rapidement. Cela aide à localiser les zones potentiellement inondables et à évaluer leur vulnérabilité.

Les pentes de la wilaya de Tipaza ont été cartographiées en utilisant le MNT préparé précédemment. Ce processus a commencé par l'extraction de notre zone d'étude (la wilaya de Tipaza), suivi d'un traitement géospatial pour calculer l'inclinaison du terrain, cela se fait avec les étapes suivantes :

- *ArcToolbox > spatial analyst tools > extraction > extraction by mask.*

- *ArcToolbox > spatial analyst tools > surface > slope.*

3.4.3 Carte de densité de drainage

Cette carte qui aide à visualiser et à analyser la densité du réseau hydrographique dans un bassin versant, est définie comme le rapport entre la longueur totale des cours d'eau et la surface du bassin versant, exprimée en km/km². Elle est utilisée pour caractériser le développement du réseau hydrographique d'un bassin versant et est influencé par des facteurs tels que la géologie, la topographie et le climat. La densité de drainage est calculée par l'expression suivante :

$$D_d = \frac{R}{A} \dots (4)$$

Où :

D_d : densité de drainage en (km/km²)

R : longueur du réseau hydrographique en km

A : superficie du bassin versant en km²

La carte de densité de drainage a été créée en utilisant le shapefile du réseau hydrographique, créée précédemment, comme suit :

- *ArcToolbox > Spatial analyst tools > density > line density*

3.4.4 Carte de l'indice d'humidité topographique (Topographic Wetness Index, TWI)

Selon le centre d'enseignement et de recherche en foresterie (CERFO), l'indice d'humidité topographique, ou Topographic Wetness Index (TWI), est une donnée matricielle (raster) qui illustre l'effet de la topographie sur l'écoulement de l'eau. Chaque pixel stocke une valeur relative variant généralement de 0 à 18, qui exprime le potentiel d'accumulation d'eau à ce point donné. Cet outil d'aide à la décision permet de localiser les zones où les enjeux de drainage, qui sont souvent à l'origine de ce qui est communément appelé « fonds mous » ou zones à capacité portante faible, sont les plus probables¹⁸. Mathématiquement, le TWI est exprimé par :

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b} \dots (5)$$

où :

- a : est la zone de contribution en amont (en m²).

¹⁸ https://operationlidar.ca/wp-content/uploads/2023/02/Fiche_produit_TWI.pdf

- b : est la pente en radians.

A partir des zones d'accumulation d'eau préparées précédemment, la carte de densité de drainage a été créée comme suit :

- Calcul de la pente en degré : *ArcToolbox > spatial analyst tools > surface > slope.*
- Calcul les radians de la pente : *ArcToolbox > spatial analyst tools > map algebra > raster calculator > (pente en degré*1,570796 / la taille de la cellule du MNT).*
- Calcul de la tangente de la pente :
Raster calculator > con (radian de la pente >0, Tan (pente), 0,001).
- Détermination de l'accumulation du flux échelonné :
*raster calculator > (Flow accumulation + 1) * taille de la cellule.*
- Calcul du TWI :
raster calculator > (Ln (flow accumulation mise à l'échelle / tangente de la pente)).

3.4.5 Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza

L'étude de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza a été effectuée en utilisant la technique de la classification supervisée¹⁹. Cette technique permet un résultat rapide et généralement assez efficace pour se rendre compte des changements de l'occupation du sol. Dans ce mémoire l'algorithme utilisé est le Maximum likelihood. Une validation des résultats a été réalisée par une matrice de confusion en les confrontant à la réalité terrain (image de Google Earth Pro de très haute résolution spatiale). Un pourcentage d'exactitude de 70 % a été obtenu.

3.4.5.1 Présentation des images utilisées

La classification a été réalisée sur quatre images du satellite Sentinel 2 (10 m de résolution spatiale) de niveau 2 des années 2017 et 2024. Les images ont été téléchargées à partir du site Copernicus Open Access Hub. Les caractéristiques des images sont synthétisées dans le **Tableau 3**.

¹⁹ Elle se base sur l'information radiométrique d'une ou plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement (HADJADJI et MEROUANE, 2022). La méthode consiste à choisir différents échantillons d'entraînements représentatifs des classes auxquelles on veut les affecter. Un algorithme classificateur est ensuite appliqué. Ce dernier, selon certaines règles statistiques, va attribuer chaque pixel de l'image à une classe définie.

Tableau 3: Caractéristiques des images utilisées

Satellite	SENTINEL 2 A et B			
Agence spatiale	ESA (European Space Agency)			
Capteur	MSI (Multi Spectral Instrument)			
Images	Image 2017 (Coté est)	Image 2017 (Côté ouest)	Image 2024 (Coté est)	Image 2024 (Côté ouest)
Date et heure d'acquisition	13/04/2017 À 10h 50min	13/04/2017 À 10h 50min	16/04/2024 À 10h 50min	21/05/2024 À 10h 50min
Niveau de traitement	Level 2A (image avec correction atmosphérique)			
Résolution spatiale	10 m (Taille du pixel de l'image)			
Résolution spectrale	13 bandes spectrales			
Bandes spectrales et leurs résolutions spatiales respectives	Bande 1 : Aérosol côtier (443 nm) 60 m Bande 2 : Visible (bleu : 490 nm) 10 m Bande 3 : Visible (vert : 560 nm) 10 m Bande 4 : Visible (rouge : 665 nm) 10 m Bande 5: NIR (Near InfraRed: 705 nm) 20 m Bande 6: NIR (Near InfraRed: 740 nm) 20 m Bande 7: NIR (Near InfraRed: 783 nm) 20 m Bande 8: NIR (Near InfraRed: 842 nm) 10 m Bande 8A: NIR étroit (Near InfraRed narrow: 865 nm) 20 m Bande 9: Water vapor (vapeur d'eau: 945 nm) 60 m Bande 11: SWIR (Short Wave InfraRed: 1610 nm) 20 m Bande 12: SWIR (Short Wave InfraRed: 2190 nm) 20 m			

3.4.5.2 Etapes de travail

Quelques prétraitements ont été nécessaires aux images SENTINEL 2 afin de les préparer à l'étude de l'occupation du sol.

Sur le logiciel SNAP :

➤ Ouverture des images :

- *File > import > optical sensors > Sentinel-2 > S2-MSI L2A*

- Rééchantillonnage (resampling) : cette étape vise à mettre toutes les bandes spectrales nécessaires à notre étude à une même résolution spatiale de 10 m.
 - *Raster > geometric operations > resampling > resampling parameters > by pixel resolution: 10 m.*
- Subset : un découpage grossier de la zone d'intérêt a été réalisé par la suite afin de réduire la taille des deux images considérées et d'optimiser le temps de traitement des images.
 - *Raster > subset*
- Mosaïckage : Après le ré-échantillonnage et le subset des deux images (partie Est et Ouest), un mosaïckage a été nécessaire afin d'avoir une seule image sur laquelle la classification supervisée sera réalisée.
 - *Raster > geometric > mosaicking*

Sur le logiciel ENVI :

- Découpage de l'image : Afin d'extraire seulement la zone l'étude, l'image résultante a été découpée selon un vecteur correspondant aux Shape file de la wilaya de Tipaza fourni par l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection).
 - *Toolbox > regions of interest > subset data from ROIs*
- Classification supervisée : La classification s'est faite sur cinq classes : urbanisation, végétation, terres agricoles, sols nus et eau.
 - *Région of interest (ROI) Tool > New ROI*
 - *Toolbox > classification > Supervised classification > Maximum likelihood classification*

Un calcul des superficies et pourcentages de chaque classe a été effectués par la suite sur le logiciel ArcGIS.

3.4.6 Carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

Le NDVI est un indice spectral qui mesure la quantité et la vigueur de la végétation à la surface du sol en mesurant la différence entre le proche infrarouge (que la végétation reflète fortement) et la lumière rouge (que la végétation absorbe). Il est calculé par la formule suivante (ROUSE et al., 1974) :

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots (6)$$

Où « NIR » et « Red » sont les valeurs de réflectance dans les longueurs d'onde rouge et infra-rouge, respectivement.

L'indice de végétation NDVI est compris entre des valeurs de -1 à +1, où les surfaces d'eau libre ont des valeurs proches de 0, les sols nus ont des valeurs autour de 0,1 à 0,2, tandis qu'une végétation dense présente des valeurs élevées, généralement entre 0,5 et 0,8. Cet indice revêt une importance particulière dans notre étude, car la végétation joue un rôle clé dans la lutte contre le ruissellement : elle favorise l'infiltration de l'eau dans le sol, retient les excès d'eau et contribue ainsi à limiter les dégâts liés aux inondations.

Pour réaliser la carte du NDVI, les images satellitaires Sentinel 2 de 10 m de résolution spatiale (niveau 2) de l'année 2017 et 2024 ont été utilisées. Sur ces deux images, le NIR (proche infrarouge) correspond à la bande spectrale n°8 et le RED (rouge) correspond à la bande 4 :

- Sur ENVI, accéder à Band Math : un outil qui permet d'opérer des calculs mathématiques sur les bandes spectrales :
 - ***Toolbox > Band Algebra > Band Math***
- Entrer l'expression mathématique du NDVI :
 - ***Enter an expression > Taper la formule du NDVI***

3.4.7 Carte des types de sol

La carte des types de sol joue un rôle essentiel dans l'étude de la vulnérabilité aux inondations, car la nature du sol influence directement la capacité d'infiltration de l'eau et le ruissellement de surface et de ce fait la perméabilité du sol face aux inondations.

À cet effet, la carte des sols d'Algérie « feuille Orléansville » à l'échelle 1:500.000, dressée et publiée par le Service Géographique de l'Armée en 1938 et complétée en 1949, constitue une ressource précieuse pour cette étude en permettant d'identifier la distribution des différents types de sols de la wilaya de Tipaza.

La carte a été réalisée via les étapes suivantes :

- Un géoréférencement de la carte a été réalisé avec le logiciel ArcMap
- L'image a été découpée en fonction du vecteur délimitant la wilaya de Tipaza : ***Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask***
- Par la suite, la digitalisation des types de sol a été réalisée à l'aide d'un vecteur de type polygone.

3.4.8 Carte de distance des oueds

La distance aux oueds constitue un critère important car elle permet d'évaluer la proximité des zones habitées ou sensibles par rapport aux cours d'eau, qu'ils soient temporaires ou permanents. Plus une zone se trouve proche d'un oued, plus son exposition au risque d'inondation est élevée, ce qui accroît sa vulnérabilité.

La réalisation de la carte de distance des oueds repose sur :

- Collecte des données géographiques : Le vecteur des oueds de la zone d'intérêt a été téléchargé à partir du site web Hydrosheds²⁰, en cliquant sur :
 - *Products > HydroRIVERS > Data Download > choisir Africa > Download.*
- Calcul des distances sur le logiciel ArcGIS :
 - *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Distance.*

3.4.9 Carte des précipitations

La carte des précipitations est un outil clé dans l'étude de la vulnérabilité aux inondations, car elle renseigne sur le principal facteur déclencheur des crues et des inondations : les pluies.

La carte des précipitations a été réalisée en téléchargeant les cumuls de précipitations annuels de la base de données *PDIR-Now (PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate)* sur une période de 22 ans (de 2001 à 2023). Il s'agit d'un produit de haute résolution spatiale (0,04°, soit 4 Km sur 4 Km) issu de mesures satellitaires et développé par le CHRS (Center for Hydrometeorology and Remote Sensing)²¹, de l'Université de Californie à Irvine (UCI).

La moyenne des totaux annuels de précipitation a été par la suite calculée via l'outil Band Maths du logiciel SNAP. Selon NGUYEN et al. (2020), ce produit est très avantageux pour la gestion des catastrophes naturelles et la prise de décision concernant les tempêtes violentes en raison de sa résolution spatiale élevée.

3.5 Cartographie de la vulnérabilité aux inondations à l'aide de l'analyse multicritères

L'analyse de la vulnérabilité aux inondations pour la wilaya de Tiapza s'est appuyée sur une méthodologie rigoureuse fondée sur le processus hiérarchique analytique (AHP), une méthode d'analyse multicritère développée à la Wharton School (Université de Pennsylvanie, Philadelphie,

²⁰ <https://www.hydrosheds.org/>

²¹ <https://chrsdata.eng.uci.edu/>

États-Unis). Cette méthode vise à mesurer des aspects qualitatifs et à produire des coefficients de pondération uniformes totalisant 100 % (SAATY, 1991), en comparant deux caractéristiques à la fois (SAATY, 1987). La carte de vulnérabilité aux inondations a été élaborée selon une démarche structurée (**Figure 17**). La première étape de l'analyse AHP a consisté à comparer les neuf paramètres, en utilisant l'échelle de SAATY (1991) présentée en **Annexe 6**. Ces comparaisons ont permis de construire une matrice carrée de jugements par paires. Ensuite, les valeurs propres ont été calculées pour chaque paramètre, ce qui a permis de hiérarchiser leur importance relative dans l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations (RAMOS et al., 2014).

Les paramètres pris en compte dans cette étude sont : l'altitude, la pente, la densité de drainage, l'indice topographique d'humidité (TWI), l'occupation du sol, le couvert végétal (NDVI), la nature des sols, la distance des oueds ainsi que les précipitations. Les résultats de la matrice de pondération sont présentés en **Annexe 6**.

La méthode a été largement utilisée pour cartographier les risques d'inondation dans divers contextes, comme pour la région d'Abidjan (KINAKPEFAN MICHEL et TRAORE, 2023) ; le travail de DAS en 2018 sur le bassin versant de Vaitarna en Inde ; l'évaluation du risque d'inondation dans les communes de Pobè et d'Adja-Ouèrè (AKINDELELE et TODOME, 2021).

La création de la carte de vulnérabilité avec ArcMap a impliqué une démarche structurée en plusieurs phases (**Figure 18**).

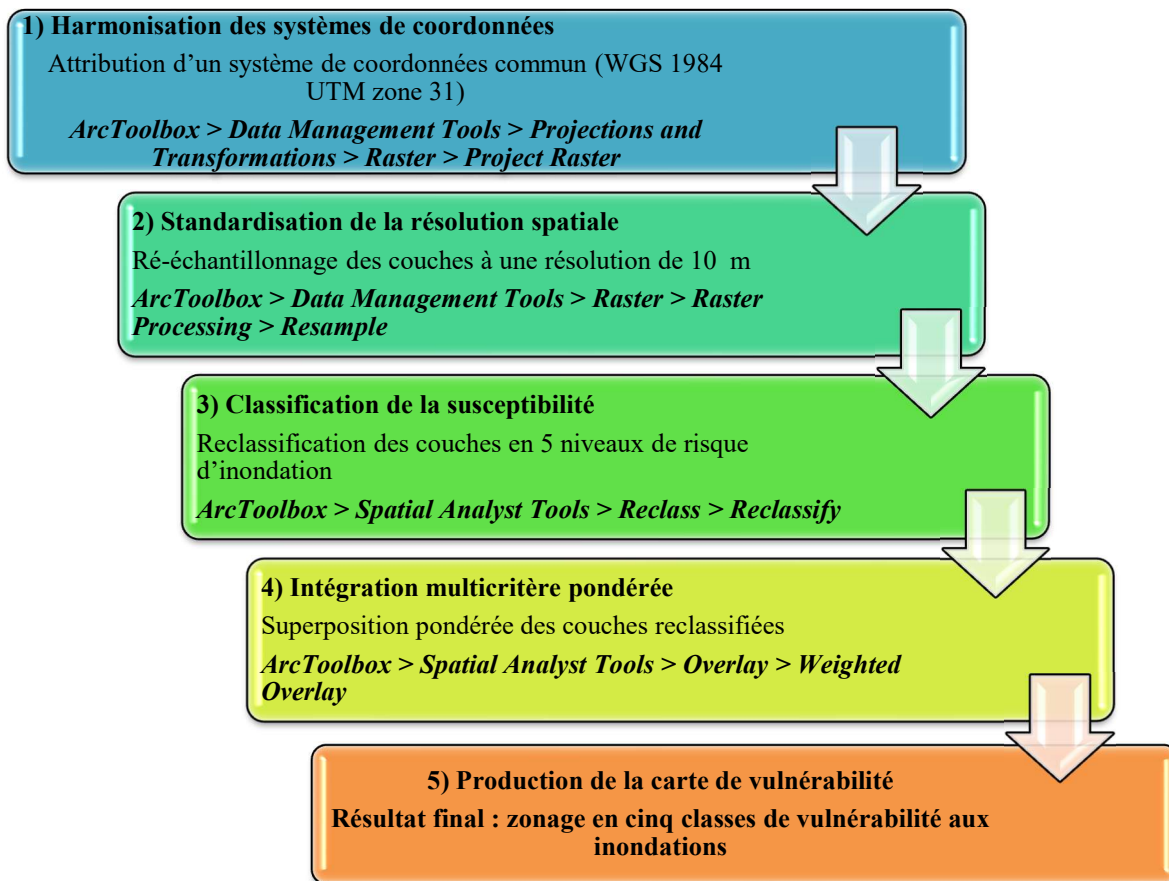


Figure 18: Schématisation des étapes de réalisation de la carte de vulnérabilité aux inondations à Tipaza sur le logiciel ArcGIS

Résultats et discussion

4 Chapitre IV : Résultats et discussion

Ce chapitre présente les résultats obtenus au cours de cette étude, accompagnés de leur analyse et interprétation.

4.1 Statistiques sur les risques majeurs abordés

4.1.1 Les inondations de la wilaya de Tipaza

Cette partie a pour but d'étudier la répartition spatiale et temporelle des inondations dans la wilaya de Tipaza. Elle vise à déterminer les zones les plus touchées par cette catastrophe naturelle et à analyser l'évolution de ce phénomène à travers les 45 dernières années.

4.1.1.1 Evolution temporelle des inondations

Selon la **Figure 19.a** qui illustre l'évolution du nombre d'inondations dans la wilaya de Tipaza entre 1974 et 2019, la période allant de 1974 à 1999 est marquée par une stabilité remarquable, avec un nombre d'inondations peu élevé, voire nul. On pourrait attribuer cette situation à des conditions météorologiques plutôt constantes, une faible urbanisation ou encore des installations de drainage aptes à gérer de manière efficace les eaux de pluie. A partir des années 2000, une hausse graduelle du nombre d'inondations est constatée. Plusieurs éléments pourraient expliquer cette évolution, notamment l'extension non maîtrisée des zones urbaines, la dégradation et/ou la mauvaise gestion des infrastructures de drainage, la déforestation ou encore l'impact des changements climatiques, qui se manifeste par une intensité plus importante des précipitations extrêmes avec plus d'inondations éclaires (KERAGHEL et GAOUAOU, 2024). La période 2010-2019 montre des fluctuations importantes avec un pic notable autour de 2017-2019, où le nombre d'inondations a atteint son maximum (plus de 20 événements). L'année qui a enregistré le plus d'inondations est l'année 2017 avec 21 inondations qui ont touché plusieurs communes de la wilaya de Tipaza causant 50 familles sinistrées et plusieurs dégâts considérables. Une légère diminution est constatée après le pic de 2017. Néanmoins, le niveau des inondations reste préoccupant par rapport aux décennies précédentes.

Le nombre d'inondations par date (**Figure 19.b**) montre un maximum le 24 janvier 2017 où 10 inondations ont été enregistrées le même jour dans plusieurs communes de Tipaza : Fouka, Bou Ismail, Ahmer El Ain, Bou Haroun.

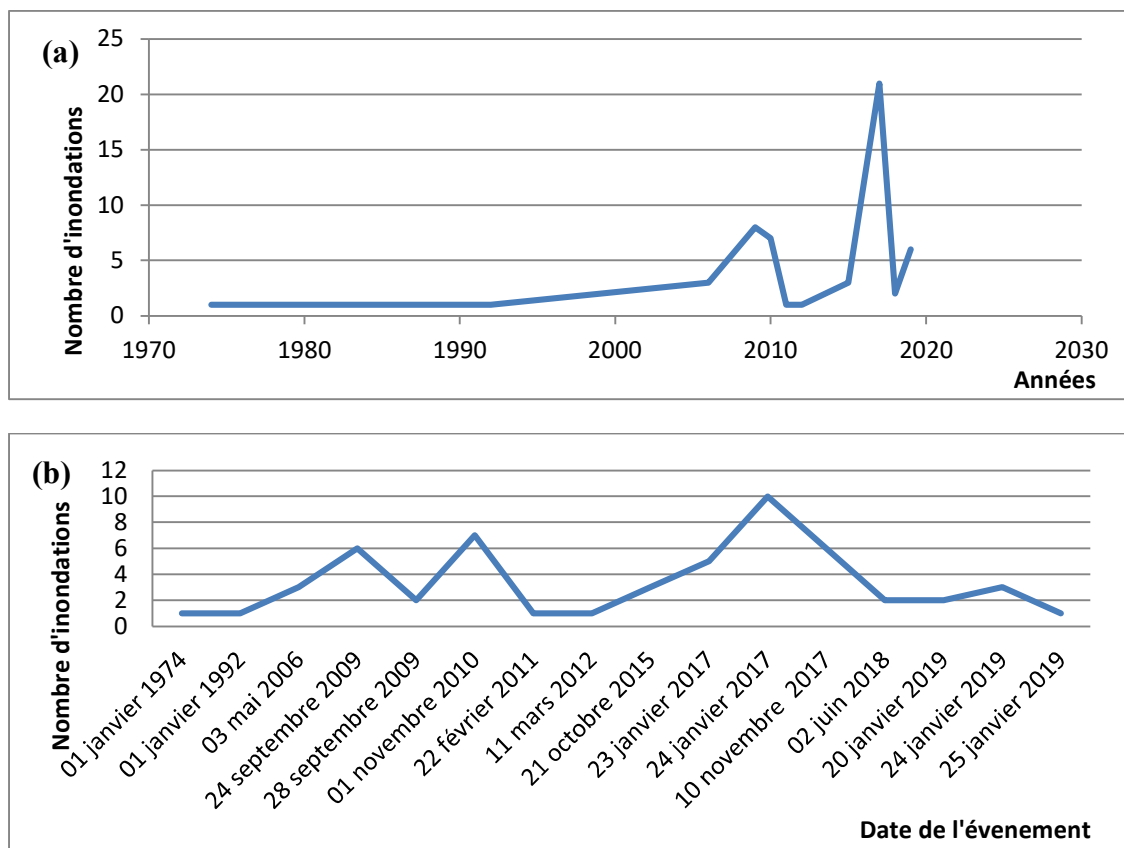


Figure 19: Evolution du Nombre d'inondations de la wilaya de Tipaza (1974-2019) : (a) par année, (b) par date

4.1.1.2 Distribution spatiale des inondations

Selon la **Figure 20.a** qui présente la répartition du nombre d'inondations enregistrées entre 1974 et 2019 dans les différentes communes de la wilaya de Tipaza, certaines communes sont plus vulnérables que d'autres face aux risques d'inondations. La commune de Koléa se distingue nettement avec le nombre le plus élevé d'inondations, atteignant 9 événements. On pourrait attribuer cette situation à des aspects topographiques peu favorables qui accroissent la vulnérabilité de la commune face aux inondations. Les communes de Bou Ismaïl et Cherrhell présentent également des chiffres relativement élevés, avec respectivement 6 et 7 inondations recensées. Étant localisées en bord de mer, ces municipalités peuvent être plus susceptibles aux dangers liés aux crues soudaines ou aux remontées d'eau. On remarque également que les communes les plus touchées par les inondations sont celles situées dans la partie est et nord-est de la wilaya, où les conditions géographiques ou hydrologiques semblent favoriser ces événements (**Figure 20.b**). Ces zones nécessitent une attention particulière afin d'améliorer les infrastructures de drainage et réduire la vulnérabilité aux inondations.

En revanche, certaines communes telles que Sidi Ghiles, Sidi Rached et Menaceur (1 évènement) notent un taux d'inondations extrêmement bas, voire inexistant. Cette faible fréquence d'inondations dans les communes situées à l'ouest et sud de la wilaya, pourrait être liée à des conditions géographiques plus favorables ou à une moindre densité de population.

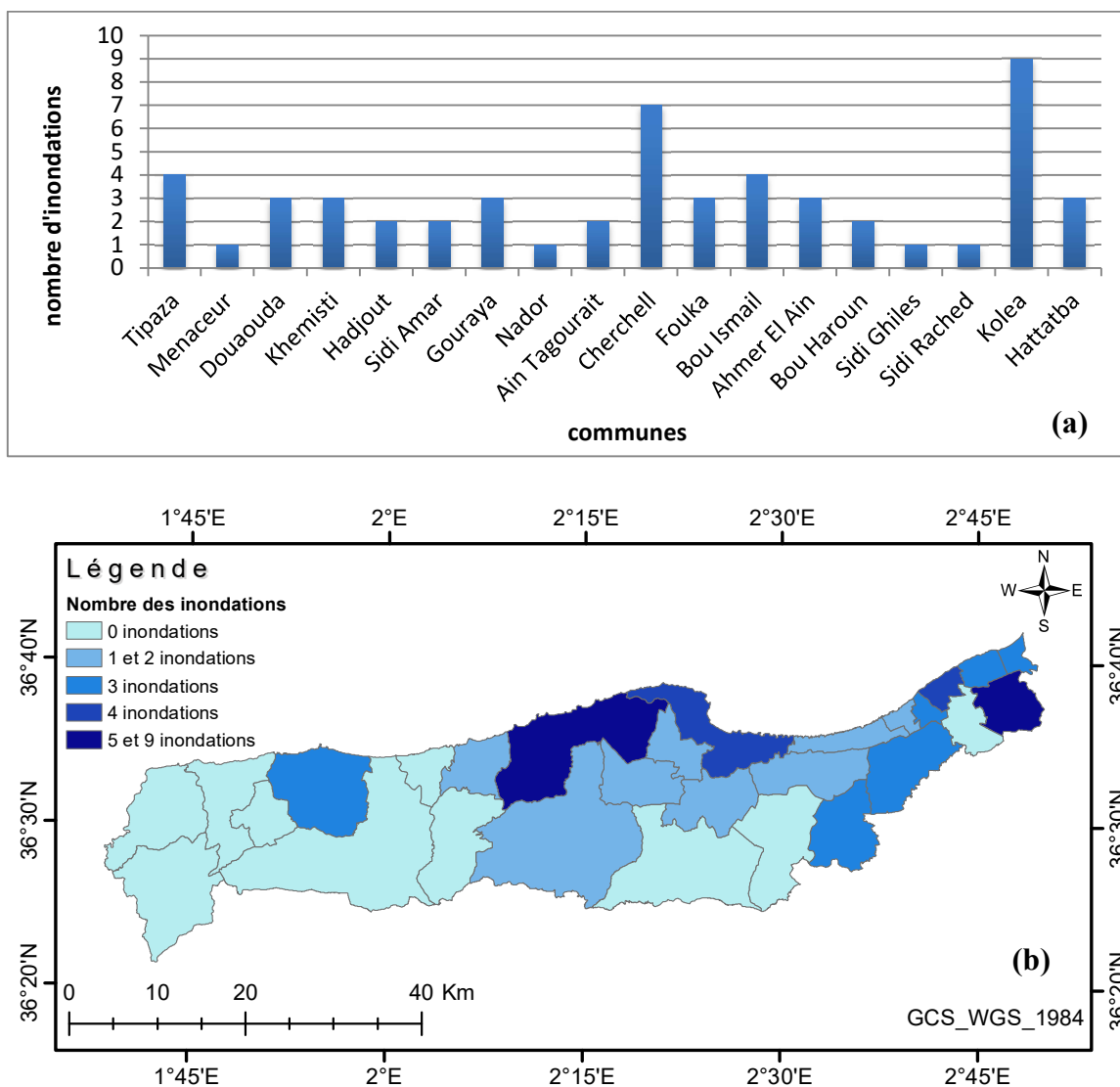


Figure 20: (a) Nombre d'inondations en fonction des communes de la wilaya de Tipaza (1974-2019). (b) Carte de distribution des inondations à Tipaza (1974-2019)

D'après la **Figure 21**, l'histogramme indique que les mois de janvier et de novembre ont enregistré le plus grand nombre d'inondations à Tipaza. Le mois de septembre a également été marqué par un nombre significatif d'inondations. Cette tendance suggère que l'automne et l'hiver correspondent à la période la plus propice aux inondations avec un pourcentage de 45% et 43%, respectivement. En effet, ces mois enregistrent les cumuls de précipitations mensuelles maximales (KERAGHEL and GAOUAOU, 2024) et correspondent à la saison de recharge.

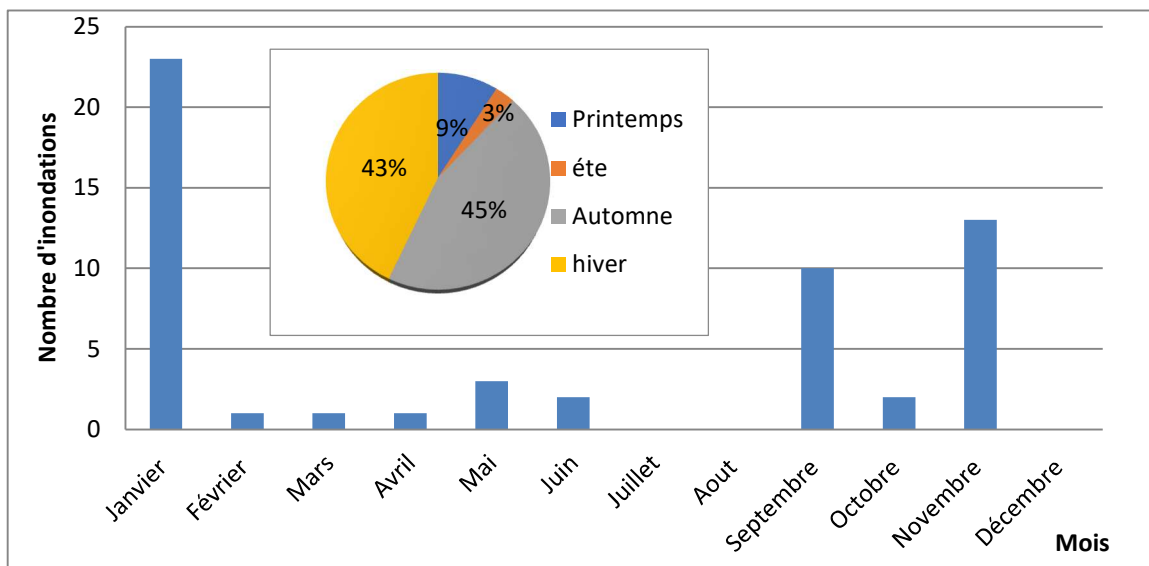


Figure 21: Evolution Mensuelle du nombre d'inondations à Alger : Distribution par saison

4.1.1.3 Types d'inondations à Tipaza

D'après la **Figure 22**, la wilaya de Tipaza subi trois types d'inondations. Le type dominant est celui de la crue d'oued avec 27 inondations, ce qui correspond à un pourcentage de 55%. Les inondations causées par le ruissèlement urbain viennent en deuxième position avec 21 inondations (43%). En dernière position, les inondations par remonter de la nappe sont responsables de 2% de l'effectif total. En revanche, à Alger, elles résultent principalement du ruissèlement urbain avec un pourcentage de de 64% (KERAGHEL et GAOUAOU, 2024).

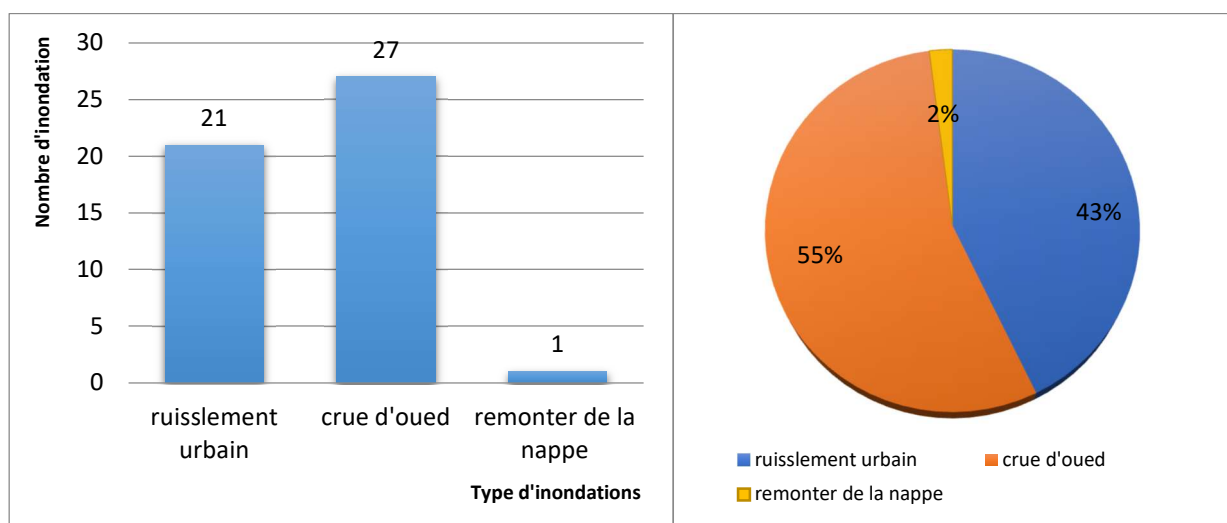


Figure 22: Nombre et pourcentage des inondations à Tipaza par type

Concernant les dégâts humains, ils restent relativement limités à Tipaza en comparaison avec Alger, en raison d'une densité de population plus faible et d'une urbanisation moins intense. Les

crues des oueds, bien que soudaines, touchent principalement des zones moins peuplées, réduisant ainsi le nombre de victimes et de sinistrés. Cependant, à Alger, le développement urbain intensif et le manque d'infrastructures de drainage amplifient l'effet des inondations, provoquant un accroissement du nombre de victimes et de personnes sinistrées, particulièrement dans les zones vulnérables.

4.1.2 Les feux de forêts de la wilaya de Tipaza

4.1.2.1 Evolution temporelle des feux de forêt

La **Figure 23** illustre la superficie totale (en hectares) touchée par les incendies et l'évolution du nombre des feux de forêts au fil des années de 2012 à 2023. En 2012, un pic exceptionnel a été enregistré avec environ 7 200 hectares brûlés et 200 feux, marquant l'année la plus critique. De 2013 à 2019, la superficie brûlée est restée relativement faible, oscillant entre 200 et 500 hectares par an, tandis que le nombre de feux diminuait progressivement pour se stabiliser entre 60 et 200 par an. En 2020, une nouvelle augmentation notable a été observée avec environ 3 500 hectares brûlés et environ 350 feux. En 2021, la superficie brûlée a fortement diminué à moins de 500 hectares, avec moins de 100 feux. En 2022, la superficie brûlée a légèrement augmenté à plus de 1 000 hectares, principalement en raison des broussailles, mais le nombre de feux est resté bas. Enfin, en 2023, la superficie brûlée et le nombre de feux ont été très faibles, indiquant une éventuelle amélioration de la gestion des incendies.

Les années 2012 et 2020 qui se distinguent par des pics importants signalent des événements ou des conditions particulièrement propices aux incendies durant ces périodes. Ceci peut être lié à différents facteurs tels que les conditions météorologiques (sécheresse, vents), les mesures de prévention et d'interventions rapides.

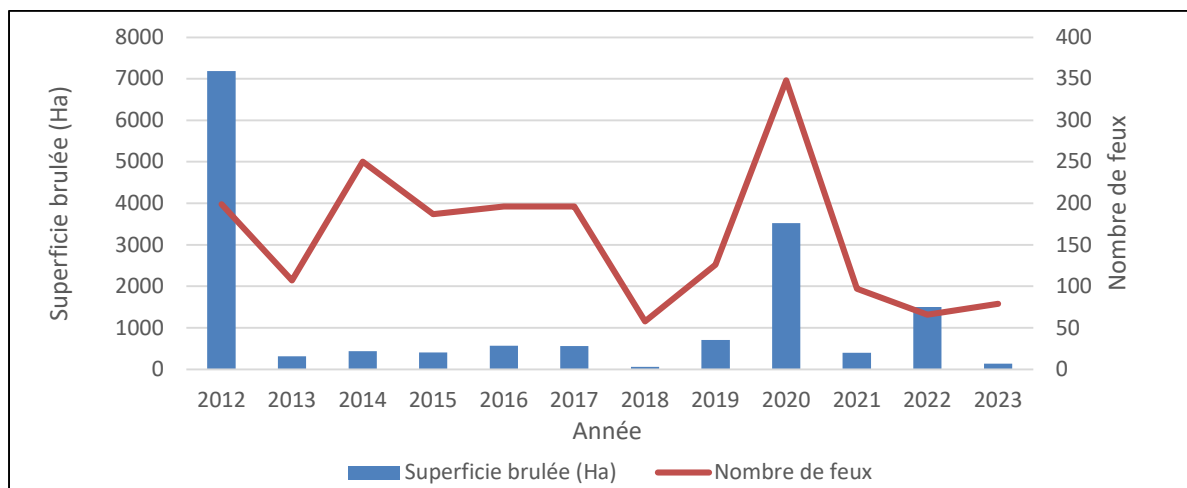


Figure 23: L'évolution temporelle des feux de forêts de Tipaza (2012-2023)

4.1.2.2 Distribution spatiale des feux de forêt

La **Figure 24.a** offre une vue d'ensemble du nombre d'incendies par commune, mettant en évidence les zones les plus touchées et pouvant aider à cibler les efforts de prévention. Les communes de la wilaya de Tipaza présentent des disparités notables en termes de fréquence d'incendies. Cherchell se distingue avec le nombre d'incendies le plus élevé, atteignant près de 200 feux. Gouraya et Nador suivent avec un nombre important d'incendies, bien qu'inférieur à celui de Cherchell. D'autres communes comme Damous, Larhat, Merad, Tipaza et Menaceur connaissent également un nombre significatif d'incendies. En revanche, des communes comme Bouharoun, Douaouda, Fouka, Bou Ismaïl et Khemisti enregistrent un nombre très faible d'incendies, indiquant une moindre exposition aux risques d'incendie dans ces zones. Ces statistiques suggèrent des facteurs locaux spécifiques influençant les départs de feux liés à la densité de la végétation (les zones avec une végétation dense sont plus susceptibles aux incendies) ; les conditions climatiques locales (certaines communes peuvent être plus exposées à des conditions climatiques propices aux incendies (sécheresse, vent) ; les activités humaines (telles que les brûlages agricoles, les feux de camp ou les actes de vandalisme).

La **Figure 24.b** qui représente la répartition du nombre de feux de forêt enregistrés dans les différentes communes de la wilaya de Tipaza entre 2012 et 2023, indique que les incendies sont concentrés dans les zones centrales et occidentales de la wilaya, comme Cherchell. En effet, ces dernières présentent un couvert forestier important rendant ces communes plus vulnérables aux incendies. Les zones orientales sont moins affectées, ce qui est probablement lié à une densité végétation moins importante avec des terrains à vocation agricole.

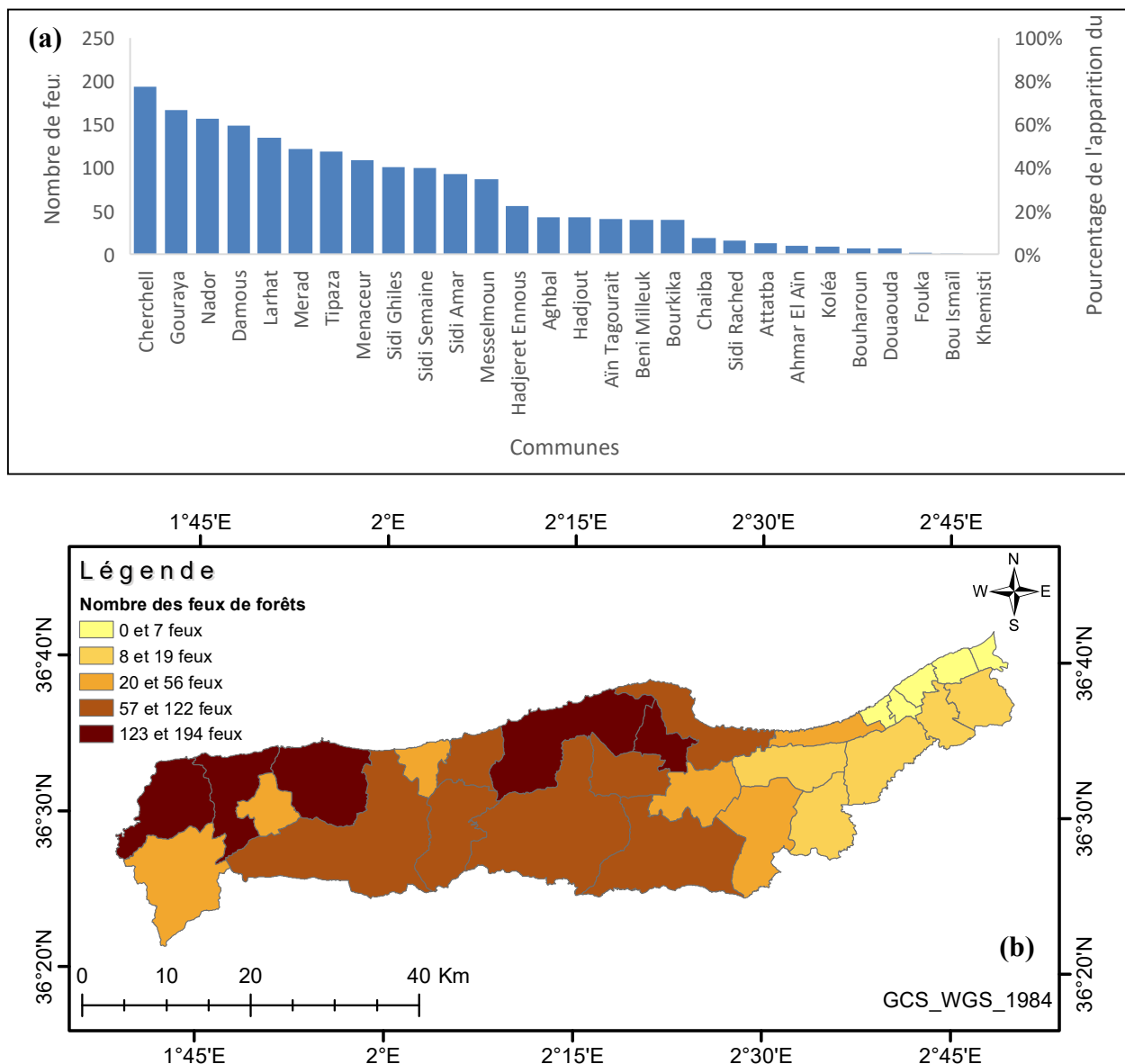


Figure 24 : (a) Comparaison du nombre des feux de forêts par commune (2012-2023). (b) Répartition spatiale des feux de forêts à Tipaza (2012-2023)

La **Figure 25** illustrent la superficie brûlée en hectares pour différentes catégories de végétation. La superficie brûlée par les incendies varie considérablement d'une année à l'autre, soulignant la nature imprévisible de ces événements. Les forêts et les maquis sont les types de végétation les plus fréquemment touchés, ce qui suggère des zones à risque élevé ou des conditions favorisant la propagation du feu. Les années 2012 et 2020 se distinguent par des pics majeurs de superficie brûlée, probablement dus à des conditions météorologiques ou des événements spécifiques. En 2022, la contribution des broussailles à la superficie brûlée a été plus notable, indiquant peut-être un changement dans les types de végétation affectés ou dans les conditions de propagation des incendies.

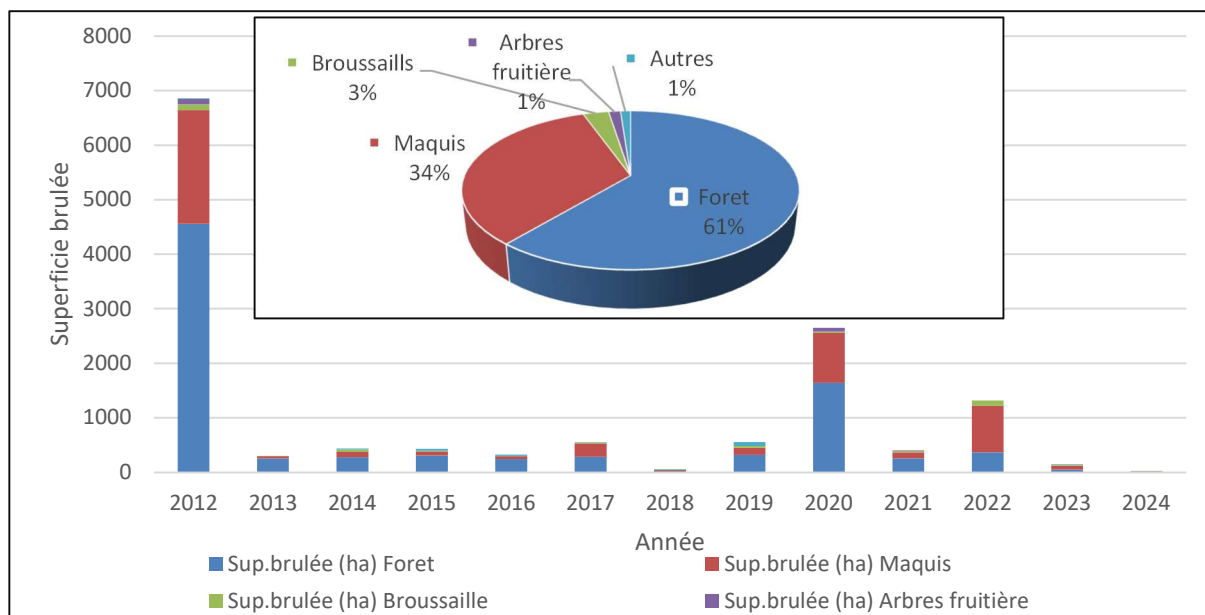


Figure 25: la superficie brûlée en hectares pour différentes catégories de végétation de Tipaza (2012-2024)

Le **Tableau 4** présente une répartition des incendies de forêt en Algérie selon les régions (wilayas côtières et reste du pays), en indiquant le nombre de foyers et la superficie brûlée (en hectares) en 2024. On constate que :

- Les wilayas côtières sont globalement plus touchées que le reste du pays en termes de superficie brûlée, notamment dans la région centrale, qui concentre la majorité des incendies et des dégâts (1765,02 hectares).
- L'est est en deuxième position en termes d'impact, avec un nombre modéré de foyers et une superficie brûlée significative.
- L'ouest côtier est la région la moins affectée, avec un faible nombre de foyers (57) et une superficie brûlée minimale (48,2 hectares).
- Le reste de l'Algérie, bien qu'enregistrant un nombre important de foyers (255), a une superficie brûlée relativement modérée (665,73 hectares), ce qui pourrait indiquer des incendies moins étendus ou mieux maîtrisés.

Tableau 4: Répartition du nombre de foyers et superficie brûlée selon les différentes régions de l'Algérie (2024)

Wilayas		Nombre de foyers	Superficie brûlée (Ha)
Wilaya Côtières	Ouest	57	48,2
	Centre	251	1765.02
	Est	163	1011.63
Reste de l'Algérie		255	665.73

4.2 Réseau hydrographique de la wilaya de Tipaza

La **Figure 26** illustre la localisation et la délimitation des principaux bassins versants de la wilaya de Tipaza ainsi que leurs réseaux hydrographiques. Certains bassins, tels que ceux de l'oued Mazafran et l'oued Damous, s'étendent largement au-delà des limites administratives de la wilaya, tandis que d'autres, comme l'oued Nador et l'oued El Hachem sont entièrement inclus dedans. Le territoire de la wilaya de Tipaza est également marqué par la présence de bassins versants de dimensions plus modestes ou de moindre importance, tels que ceux de l'oued Messelmoun, l'oued Sebt, l'oued R'ha et l'oued Harbil, etc.

Le **Tableau 5** regroupe et synthétise les principales caractéristiques morphologiques de ces bassins versants. L'indice de Horton (Kh) et de Gravelius (Kg) révèlent que les oueds Nador et El Hachem sont relativement plus compacts et allongés, ce qui favorise un écoulement plus rapide des eaux. Ces deux indices sont essentiels pour estimer la réponse hydrologique d'un bassin en cas de précipitations, notamment en lien avec les risques d'inondation²².

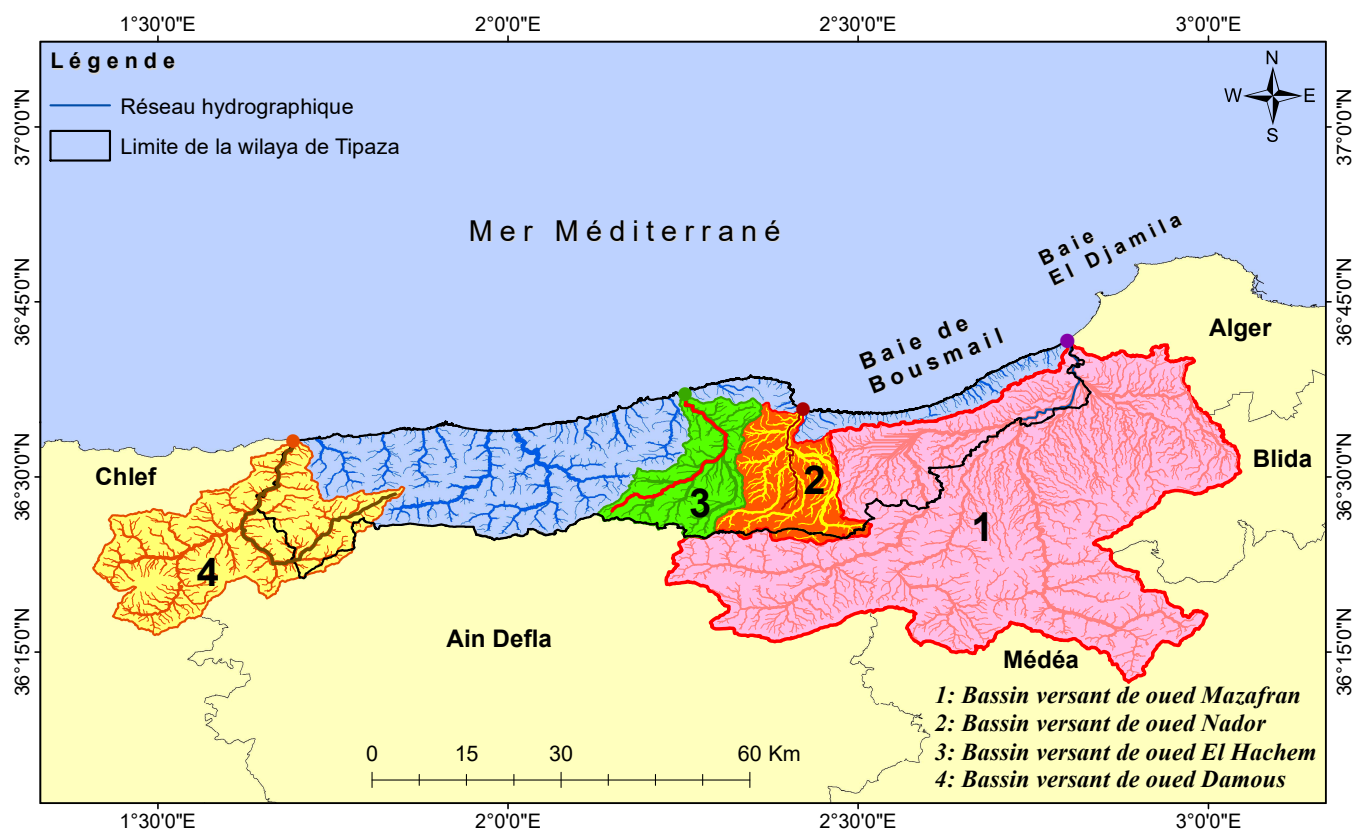


Figure 26: Carte des bassins versants des principaux oueds de Tipaza

²² Cour du MORPHOMETRIE DES BASSINS VERSANTS : https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/115268/mod_resource/content/1/Pr%C3%A9sentation1_cours_Morphometrie.pdf

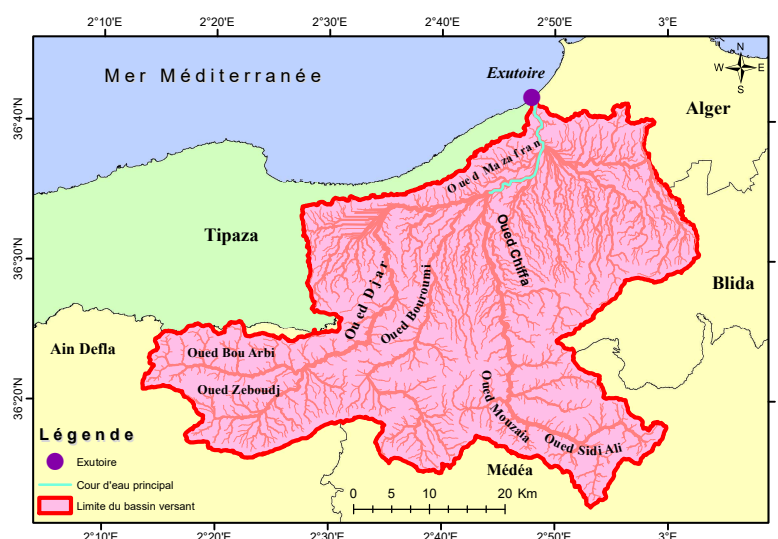
Tableau 5: Caractéristiques morphologiques des bassins versants de Tipaza

Bassin versant	Oued Mazafran	Oued Nador	Oued El Hachem	Oued Damous
Superficie (km ²)	1991,66	241,58	220,26	556,43
Périmètre (km)	320,22	94,67	90,52	143,04
Longueur du cours d'eau principal (km)	22	18,53	31,96	47,07
Largeur moyenne du bassin versant (km)	104,25	13,03	6,89	11,82
Indice de compacité d'Horton (K_H)	5,45	0,70	0,21	0,25
Indice de Gravelius (K_G)	2,00	1,7	1,7	1,69

4.2.1 Bassin versant de l'oued Mazafran

Le bassin versant de l'oued Mazafran, situé dans la région centre-nord de l'Algérie, constitue l'un des principaux bassins du littoral algérois. Il s'étend sur la partie centrale de la plaine de la Mitidja entre le Sahel au nord et l'Atlas de Blida au sud. Sa superficie est estimée à environ 1 991 km², et son cours principal s'étire sur une longueur de 22 km (**Tableau 5**). Il comprend trois affluents principaux : Oued Djar, Oued Chiffa et Oued Bou Roumi (**Figure 27**).

Selon l'étude de Nouri et Ozer (2014a), le bassin versant de l'oued Mazafran est vulnérable aux inondations en raison de facteurs naturels et anthropiques. Son régime hydrologique torrentiel est marqué par des crues éclair dépassant 200 m³/s dues à des pluies intenses²³, amplifiées par la topographie escarpée et les dépôts alluviaux. L'urbanisation non maîtrisée, l'obstruction des cours d'eau et les infrastructures défectueuses aggravent ces risques.

**Figure 27: Carte du bassin versant de l'oued Mazafran**

²³ [https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/10848/1/Memoire%20de%20master%202020HYD-converti%20\(1\).pdf](https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/10848/1/Memoire%20de%20master%202020HYD-converti%20(1).pdf)

4.2.2 Bassin versant de l'oued Nador

Situé au sud-est du massif du Chenoua, le bassin versant de l'oued Nador couvre une superficie d'environ 241 km² avec un cours d'eau principal d'une longueur d'environ 18 km (**Tableau 5**). Il s'étend dans la région de Tipaza (**Figure 28**), caractérisée par une morphologie complexe associant plaines alluviales et reliefs accidentés (MOULFI et PAUC, 2012).

La vallée du Chenoua présente une forte vulnérabilité environnementale, marquée par des crues soudaines lors des pluies automnales, une instabilité géomorphologique liée aux dynamiques tectoniques et marines²⁴, tandis que la nappe côtière, bien que soulagée par le barrage de Boukourdane (mis en service en 1992), demeure vulnérable (BOUDERBALA, 2015).

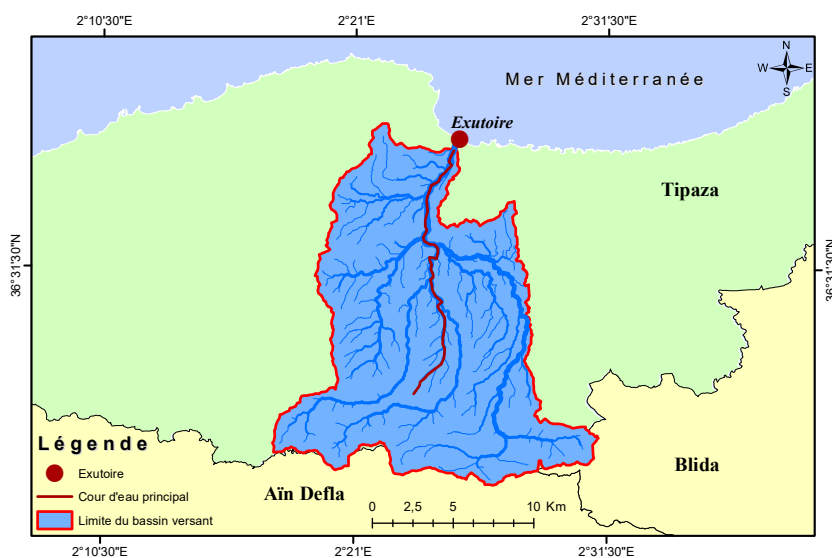


Figure 28: Carte du bassin versant de l'oued Nador

4.2.3 Bassin versant de l'oued El Hachem

Localisé dans l'Atlas tellien-littoral, au sud-est de Cherchell, cet oued alimente le barrage Boukourdane. D'une superficie de 220 km² (**Tableau 5**), Oued El Hachem est structuré en quatre affluents majeurs : oued Boukadir, oued Tegdza, oued Nachef et oued Fedjena, avec un cours d'eau principal de près de 32 Km de long (**Figure 29**).

L'étude de XANTHOULIS et al. (2016) montre que ce bassin présente un régime hydrique intermittent avec des crues hivernales violentes transportant d'importantes charges solides. L'envasement du barrage par des particules fines, la baisse continue du niveau piézométrique due

²⁴ <https://fr.slideshare.net/slideshow/memoire-tipasa/20791775>

à la surexploitation de la nappe, ainsi que le régime semi-aride aggravant l'érosion et l'irrégularité pluviométrique, constituent les principaux enjeux environnementaux qui le caractérisent.

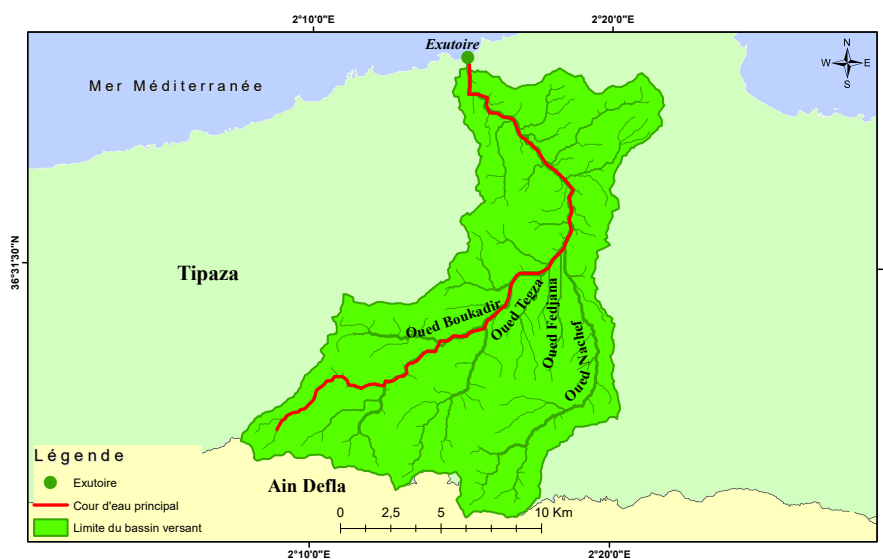


Figure 29: Carte du bassin versant de l'oued El Hachem

4.2.4 Bassin versant de l'oued Damous

L'oued Damous est un cours d'eau transfrontalier entre les wilayas de Chlef et Tipaza (Figure 30). Régulé par le barrage de Kef Eddir, son cours d'eau principal a une longueur de 47 km. Il draine un bassin versant d'environ 556 km² (Tableau 5). D'après YAMEOGO (2023), le régime hydrologique de l'oued Damous est caractéristique des cours d'eau méditerranéens algériens, avec des écoulements intermittents, des étiages estivaux prononcés et des crues rapides en période hivernale. Son alimentation dépend essentiellement des précipitations.

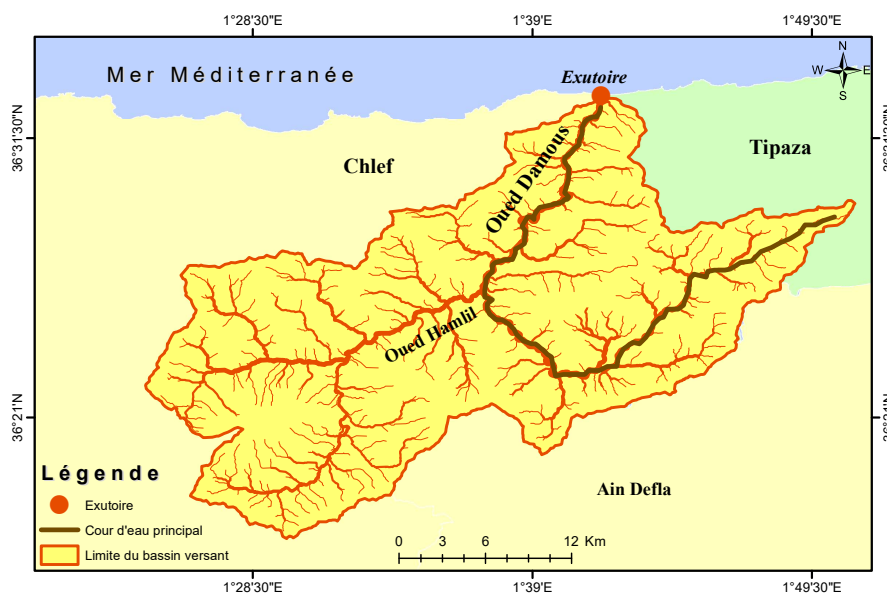


Figure 30: Carte montre le bassin versant d'oued Damous

4.3 Paramètres de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza

4.3.1 Carte de la distribution des altitudes et carte des pentes

La **Figure 31** montre la variation de la topographie de la wilaya de Tipaza, représentée par un dégradé de couleurs allant du vert foncé (altitudes basses) au rouge (altitudes élevées). Les zones de basse altitude (entre 0 et 150 m) présentent un relief relativement doux avec de faibles pentes (0° - 5°) (**Figure 32**). C'est le cas principalement de la partie est de la wilaya (extension occidentale de la plaine de la Mitidja) ainsi que de sa frange littorale caractérisée par le cordon littoral et les plaines côtières qui bordent la Méditerranée. Les altitudes moyennes (150-321 m) avec des pentes de 5° - 11° forment une zone de transition au centre et à l'est coïncide avec le bourrelet du Sahel (ZERROUKI et BELKADI, 2014). Les hautes altitudes (321-1389 m) qui présentent des pentes de 11° à 38° se situent majoritairement dans la partie centrale et sud-ouest de la wilaya et correspondent aux massifs montagneux comme les monts du Dahra, du Zaccar et du Chenoua qui forment des barrières naturelles.

Les cartes présentées illustrent bien la transition entre trois unités géomorphologiques majeures : le littoral au nord, le Sahel au centre-nord et les reliefs montagneux au sud-ouest. Cette transition résulte du régime compressif tectonique actif depuis la fin du Miocène. La répartition topographique observée à Tipaza est caractéristique des wilayas littorales algériennes, où de vastes plaines côtières à faibles pentes s'étendent au nord, tandis que des reliefs plus accentués se situent au sud (ZIADI et KERAGHEL, 2024). Selon FATTASSE et al. (2025), la topographie influence directement la dynamique du ruissellement, l'accumulation et la vitesse de l'eau lors des épisodes pluvieux intenses. Cela, explique l'intérêt de l'analyse des reliefs dans l'étude des inondations.

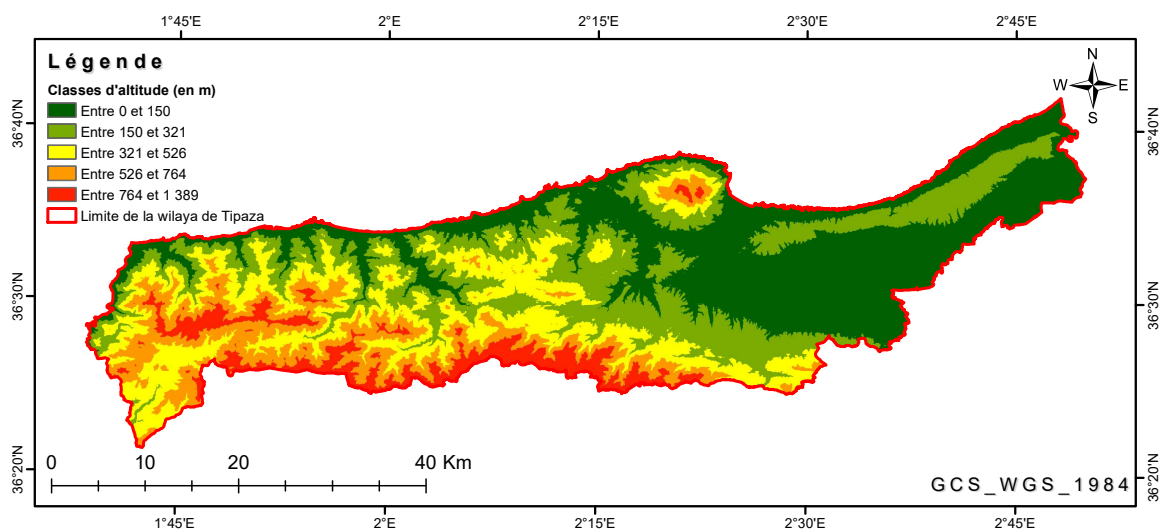


Figure 31: Carte de distribution des altitudes de la wilaya de Tipaza

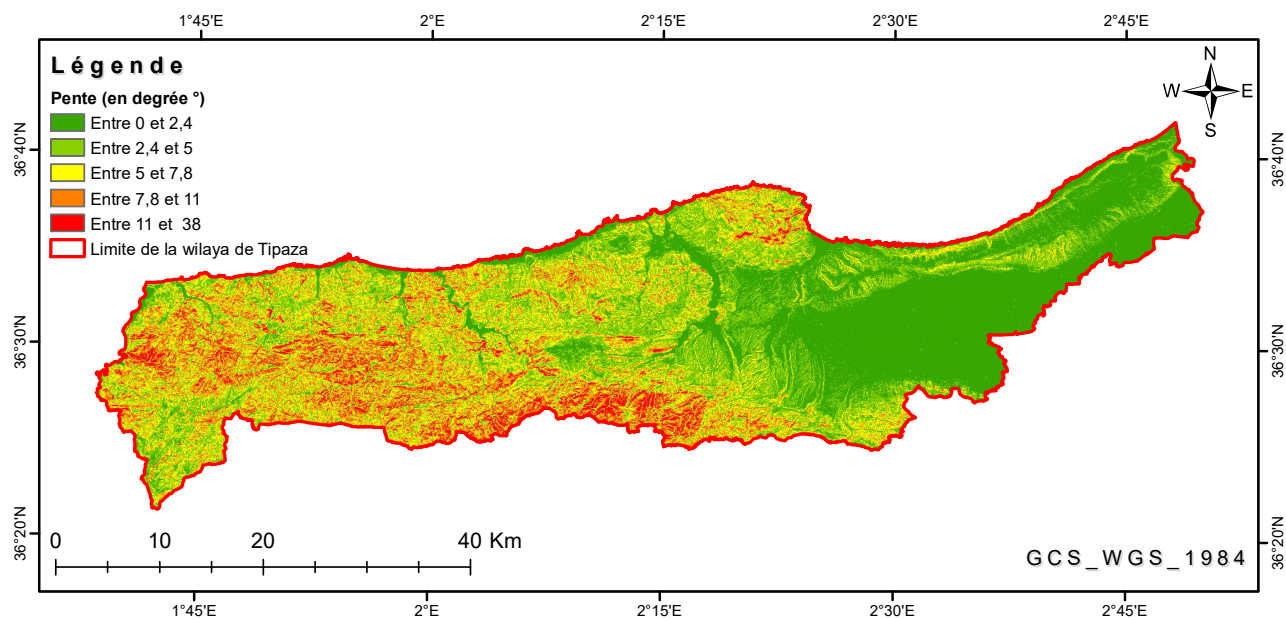


Figure 32: Carte des pentes de la wilaya de Tipaza

4.3.2 Carte de la densité de drainage

Cette carte constitue un outil précieux pour l'évaluation des risques d'inondation, car les zones à forte densité de drainage (380,2-1346,5 km/km²) sont généralement plus susceptibles de connaître des crues rapides en cas de précipitations intenses, surtout si elles sont situées en aval de zones à forte pente. En opposition, les zones à faible densité de drainage (0-237,6 km/km²), situées loin des oueds, sont moins vulnérables aux inondations (**Figure 33**).

La densité de drainage est influencée par plusieurs facteurs naturels et humains. Les roches imperméables, les fortes pentes, les précipitations intenses et un couvert végétal faible favorisent le ruissellement, augmentant ainsi la densité du réseau hydrographique. À l'inverse, les roches perméables, les terrains plats, un couvert végétal dense et une occupation du sol peu intrusive (comme les zones naturelles) réduisent cette densité en facilitant l'infiltration (BABA HAMED et BOUANANI, 2016). L'urbanisation et l'agriculture intensive peuvent accentuer le drainage en modifiant les écoulements naturels par la création de structures artificielles (MEBARKI et al., 2021).

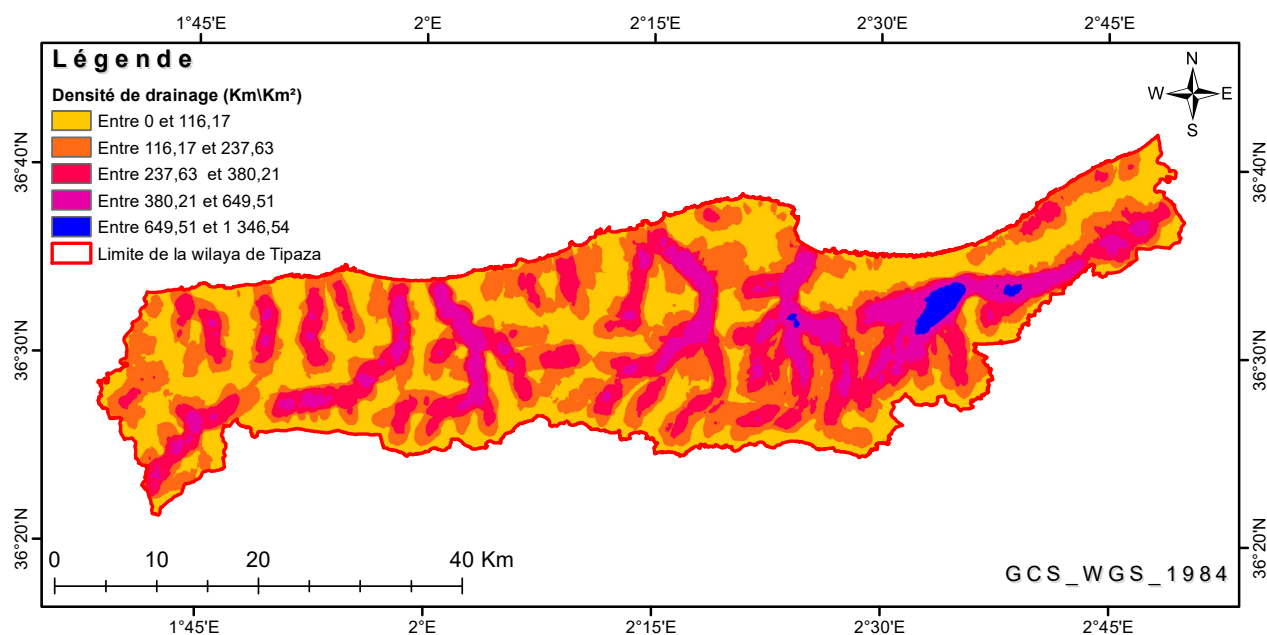


Figure 33: Carte de la densité de drainage de la wilaya de Tipaza

4.3.3 Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI)

Le TWI combine la pente et l'aire de drainage pour estimer la tendance d'un point à accumuler l'eau. Plus le TWI est élevé, plus la zone est susceptible d'être humide ou saturée, donc potentiellement sujette à l'engorgement ou à l'inondation (KINAKPEFAN MICHEL TRAORE, 2023). Les zones à faible TWI (de -7,9 à -3,2) correspondent généralement aux reliefs, pentes et zones bien drainées (collines). Les zones à TWI élevé (de 0,9 à 11,3) sont localisées dans des points sensibles d'accumulation d'eau comme la plaine de la Mitidja, le barrage de Boukourdane, les fonds de vallées, les dépressions et le long des principaux oueds (**Figure 34**).

Le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) distingue trois zones dans la dynamique du ruissellement : la zone de production (où l'eau ruisselle), la zone de transfert (où l'eau s'écoule) et la zone d'accumulation, qui correspond aux « points bas et sans exutoires », c'est-à-dire les zones basses où l'eau s'accumule naturellement. Cette logique s'applique particulièrement aux régions méditerranéennes, où les épisodes pluvieux intenses provoquent un ruissellement rapide qui converge vers les zones basses, souvent responsables d'inondations localisées²⁵. Donc des zones à surveiller pour le risque d'inondation ou de saturation des sols.

²⁵ https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_sainte_anastasia_vf.pdf

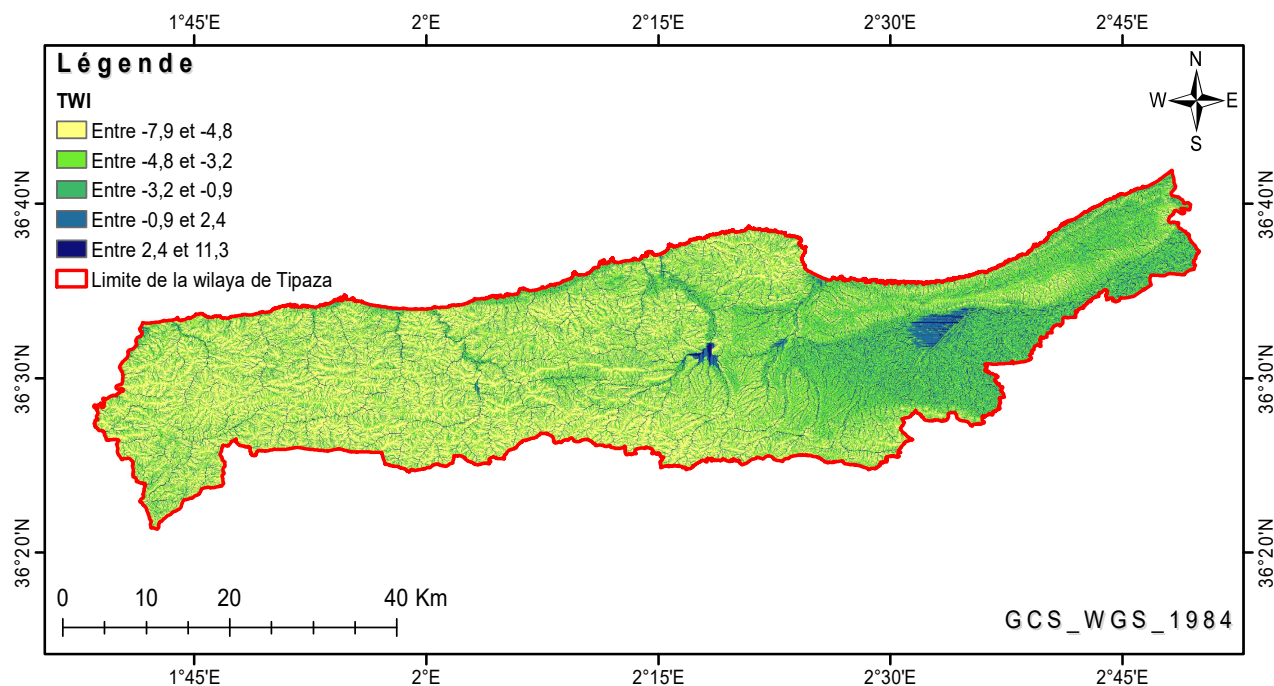


Figure 34: Carte de l'indice d'humidité topographique (TWI) de la wilaya de Tipaza

4.3.4 Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza

A. Année 2017

La **Figure 35** montre que la wilaya de Tipaza en 2017 présente une occupation du sol très diversifiée. La majeure partie du territoire est couverte par les zones agricoles avec près de 44 % de la superficie de la wilaya (**Tableau 6**), principalement situées en périphérie des zones urbaines et dans les plaines de la Mitidja. La végétation est également bien représentée, avec un pourcentage de 37 % de sa superficie, ce qui traduit une forte proportion de forêts et espaces naturels dominante dans la partie ouest de la wilaya, notamment dans les zones montagneuses et forestières autour du massif du Mont Chenoua et les régions de Damous, Cherrhell, Gouraya et Sidi Amar. Selon les données de la DGF, ces secteurs bénéficient d'une couverture forestière importante, principalement composée de pin d'Alep, chêne vert et chêne-liège.

L'urbanisation est faible et principalement localisée près de la côte (nord de la wilaya) et dans quelques zones à l'intérieur du territoire. Elle représente environ 7 % de la superficie totale traduisant une urbanisation littorale typique.

B. Année 2024

La **Figure 36** montre une dominance persistante des terres agricoles qui occupent environ 48 % de la superficie de la wilaya de Tipaza (**Tableau 6**), enregistrant ainsi une légère progression, en particulier dans les plaines. En parallèle, la végétation, dominante surtout à l'ouest et au sud couvre

environ 22 % de la superficie totale, mais avec des signes de régression par rapport à 2017, ceci peut être partiellement expliqué par l'expansion des zones urbaines qui représentent désormais 8 % (141 km²) du territoire, contre 6 % (114,3 km²) en 2017, notamment autour de Tipaza, Cherchell, Koléa et dans les plaines littorales. Cette dynamique s'est accentuée avec la création de la nouvelle ville de Sidi Amar, entraînant un impact direct sur les terres agricoles et les espaces forestiers, notamment par le déclassement de 161 hectares de forêts et de vallons²⁶. Le recul des espaces naturels dans certaines zones périphériques ainsi que divers processus de dégradation des formations végétales (incendies, pâturage, constructions illicites) sont également notables.

Tableau 6: Superficie et pourcentage des classes d'occupation du sol de la wilaya de Tipaza en 2017 et 2024

Classes	2017		2024	
	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)
Végétation	632,6	36,6	387,1	22,4
Urbanisation	114,3	6,6	141	8,1
Terres agricoles	764,6	44,2	833,8	48,2
Sols nus	214,8	12,4	367,1	21,2
Eaux	4,1	0,2	41,4	0,1

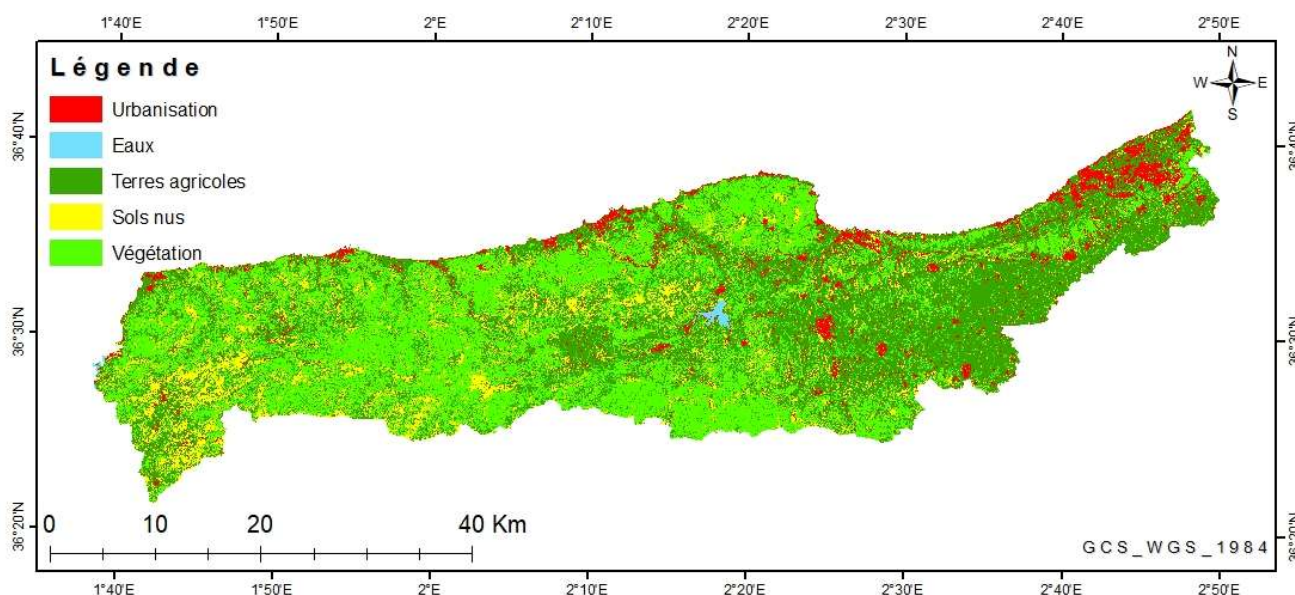


Figure 35: Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza (Année 2017)

²⁶ (“Une nouvelle ville à Tipasa - Horizons,” 2024)

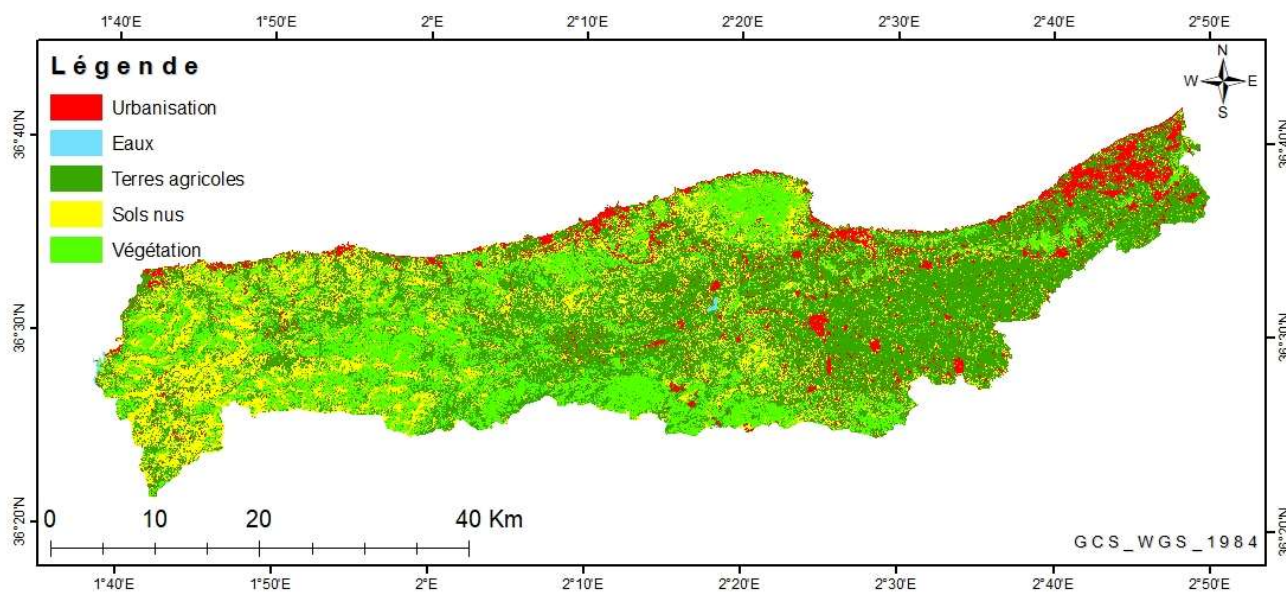


Figure 36: Carte de l'occupation du sol de la wilaya de Tipaza (Année 2024)

4.3.5 Carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

A. Année 2017

L'indice NDVI varie sur une échelle de valeurs allant de -1 à +1, les valeurs proches de 1 indiquent une végétation dense et saine, tandis que les valeurs proches de 0 ou négatives correspondent à des sols nus, des surfaces artificielles ou de l'eau. Selon la **Figure 37**, Le territoire de la wilaya de Tipaza en 2017 se distingue par une prédominance marquée de végétation naturelle sur une grande partie de sa superficie. Les zones à fort indice NDVI (entre 0,55 et 1,0) dominaient les régions ouest et centrale de la wilaya de Tipaza, en particulier au niveau des massifs du Chenoua et de Gouraya. Ces secteurs, majoritairement couverts de forêts denses et de maquis méditerranéens, présentaient une végétation particulièrement riche et bien préservée. Les valeurs moyennes de NDVI (entre 0,4 et 0,55) sont principalement associées aux terres agricoles et aux prairies, indiquant une couverture végétale modérée mais continue. En revanche, les faibles valeurs de NDVI (inférieures à 0,4) se retrouvent essentiellement sur le littoral urbanisé et dans les zones de sols nus, traduisant une végétation rare voire absente.

B. En 2024

D'après la **Figure 38**, la situation de la couverture végétale dans la wilaya de Tipaza en 2024 montre une régression marquée des zones à forte densité végétale. Les secteurs qui présentaient auparavant des valeurs élevées de NDVI (supérieures à 0,55), notamment dans les massifs forestiers de l'ouest, ont connu une diminution significative de leur surface végétalisée. Parallèlement, l'extension des zones affichant des valeurs moyennes à faibles de NDVI reflète à

la fois une augmentation des espaces à végétation clairsemée, des terres agricoles ainsi que des surfaces dégradées. Toutefois, cette évolution indique aussi, dans certains cas, une végétation plus développée, plus homogène et globalement plus saine qu'en 2017. Cette évolution reflète l'impact croissant de l'urbanisation, de l'expansion agricole et des pressions anthropiques sur la couverture végétale. Dans l'ensemble, Tipaza est une région encore largement verte, où la végétation naturelle et agricole occupe une place importante, bien que l'on observe déjà l'impact des activités humaines sur la réduction de la couverture végétale dans les zones urbaines et périurbaines.

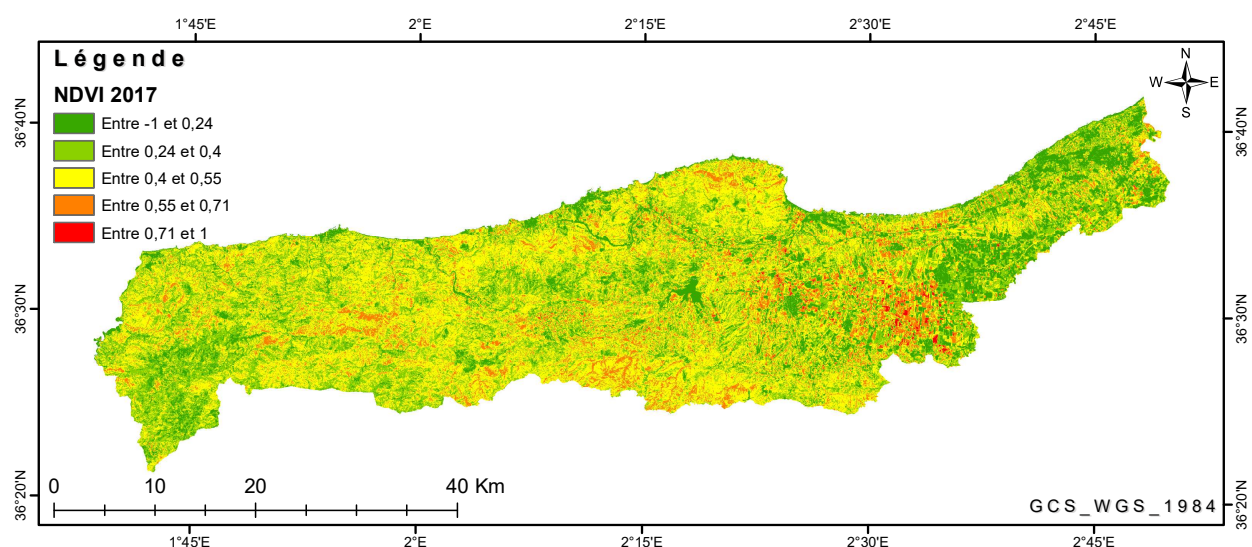


Figure 37: Carte de l'indice NDVI de la wilaya de Tipaza (Année 2017)

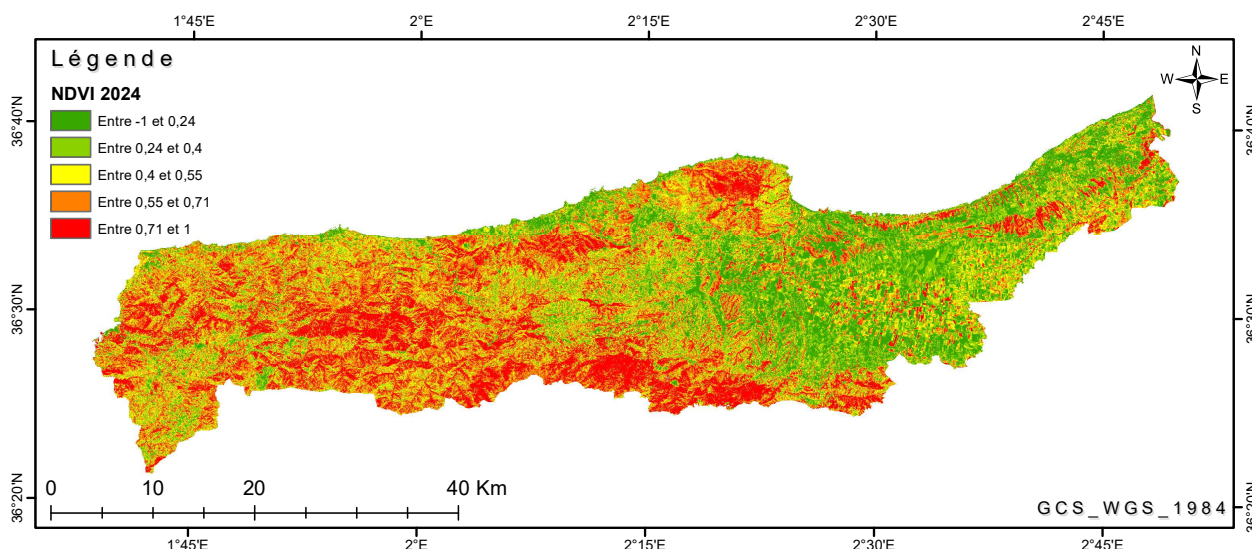


Figure 38: Carte de l'indice NDVI de la wilaya de Tipaza (Année 2024)

4.3.6 Carte des types de sol

L'analyse des types de sol constitue une étape clé pour évaluer la vulnérabilité aux inondations, car leur nature influence directement la capacité d'infiltration. D'après la Figure 39, les sols

calcaires dominant à Tipaza, notamment dans les zones centrales et littorales qui se caractérisent par une granulométrie fine et une perméabilité réduite. Les sols insaturés, plus perméables, sont localisés au sud-ouest et dans certaines zones centrales, comme le mont Chenoua. Les sols alluviaux, présents près des oueds et dans les plaines, présentent une perméabilité variable selon leur texture et indiquent des zones d'accumulation de matériaux fins transportés par l'eau. Ces sols sont généralement fertiles et favorables à l'agriculture, mais aussi plus vulnérables aux inondations. Les sols de marais concentrés dans le nord-est, sont marqués par une forte saturation en eau. La présence des dunes sur la frange littorale traduit l'influence des processus éoliens et marins, typiques des zones côtières méditerranéennes. Les sols imperméables, comme ceux reposant sur la roche-mère (présente au centre-nord de la wilaya), favorisent le ruissellement, surtout en l'absence de couvert végétal et dans les zones urbanisées. Sur le plan géologique, les formations pédologiques sont dominées par des sols calcaires développés sur des substrats géologiques anciens, principalement d'âge nummulitique (Éocène), pliocène et miocène. Les sols insaturés et les dépôts alluviaux sont majoritairement associés aux formations de la craie supérieure du Crétacé terminal. Par ailleurs, les sols de marais et les ensembles dunaires sont susceptibles de recouvrir des formations salésiennes et helvétiennes, correspondant à des unités stratigraphiques du Miocène. La roche mère est, pour l'essentiel, constituée de formations du Nummulitique (**Annexe 7**).

Selon les travaux de l'INRAA (Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie)²⁷ et de l'INSID (Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage), la répartition des sols à Tipaza est conforme à la logique méditerranéenne des wilayas du nord algérien (ex. Alger, Mostaganem, Boumerdès), où les sols calcaires dominent l'arrière-pays, tandis que les sols alluviaux et marécageux occupent les plaines littorales et les vallées.

²⁷ <https://inraa.dz/>

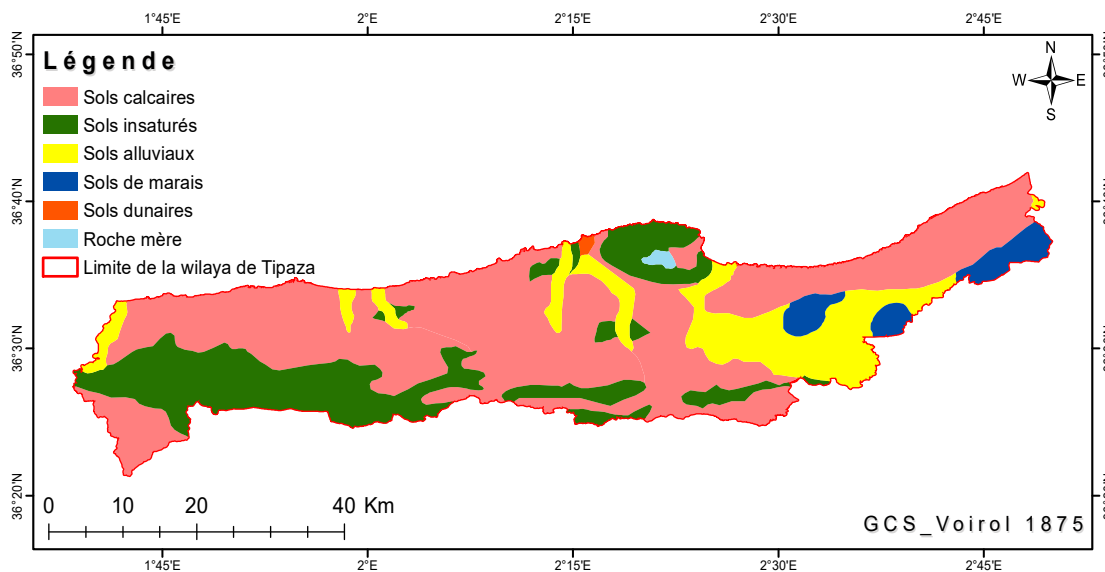


Figure 39: Carte des types de sol de la wilaya de Tipaza

4.3.7 Carte de distance par rapport aux oueds

La Figure 40 illustre la distance aux oueds (cours d'eau temporaires et permanents) de la wilaya de Tipaza. Les différentes classes de distance sont représentées par des couleurs distinctes allant du bleu (0-810 m) au rouge foncé (4 700-8 700 m). On observe une prédominance des zones bleues, indiquant que Tipaza est largement couverte par un réseau hydrographique dense, ce qui explique la forte proportion de surfaces proches des oueds (0 m-810 m). Les zones éloignées des oueds correspondent aux reliefs et aux plateaux moins drainés, notamment le Mont Chenoua.

Selon REMINI (2010), Tipaza s'inscrit dans la tendance générale observée dans les zones littorales du nord de l'Algérie, caractérisées par une bonne accessibilité aux oueds, contrairement aux régions plus arides du pays où l'éloignement des points d'eau est un facteur limitant majeur.

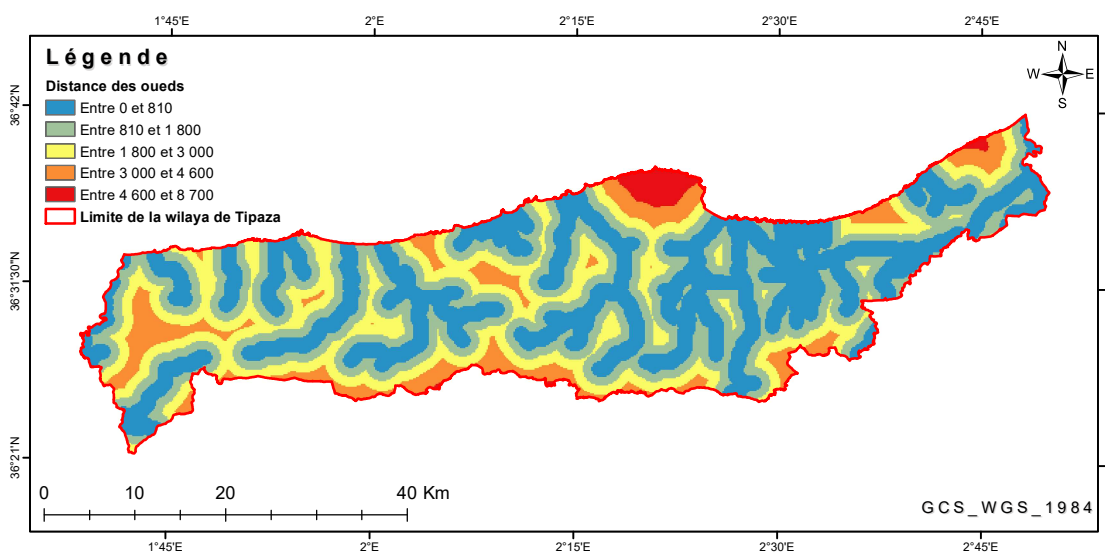


Figure 40: Carte des distances par rapport aux oueds de la wilaya de Tipaza

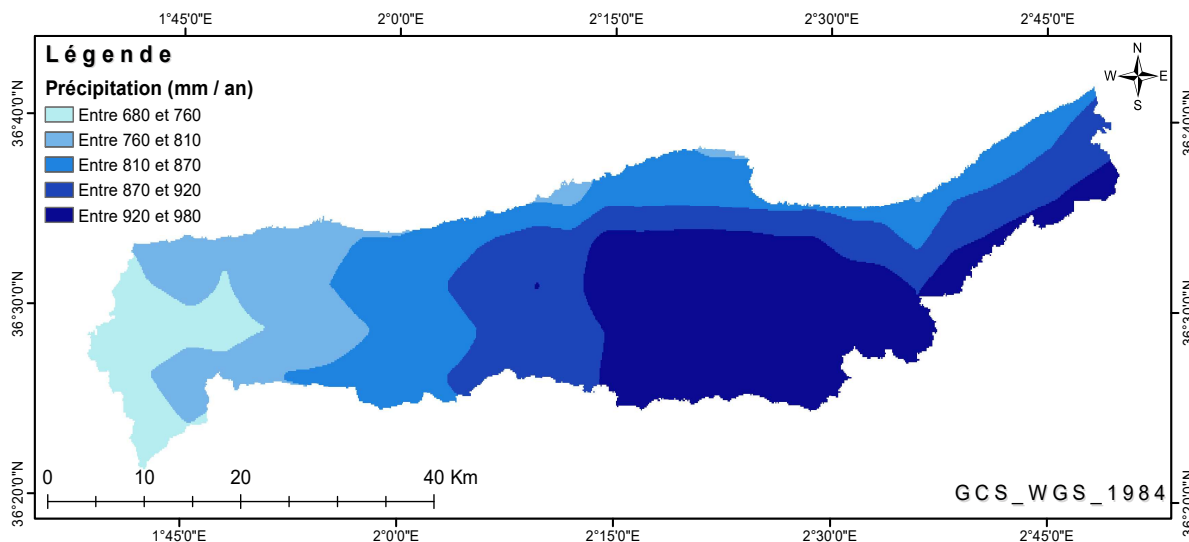


Figure 41: Carte des précipitations de la wilaya de Tipaza.

4.4 Carte de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza

La **Figure 42** présente la carte de vulnérabilité aux inondations de la wilaya de Tipaza et met en évidence les différentes zones à risque, en lien direct avec la configuration topographique, l'occupation du sol et la présence du réseau hydrographique. La partie orientale et nord-est de la wilaya, notamment autour des villes de Bou Ismail, Koléa, Fouka, Khemisti, Douaouda, Ain Tagouraït, Bouharoun et Tipaza-ville dans ses parties basses (Sahel et plaine de la Mitidja) et côtières, se distingue par une vulnérabilité forte à très forte, soit 32,07 % de la superficie de la wilaya de Tipaza (**Tableau 7**). Ces zones correspondent principalement aux bassins versants des oueds Mazafran, Nador et El Hachem, qui drainent d'importantes surfaces vers le littoral, là où l'on retrouve aussi une urbanisation dense et des zones topographiquement basses.

À l'opposé des zones à haute vulnérabilité, certaines communes de la wilaya présentent un niveau de risque modéré face aux inondations avec une superficie de 793,7 km² (46,34% de la superficie de la wilaya), notamment Hadjout, Sidi Ghiles, le centre et le sud de Tipaza, ainsi que le nord de Cherchell. Ces localités se situent dans une zone de transition entre le littoral urbanisé et les reliefs plus élevés de l'intérieur. Elles bénéficient de pentes douces et d'un tissu urbain moins dense, ce qui favorise généralement un meilleur écoulement des eaux pluviales. Cependant, la présence de cours d'eau peut constituer un facteur de risque localisé, en particulier dans les secteurs où l'urbanisation s'est développée à proximité des lits naturels.

Plus au sud-ouest de la wilaya, on retrouve des zones classées à vulnérabilité faible à très faible (21,56 % de la superficie total de Tipaza), telles que Gouraya, Damous, Menaceur, Aghbal, Sidi Semiane, Beni Milleuk ainsi que le sud de Bourkika. Ces territoires sont caractérisés par un relief

montagneux, une végétation plus abondante et une faible densité d'occupation humaine, des éléments qui favorisent l'infiltration naturelle des eaux. Les bassins versants issus des massifs du Chenoua et de Gouraya jouent un rôle régulateur majeur en facilitant un drainage efficace vers les exutoires naturels.

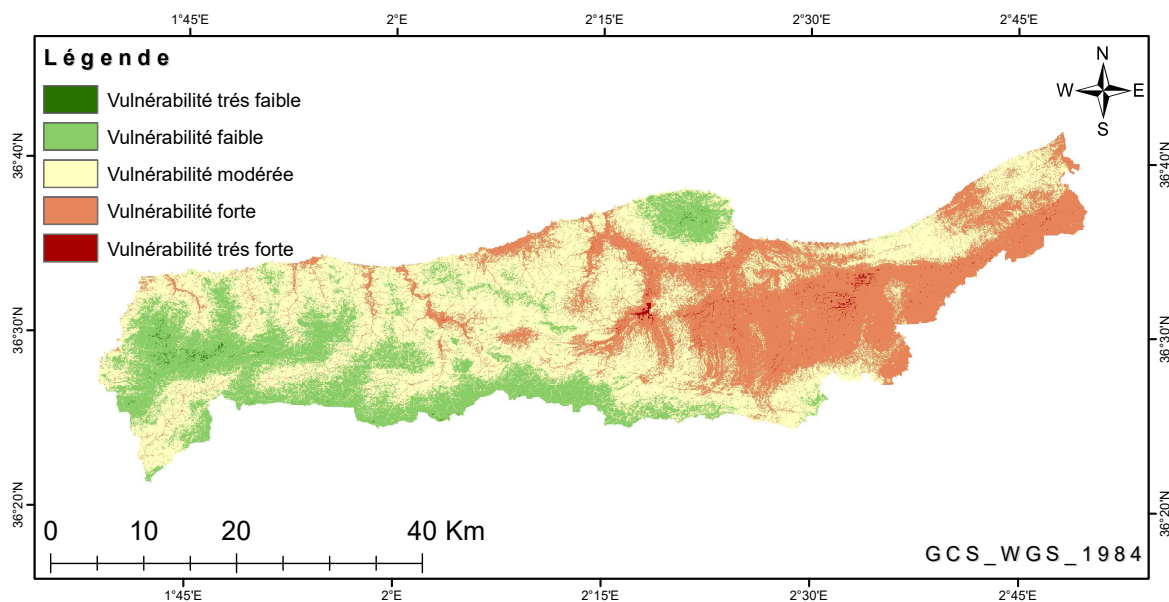


Figure 42: Carte de la vulnérabilité aux inondations de la wilaya de Tipaza

Tableau 7: Superficies des classes de vulnérabilité aux inondations de la wilaya de Tipaza

Classes de vulnérabilité	Superficies (km ²)	Pourcentages (%)
Vulnérabilité très faible	2,4	0,14
Vulnérabilité faible	367	21,42
Vulnérabilité modérée	793,7	46,34
Vulnérabilité forte	543,4	31,72
Vulnérabilité très forte	6,1	0,35

4.4.1 Validation des résultats

Une vérification des résultats de la carte de vulnérabilité de la wilaya de Tipaza a été réalisée afin d'en garantir la fiabilité. Pour ce faire, nous avons vérifié si les inondations survenues dans la wilaya correspondaient aux zones identifiées comme vulnérables. Cette validation s'est appuyée sur la localisation, sur la carte de vulnérabilité, des inondations les plus récurrentes dans certaines communes, à partir des données fournies par la DNRM.

La **Figure 43** montre que la majorité des inondations enregistrées dans la wilaya de Tipaza se localisent dans les secteurs classés à risque élevé sur la carte, représentant **93,54 %** du total des événements recensés, en particulier dans les régions centrales et orientales de la wilaya,

notamment Bou Ismaïl, Koléa, Sidi Rached, Douaouda, Fouka, Hadjeret Ennous, Ahmer El Ain, Nador, Sidi Amar ainsi qu'une partie de la commune de Tipaza. La carte a été également validée via la méthode ROC (The Receiver Operating Characteristic) sur les 28 communes de la wilaya. Les résultats suggèrent une superficie sous la courbe (AUC : Area Under the Curve) et une prédiction positive de **92%**.

Ces zones à forte vulnérabilité se trouvent généralement dans des régions à faible altitude (comme la plaine de Mitidja) souvent en aval des reliefs. Cela suggère que les eaux de ruissellement issues des hauteurs s'écoulent rapidement vers les bassins plus bas, entraînant un risque accru d'accumulation et de débordement, surtout lors d'épisodes de pluies intenses. La configuration topographique de la région, avec des oueds traversant plusieurs communes vulnérables, renforce ce phénomène hydrologique. En revanche, quelques inondations apparaissent dans des zones classées à vulnérabilité faible ou très faible. Ces cas isolés pourraient s'expliquer par d'autres facteurs, tels que l'imperméabilisation des sols liée à l'urbanisation, des systèmes de drainage inadaptés, ou encore une remontée des nappes phréatiques. L'accumulation des eaux pluviales due à une mauvaise gestion des réseaux d'assainissement pluvial pourrait également contribuer à ces événements dans des secteurs pourtant considérés comme peu vulnérables selon la carte.

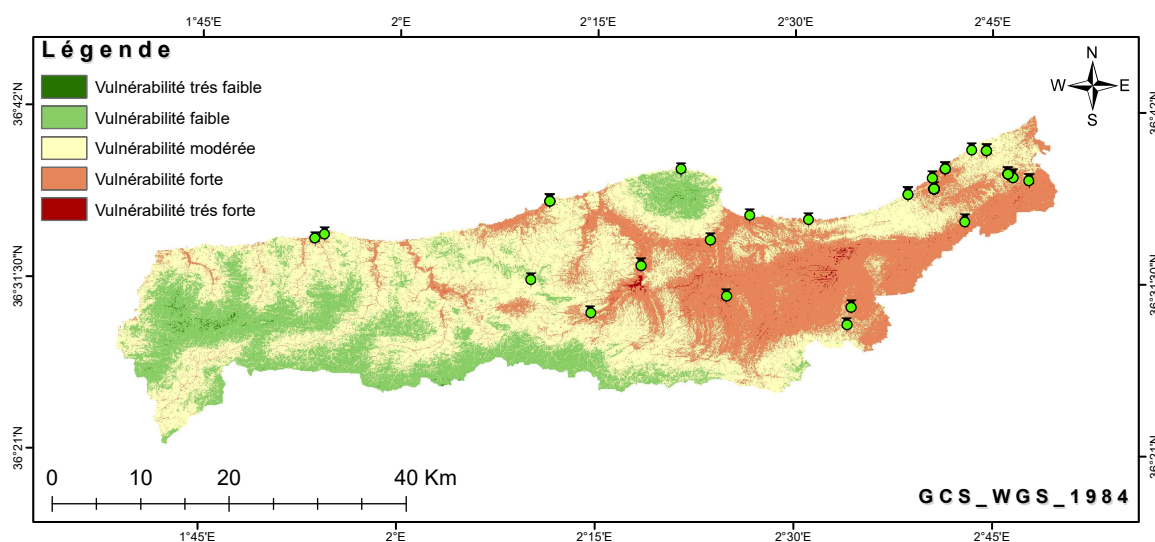


Figure 43: Carte montrant la distribution spatiale des principales inondations enregistrées dans la wilaya de Tipaza superposées à la carte de vulnérabilité

4.4.2 Analyse de la vulnérabilité des communes côtières de la wilaya de Tipaza

La **Figure 44** illustre la répartition spatiale des différentes classes de vulnérabilité aux inondations au sein des communes côtières étudiées. Les communes présentant une forte vulnérabilité affichent une superficie de 117,48 km², ce qui représente environ 21,6% de la surface totale des zones de forte vulnérabilité de la wilaya et 15,63% de sa surface côtière totale. Elles se concentrent

principalement dans les wilayas de Khemisti, Douaouda et Bou Ismail, avec un taux de 76,06 %, 57,31 % et 54,46 %, respectivement de leurs superficies. Avec 412,65 km², soit 54,4% de la superficie côtière de la Wilaya, la vulnérabilité modérée aux inondations est plus répandue à Tipaza que les autres niveaux de vulnérabilité et se concentre principalement dans les communes de Fouka (86,65%), Ain Tagourait (78,82%), Hadjert Ennous (72,63%), Sidi Ghiles (69,83%), Bouharoun (68,29%) et Gouraya (66,16%). Les zones de faible vulnérabilité s'étendent sur 219,65 km², ce qui représente 28,96% de la superficie côtière totale considérée. Elles concernent notamment les communes de Damous (48,43%), Messelmoun (46,41%) et Larhat (46,42%) à l'ouest de Tipaza.

La **Figure 45** met en évidence que les communes côtières concentrent une superficie urbanisée de 67 km², ce qui correspond à 47,51% de la superficie urbanisée totale de la wilaya de Tipaza, avec un taux de population de 291402 habitants selon le recensement de l'ONS (2008). Cela révèle que les communes littorales regroupent une grande partie de la superficie urbanisée de la wilaya, dont l'urbanisation à forte vulnérabilité s'étend sur 86,15 km². Une concentration notable est observée dans les communes de Bou Ismail et Fouka, avec une urbanisation de près de la moitié de leur superficie (50,07% et 48,88%, respectivement). À l'inverse, les autres communes côtières qui présentent majoritairement des zones à vulnérabilité faible (Messelmoun, Hadjeret Ennous, Gouraya, Damous, Larhat, Sidi Ghiles) à modérée (Cherchel, Ain Tagourait, Tipaza, Khemisti, Douaouda), sont généralement localisées en dehors des principaux centres urbains, couvrant une superficie de 219,65 km² et 412,65 km², respectivement.

Conformément à la loi 02-02³¹, cette classification spatiale des vulnérabilités permet de définir des zones prioritaires pour la protection et la gestion des espaces littoraux, car les zones urbanisées en proximité immédiate de la mer ou des oueds sont les plus exposées aux risques d'inondations, puisque elles cumulent les effets de la montée des eaux, du ruissellement urbain et de la saturation des réseaux d'assainissement (NOURI et OZER, 2015). Les zones classées à forte ou très forte vulnérabilité, sont considérées comme des « zones critiques » selon la loi 09-29³² relative à l'aménagement et à l'urbanisme. Dans ces secteurs, toute nouvelle construction ou aménagement est strictement interdit afin de protéger les sols et la ligne côtière contre l'érosion et la dégradation.

³¹ <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2002/F2002010.PDF>

³² <https://www.ogef.dz/pdf/files/Loi-90-29.pdf>

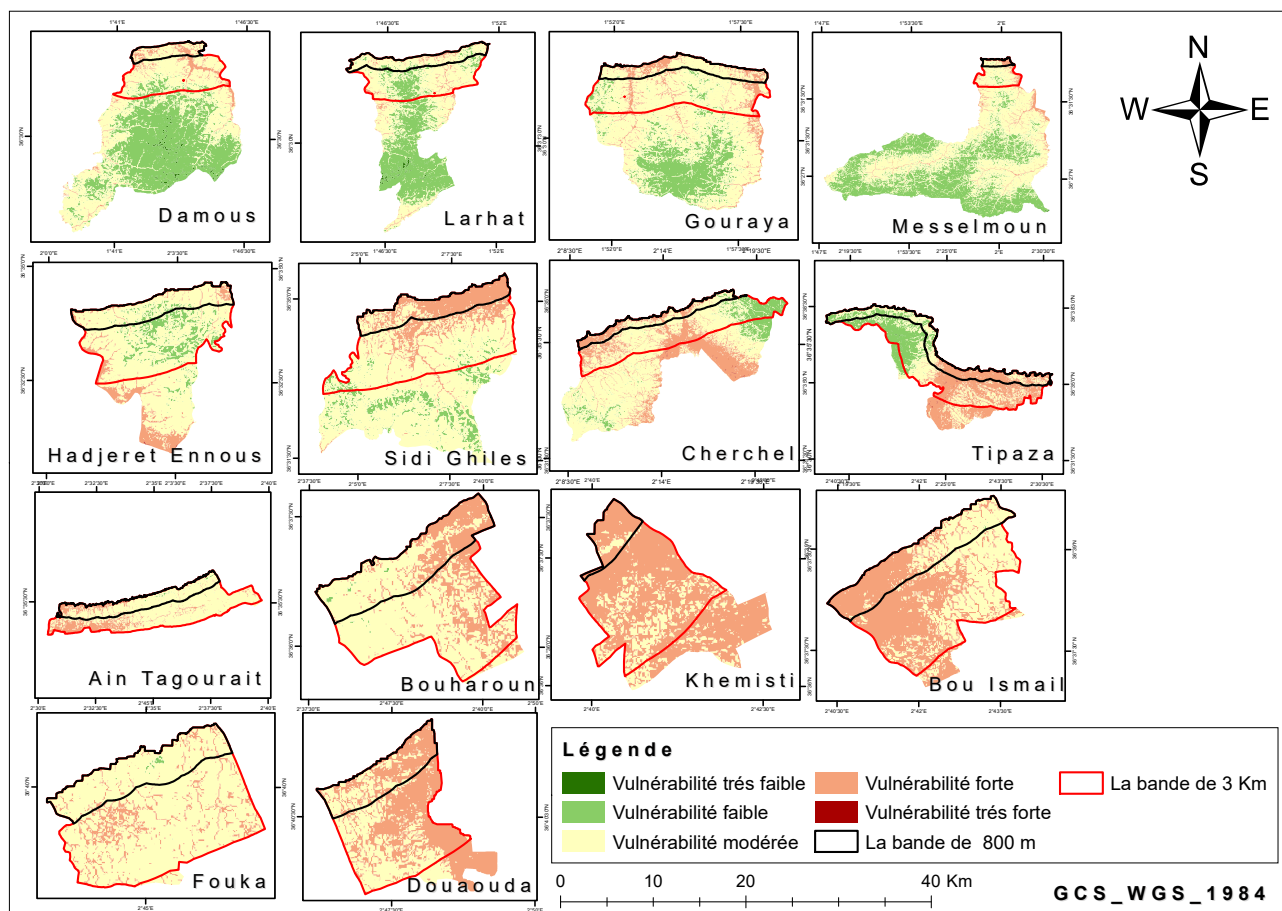


Figure 44: Carte de la vulnérabilité des communes côtières de la wilaya de Tipaza aux risques d'inondations

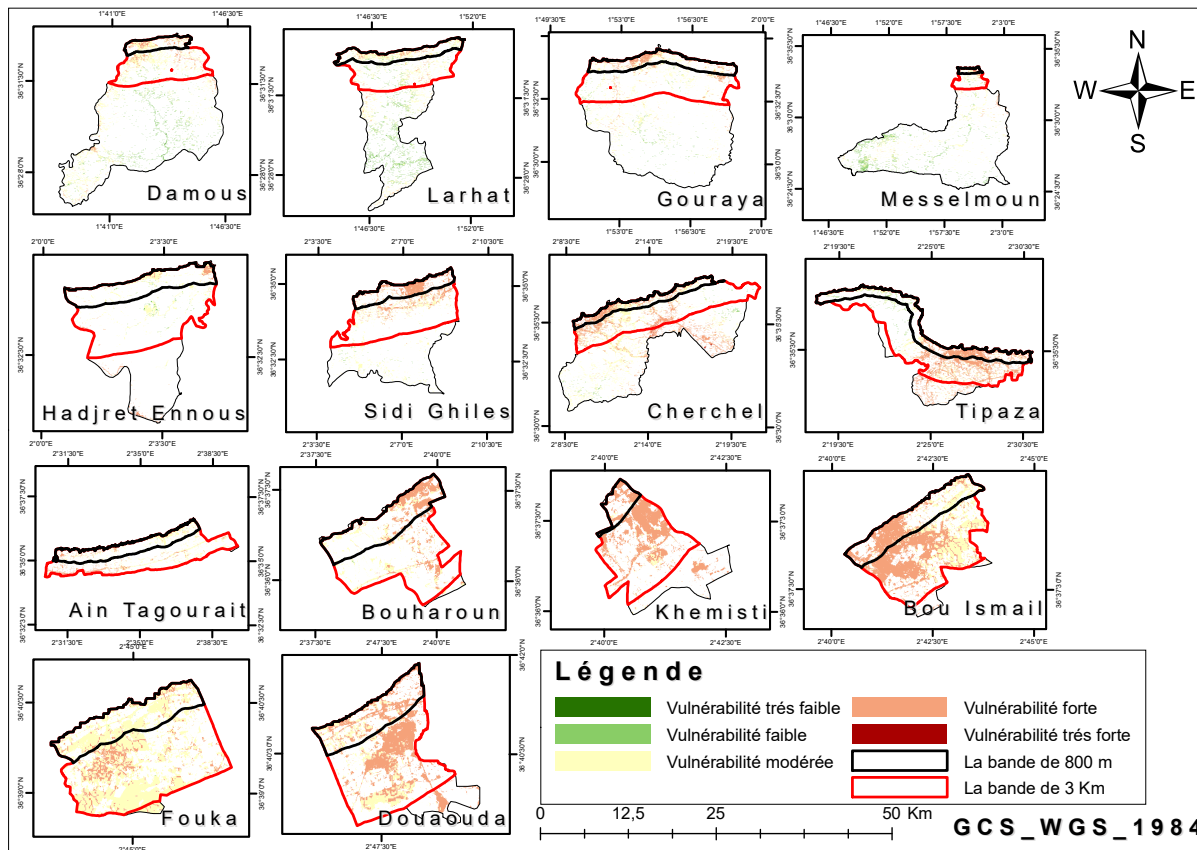


Figure 45: Carte de distribution de l'urbanisation des communes côtières de la wilaya de Tipaza selon leurs vulnérabilités aux inondations

Conclusion

Conclusion générale

Ce travail a porté sur les catastrophes naturelles, et plus particulièrement sur les inondations et feux de forêts dans la wilaya de Tipaza. À travers une approche spatio-temporelle, l'étude a permis de retracer l'évolution de ces phénomènes au fil du temps et d'en identifier les principales causes et dynamiques. Pour les inondations, une forte hausse a été observée à partir des années 2000, avec un pic en 2017 où 21 inondations ont été enregistrées, notamment dans les communes de Koléa, Bou Ismaïl et Cherchell. Les crues d'oued représentent 55 % des cas, concentrés principalement en automne et en hiver. Quant aux feux de forêts, les années 2012 et 2020 ont été les plus critiques, avec respectivement 7 200 et 3 500 hectares brûlés, notamment à Cherchell, Gouraya et Nador. La majorité des surfaces détruites concerne les forêts et les maquis. Ces résultats soulignent l'évolution rapide de ces risques, liés à une combinaison de facteurs (le changement climatique, l'urbanisation anarchique et facteurs humains), et confirment la nécessité de renforcer les stratégies locales de prévention et d'adaptation.

Parallèlement, une étude de vulnérabilité a été spécifiquement menée pour les inondations en utilisant une analyse multicritère AHP qui combinait neuf paramètres différents conditionnant la vulnérabilité de la zone d'étude : altitudes, pentes, densité de drainage, TWI, occupation des sols, NDVI, types de sols, précipitations annuelles moyennes et distance des oueds. Les résultats révèlent que 38 % du territoire présente une vulnérabilité élevée aux inondations, en particulier dans les zones d'accumulations des eaux et fortement urbanisées, situées dans la partie orientale et nord-est de la wilaya, au niveau des bassins versants Mazafran, Nador, El Hachem. À l'inverse, les zones du sud-ouest de la wilaya, telles que Sidi Rached ou Menaceur, présentent une vulnérabilité faible, grâce à des conditions géographiques plus favorables et une moindre pression urbaine. La validation de nos résultats a prouvé la pertinence de la carte de vulnérabilité où 95 % des inondations enregistrées à Tipaza ont touché les communes qui se trouvent dans les zones de forte vulnérabilité aux inondations en causant des dégâts matériels et humains.

L'apport principal de cette étude réside dans la production d'outils d'aide à la décision, notamment à travers la cartographie thématique et l'analyse intégrée des risques naturels dans la wilaya de Tipaza. Elle souligne l'importance d'une approche territoriale fondée sur la lecture croisée des données spatiales, permettant d'identifier les zones prioritaires en matière de prévention et de gestion des aléas. Les résultats obtenus offrent une base solide pour les autorités locales, les urbanistes, les gestionnaires de l'environnement et les services de la protection civile, dans l'objectif de renforcer la résilience du territoire face aux inondations et aux feux de forêts. À la

lumière de ce travail, plusieurs perspectives se dessinent pour approfondir les connaissances et améliorer les stratégies locales :

- Élargir l'analyse de vulnérabilité aux feux de forêts, en appliquant une méthode multicritère pour identifier les zones à risque élevé.
- Intégrer des données climatiques prospectives basées sur des scénarios de changement climatique, afin d'anticiper l'évolution future des aléas.
- Utiliser les résultats comme base d'élaboration d'un plan d'aménagement territorial intégré, conciliant urbanisme, prévention des risques et préservation des ressources naturelles.
- Renforcer les dispositifs de surveillance et les systèmes d'alerte précoce, notamment dans les zones forestières et urbaines à forte densité.
- Développer des programmes de sensibilisation et de formation à la culture du risque, à destination des habitants, des scolaires et des décideurs locaux.
- Adopter une approche multi-aléas, en croisant les risques hydrologiques, climatiques et humains pour construire une stratégie de gestion résiliente et durable, adaptée aux spécificités territoriales de Tipaza.

Bibliographie

Références bibliographiques

- AKINDELELE, A.A., TODOME, L., 2021. Flood risk assessment by a multicriteria spatial analysis in the municipalities of Pobè and Adja-Ouèrè. *Int. J. Engl. Lit. Soc. Sci.* 6, 120–131. <https://doi.org/10.22161/ijels.63.20>
- ALEXANDRIAN, D., F. ESNAULT, G. CALABRI, 1998. Feux de forêt dans la région méditerranéenne [WWW Document]. URL <https://www.fao.org/4/x1880f/x1880f07.htm> (accessed 5.15.25).
- ANP, 2022. Engagement d'hélicoptères de l'ANP dans les opérations d'extinction des feux de forêts [WWW Document]. URL https://www.mdn.dz/site_principal/sommaire/actualites/fr/2022/ao-ut/incendi14082022fr.php (accessed 2.23.25).
- BABA HAMED, K.B., BOUANANI, A., 2016. Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : Cas du bassin versant de la Tafna. (Nord-ouest algérien).
- BACHAR, K., 2018. Le risque sismique : une menace permanente sur le Nord algérien. *RURAL-M Études Sur Ville*. <https://doi.org/10.58079/tuay>
- BELKAID, H., 2016. Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie : Cas de la Kabylie maritime (phdthesis). Université Nice Sophia Antipolis.
- BELLOUT, A., FOUDIH, A., 2015. Bilan écologique et socio-économique des reboisements dans la wilaya de Tipaza. Blida.
- BENDERRADJI, M.E.H., ALATOU, D., ARFA, A.M.T., 2004. Bilan des incendies de forêts dans le Nord-Est algérien Cas de Skikda, Annaba et El tarf, période 1990-2000 - Notre bibliothèque - Forêt Méditerranéenne. *NEW MEDIT* 35–41.
- BENKHEIRA, 2018. LES-FEUX-DE-FORTS-EN-ALGRIE--ANALYSE-ET-PERSPECTIVES.
- BOLAKONGA, I., OZER, P., 2007. Analyse de la variabilité des précipitations sahéliennes et évaluation des impacts sur l'environnement de quelques localités nigériennes et maliennes.
- BOUDERBALA, A., 2015. Contribution des méthodes hydrochimiques et Géophysiques A l'Acquisition de la Mineralisation dans les zones cotières cas de la nappe Alluviale de l'oued nador –Tipaza (Algerie (Thesis). REMINI Boualem.
- BOUTAGHANE, H., BOULMAIZ, T., LAMECHE, E.K., LEFKIR, A., HASBAIA, M., ABDELBAKI, C., MOULAHOU, A.W., KEBLOUTI, M., BERMAD, A., 2022. FLOOD ANALYSIS AND MITIGATION STRATEGIES IN ALGERIA, IN: SUMI, T., KANTOUSH, S.A., SABER, M. (Eds.), *Wadi Flash Floods: Challenges and Advanced Approaches for Disaster Risk Reduction*. Springer, Singapore, pp. 95–118. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2904-4_3
- BRAHIMI, A.F., GUELMANE, M.A., 2015. Élaboration des pluies de projet des régions d'Alger et Tipasa, modélisation du réseau de collecte de la wilaya d'Alger et identification des points à risque de débordement pour différentes échéances.
- CALENDA, 2024. Vulnérabilités et agentivités en Méditerranée [WWW Document]. URL <https://calenda.org/1212166> (accessed 5.15.25).
- CALVIN, K., DASGUPTA, D., KRINNER, G., MUKHERJI, A., THORNE, P.W., TRISOS, C., ROMERO, J., ALDUNCE, P., BARRETT, K., BLANCO, G., CHEUNG, W.W.L., CONNORS, S., DENTON, F., DIONGUE-NIANG, A., DODMAN, D., GARSCHAGEN, M., GEDEN, O., HAYWARD, B., JONES, C., JOTZO, F., KRUG, T., LASCO, R., LEE, Y.-Y., MASSON-DELMOTTE, V., MEINSHAUSEN, M., MINTENBECK, K., MOKSSIT, A., OTTO, F.E.L.,

PATHAK, M., PIRANI, A., POLOCZANSKA, E., PÖRTNER, H.-O., REVI, A., ROBERTS, D.C., ROY, J., RUANE, A.C., SKEA, J., SHUKLA, P.R., SLADE, R., SLANGEN, A., SOKONA, Y., SÖRENSON, A.A., TIGNOR, M., VAN VUUREN, D., WEI, Y.-M., WINKLER, H., ZHAI, P., ZOMMERS, Z., HOURCADE, J.-C., JOHNSON, F.X., PACHAURI, S., SIMPSON, N.P., SINGH, C., THOMAS, A., TOTIN, E., ARIAS, P., BUSTAMANTE, M., ELGIZOULI, I., FLATO, G., HOWDEN, M., MENDEZ-VALLEJO, C., PEREIRA, J.J., PICHES-MADRUGA, R., ROSE, S.K., SAHEB, Y., SANCHEZ RODRIGUEZ, R., ÜRGE-VORSATZ, D., XIAO, C., YASSAA, N., ALEGRIA, A., ARMOUR, K., BEDNAR-FRIEDL, B., BLOK, K., CISSE, G., DENTENER, F., ERIKSEN, S., FISCHER, E., GARNER, G., GUIVARCH, C., HAASNOOT, M., HANSEN, G., HAUSER, M., HAWKINS, E., HERMANS, T., KOPP, R., LEPRINCE-RINGUET, N., LEWIS, J., LEY, D., LUDDEN, C., NIAMIR, L., NICHOLLS, Z., SOME, S., SZOPA, S., TREWIN, B., VAN DER WIJST, K.-I., WINTER, G., WITTING, M., BIRT, A., HA, M., ROMERO, J., KIM, J., HAITES, E.F., JUNG, Y., STAVINS, R., BIRT, A., HA, M., ORENDAIN, D.J.A., IGNON, L., PARK, S., PARK, Y., REISINGER, A., CAMMARAMO, D., FISCHLIN, A., FUGLESTVEDT, J.S., HANSEN, G., LUDDEN, C., MASSON-DELMOTTE, V., MATTHEWS, J.B.R., MINTENBECK, K., PIRANI, A., POLOCZANSKA, E., LEPRINCE-RINGUET, N., PEAN, C., 2023. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

DAS, S., 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. Arab. J. Geosci. 11, 576. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3933-4>

DELMONTE, F., 2023. Le pourtour méditerranéen victime d'incendies violents [WWW Document]. mesinfos. URL <https://mesinfos.fr/provence-alpes-cote-d-azur/le-pourtour-mediterraneen-victime-d-incendies-violents-180843.html> (accessed 2.21.25).

DGF, 2016. La Direction Générale des Forêts [WWW Document]. URL <http://dgf.org.dz/fr> (accessed 3.7.25).

DGF [WWW Document]. Google My Maps. URL <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1z8vns1K5WjLCzkvuGL1mEyCKN3I> (accessed 2.24.25). Évaluation des ressources forestières mondiales (FRA) 2020 Algérie.pdf.

FAO, 2007. Les Forêts [WWW Document]. URL <https://www.greenfacts.org/fr/forets/index.htm> (accessed 2.21.25).

FAO, 2001. Rapport de la réunion 1 [WWW Document]. URL <https://www.fao.org/4/x2095f/x2095f04.htm> (accessed 3.6.25).

FATTASSE, H., LAHRICHI, K., LAARAJ, M., OKACHA, A., 2025. Analyse des facteurs responsables de l'apparition des inondations et leurs impacts dans le bassin versant de l'Oued Lahdar (Haut Inaouène, Maroc). Rev. Int. Rech. Sci. Rev.-IRS 3, 354–366. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14780499>

GALLINAL ARIAS, A., HAZIZA, L., MARINHO FERNANDES, M., MATHIEU, M., NELSON-GABIN, L., PANAGET, J., 2024. Éditorial. Mutat. En Méditerranée.

GEIST, H.J., LAMBIN, E.F., 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. BioScience 52, 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)

GIL, M., DIEULIN, C., 2009. Mémoire de Master de Impact du changement climatique global sur les régimes hydroclimatiques au Maroc : tendances, ruptures et effets anthropiques sur les écoulements.

HADDOUCHE, F., 2023. Tipaza : Incendie de forêt sur les hauteurs de Messelmoune. Patrie News. URL <https://lapatrienews.dz/tipaza-incendie-de-foret-sur-les-hauteurs-de-messelmoune/> (accessed 2.23.25).

HADJADJI, C., MEROUANE, K., 2022a. Cartographie de la sensibilité aux inondations à l'aide d'un modèle de hiérarchie analytique basé sur la télédétection et les SIG dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-Ouest de l'Algérie) (Master en Hydraulique). Université Djillali Liabès, Sidi Bel-Abbès.

HADJADJI, C., MEROUANE, M.K., 2022b. Cartographie de la sensibilité aux inondations à l'aide d'un modèle de hiérarchie analytique basé sur la télédétection et les SIG dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-Ouest de l'Algérie).

INTERIEUR GAOV, 2021. Industrie et mines [WWW Document]. URL https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=2369&wilaya=42 (accessed 2.24.25).

KERAGHEL, M.A., GAOUAOU, F., 2024. Assessing flood dynamics in Algiers, Algeria: influence of land cover change and precipitation regimes. *Theor. Appl. Climatol.* 156, 15. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05226-9>

MACCARTHY, J., TYUKAVINA, S., WEISSE, M., HARRIS, N., 2024. Les dernières données disponibles confirment que les feux de forêts se multiplient.

MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PIRANI, A., CONNORS, S.L., PEAN, C., BERGER, S., CAUD, N., CHEN, Y., GOLDFARB, L., GOMIS, M.I., HUANG, M., LEITZELL, K., LONNOY, E., MATTHEWS, J.B.R., MAYCOCK, T.K., WATERFIELD, T., YELEKÇI, Ö., YU, R., ZHOU, B. (Eds.), 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

MAYER NATHALIE, 2023. Découvrez les 5 plus grandes forêts du monde [WWW Document]. URL <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/foret-decouvrez-5-plus-grandes-forets-monde-8550/> (accessed 2.21.25).

MEBARKI, A., BOUGHERARA, A., DE CONFERENCES, M., LOUAMRI, A., DE CONFERENCES, M., BOUHATA, R., DE CONFERENCES, M., KHANCHOU, K., DEMDOUM, A., 2021. Etude du flux hydro-sédimentaire de la Soummam. Effets sur l'évolution de trait de côte et les infrastructures : port et aéroport de Bejaia (Est algérien).

MENAD, W., JOHNNY, D., GILLES, A.-F., 2009. Risques naturels en Méditerranée Occidentale.

MOULFI, A., PAUC, H., 2012. LES SÉDIMENTS RÉCENTS DE LA BAIE DE BOU-ISMAÏL (OUEST ALGÉROIS). *NATURE, ORIGINE ET MÉCANISMES DE MISE EN PLACE.* 23.

NGUYEN, P., SHEARER, E.J., OMBADI, M., GOROOH, V.A., HSU, K., SOROOSHIAN, S., LOGAN, W.S., RALPH, M., 2020. PERSIANN Dynamic Infrared–Rain Rate Model (PDIR) for High-Resolution, Real-Time Satellite Precipitation Estimation. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0118.1>

NOURI, M., OZER, A., 2015. Carte des risques de la baie de Tipaza (Algérie).

- NOURI, MYRIEM, OZER, A., 2014a. Le tissu urbain face aux risques naturels Cas de la baie de Tipaza-Algérie.
- NOURI, MYRIEM, OZER, A., 2014b. Le tissu urbain face aux risques naturels Cas de la baie de Tipaza-Algérie.
- NOURI, OZER, A., 2014. Le tissu urbain face aux risques naturels : Cas de la baie de Tipaza-Algérie.
- ONS : Office National des Statistiques [WWW Document], 2008. URL <https://www.ons.dz/spip.php?rubrique43> (accessed 6.11.25).
- ONS [WWW Document], 2023. URL <https://www.ons.dz/> (accessed 3.6.25).
- Population et emploi [WWW Document], n.d. URL https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=1899&wilaya=42 (accessed 2.23.25).
- RAMOS, A., CUNHA, L., CUNHA, P.P., 2014. Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : Figueira da Foz – Nazaré.
- REMINI, B., 2010. LA PROBLÉMATIQUE DE L'EAU EN ALGÉRIE [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/339213927_LA_PROBLEMATIQUE_DE_L'EAU_EN_ALGERIE (accessed 5.2.25).
- ROUSE, J., HAAS, R.H., DEERING, D., SCHELL, J.A., HARLAN, J.C., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. *Tex. M Univ. Remote Sens. Cent.* 390.
- SAATY, R.W., 1987. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Model.* 9, 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- SAATY, T.L., 1991. Método de análise hierárquica, in: *Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* Português. São Paulo, McGraw-Hill, Makron, p. 367p.
- TRAORE, KINAKPEFAN MICHEL, 2023. Évaluation du risque d'inondation par intégration du SAGA Wetness Index (SAGAWI) et de l'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) : cas du District Autonome d'Abidjan. *Belg. Rev. Belge Géographie.* <https://doi.org/10.4000/belgeo.60310>
- TRAORE, KINAKPEFAN MICHEL, 2023. Evaluation à l'aide du SAGA Wetness Index de l'inondabilité dans le District Autonome d'Abidjan, Côte d'Ivoire.
- UNDRR, CRED, 2020. The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019) | UNDRR [WWW Document]. URL <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019> (accessed 5.15.25). Une nouvelle ville à Tipasa - Horizons, 2024. URL <https://www.horizons.dz/?p=185066> (accessed 5.10.25).
- VEYRET, Y., 2012. Publications - Futuribles. <https://www.futuribles.com/>. URL <https://www.futuribles.com/publications/> (accessed 5.15.25).
- XANTHOULIS, D., DEGRE, A., DEBAUCHE, O., TADRIST, N., REMINI, B., 2016. Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie) [WWW Document]. <https://popups.uliege.be/1780-4507/>. URL <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13281&format=print> (accessed 4.28.25).
- YAMEOGO, H., 2023. Encadreur : Mme. HALLOUCHE OUASSILA.

ZERROUKI, C., BELKADI, 2014. Etude de la géomorphologie dynamique du Sahel de Alger Cas de la région de Mahelma.

ZIADI, S.R., KERAGHEL, M.A., 2023. Flooding vulnerability in Algiers (Algeria): an analytic hierarchy process. Nat. Hazards 120, 6199–6221. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06471-x>

Annexes

Annexes

Annexe 1

Plans de gestion des risques majeurs en Algérie

Avoir un cadre juridique solide et des stratégies dédiées à la gestion et à la minimisation des risques de catastrophe est essentiel afin de prévenir d'autres risques et renforcer la résilience à tous les niveaux, y compris parmi la population. On considère de plus en plus la gestion des risques liés aux catastrophes comme une démarche transversale nécessitant la participation des intervenants à tous les niveaux et au sein des divers domaines impliqués. L'Algérie a subi une transformation de son système de gouvernance en matière de gestion des risques. Elle a évolué d'une approche centrée sur la réponse aux catastrophes vers une vision plus large qui englobe la gestion, l'anticipation et la minimisation des risques. Cette évolution prend en compte les leçons tirées des catastrophes de grande envergure qui ont frappé le pays.

A. Inondation

Le système algérien de gestion des risques et des urgences est réglementé par plusieurs lois et décrets qui visent à prévenir, intervenir et à réduire les risques des catastrophes dans le cadre du développement durable, dont un seul qui s'intéresse spécifiquement au risque d'inondation. Il s'agit de « la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques et la gestion des catastrophes, dans le cadre du développement durable ». Une nouvelle loi n° 24-04 du 26 février 2024, a été promulguée. Elle vise à renforcer la capacité de l'Algérie à gérer les inondations de manière proactive et efficace en apportant plusieurs changements significatifs par rapport à la loi précédente. Dans cette nouvelle loi, les inondations sont placées en troisième position comme un risque majeur touchant le pays, après les séismes et les risques géologiques.

Conformément à cette loi, des prescriptions particulières en matière de prévention des risques d'inondations sont établies afin de garantir la sécurité des personnes et des biens face à ce phénomène naturel. **Le plan général de prévention des risques d'inondations** doit définir la classification des zones exposées aux inondations selon le niveau de risque pour garantir une communication appropriée et organiser un rééquilibrage des implantations et le redéploiement des établissements humains. Les autorisations d'occupation des sols, de lotissement ou de construction sont soumises à l'obligation de préciser, sous peine d'annulation, l'ensemble des travaux, aménagements, réseaux de canalisations ou ouvrages de correction destinés à réduire ce risque. Par ailleurs, le plan doit comprendre plusieurs éléments clés, y compris une carte nationale des zones inondables qui inclut les lits des oueds et les zones situées en aval des barrages en cas de

rupture. D'autres critères importants comprennent les aléas de référence pour un minimum centennal, la carte représentant les enjeux et la hauteur de référence pour chaque zone déclarée inondable. Dans ces zones, une servitude et une interdiction de construction sont imposées.

Après avoir abordé le cadre réglementaire qui encadre la gestion des inondations en Algérie, il est essentiel de se pencher sur les organismes et les stratégies nationales qui jouent un rôle crucial dans la prévention et la gestion de ces catastrophes :

- Différents organismes clés collaborent au sein d'une stratégie nationale intégrée visant à réduire les impacts des inondations grâce à des actions préventives, éducatives et d'intervention rapide en cas de crise. Le Ministère des Ressources en Eau (**MRE**) est responsable de la gestion des ressources en eau et de la protection contre les inondations, en élaborant des stratégies nationales pour gérer les risques, identifier les sites à risque et réaliser des projets d'aménagement. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (**ANRH**) gère l'inventaire des ressources en eau et élabore les périmètres de prévention du risque d'inondation (**PPRI**), tout en collectant des données hydrologiques pour la cartographie des zones inondables. L'Agence Nationale des Barrages et Transferts (**ANBT**) supervise la construction et la gestion des barrages et infrastructures de transfert d'eau, contribuant ainsi à la régulation des crues et à la protection contre les inondations. L'Office National de l'Assainissement (**ONA**) est chargé de l'assainissement urbain et de l'épuration des eaux usées, ce qui est essentiel pour réduire les risques liés à la gestion des eaux pluviales. L'Algérienne des Eaux (**ADE**), responsable de la distribution d'eau potable, participe également à la gestion des ressources en eau pour prévenir les inondations. Les Agences de Bassin Hydrographiques (**ABH**), quant à elles, gèrent les bassins hydrographiques et élaborent des plans de gestion pour prévenir les inondations. La Direction Générale de la Protection Civile coordonne les interventions d'urgence lors d'inondations, mobilisant les secours pour assurer la sécurité des populations touchées. Enfin, l'Institut National de Perfectionnement de l'Équipement (**INPE**) forme le personnel sur les techniques modernes de gestion des risques d'inondation.
- **La Stratégie Nationale de Gestion des Risques d'Inondation** vise à réduire la vulnérabilité aux inondations et à atténuer leurs impacts sur les populations et les infrastructures. Elle adopte une approche intégrée, combinant des mesures structurelles comme la construction de barrages écrêteurs et de digues, et des mesures non structurelles telles que l'amélioration de la prévision météorologique et la sensibilisation du public. La gestion des risques est intégrée dans la planification territoriale pour prendre en compte les

zones à risque dans les plans d'urbanisme. Un système d'alerte précoce est mis en place pour une prise de décision efficace, avec l'utilisation de technologies avancées comme la télédétection et les SIG.

- **Le Plan National de l'Eau (PNE)** est un document stratégique qui vise à gérer de manière intégrée les ressources en eau du pays. Il définit les objectifs et les priorités nationales pour couvrir les besoins en eau potable, industrielle et agricole, tout en assurant une bonne gouvernance du secteur. Le plan se concentre sur la mobilisation des ressources en eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement, l'irrigation, et la gestion intégrée des bassins hydrographiques. Il est régulièrement actualisé pour refléter les nouveaux défis, notamment les changements climatiques et la gestion des risques d'inondation, et vise à équilibrer les besoins économiques, sociaux et environnementaux.
- **La Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC)** en Algérie est une stratégie nationale qui vise à promouvoir un développement durable et équilibré des zones côtières. Elle a pour objectif de faciliter une utilisation rationnelle des ressources côtières et marines tout en garantissant la protection de l'environnement et la biodiversité. La GIZC implique une intégration horizontale pour assurer la cohérence entre les politiques publiques sectorielles et une intégration verticale pour décliner les objectifs stratégiques à toutes les échelles territoriales.

B. Feux de forêts

Depuis son indépendance, l'Algérie a adhéré à de nombreuses conventions internationales visant à protéger la biodiversité et les forêts. Cependant, le pays figure parmi les 24 zones les plus vulnérables au changement climatique, selon le GIEC. Ses engagements internationaux incluent également la gestion des risques de catastrophes.

Durant la période coloniale, la législation forestière en vigueur interdisait aux populations riveraines l'accès aux forêts et s'accompagnait d'une politique de répression stricte. Avec le temps, cette législation est devenue de moins en moins adaptée au contexte national, rendant sa révision indispensable. Non seulement elle présentait de nombreuses insuffisances en tant qu'outil juridique, mais elle devait aussi être alignée avec plusieurs textes législatifs adoptés depuis 1990 (DGF, 2016). La première tentative de révision de la Loi n°84-12 remonte à 1995, mais ce n'est qu'en 2007, avec l'appui technique de la FAO (Food and Agriculture organization), que des avancées significatives ont été réalisées (DGF, 2016). Un projet de loi a été rédigé, puis revu en 2012. En 2023, la Direction Générale des Forêts (DGF) a élaboré un nouveau projet de loi, baptisé

« **Loi forestière** », en adéquation avec le contexte national et les besoins actuels. Ce texte, adopté par l'Assemblée populaire nationale en juin 2023, introduit plusieurs avancées :

- L'ouverture de l'investissement dans le secteur forestier ;
- Le renforcement des règles de protection des forêts ;
- Une plus grande implication des populations des zones montagneuses et forestières ;
- L'élaboration d'un Plan national forestier, actualisant la Stratégie forestière 2035, avec un cadre juridique défini.

Concernant la gestion des risques majeurs, la prise en charge des incendies de forêt est intégrée dans la Loi 04-20 relative à la prévention des risques et à la gestion des catastrophes dans une optique de développement durable. Cette loi impose l'élaboration d'un **Plan général de prévention contre les feux de forêt**, définissant les mesures de prévention et les prescriptions de sécurité pour les zones forestières. La Loi 24-04 remplace cette dernière et prévoit également la mise en place d'un système national de gestion des catastrophes et l'organisation des secours (ORSEC) à différents niveaux (national, inter-wilayas, wilaya, commune et sites sensibles).

Pour combler certaines lacunes et préciser les modalités d'application de la Loi n°04-20, un projet de décret exécutif a été élaboré par la DNRM et la DGF. Ce décret fixe les mesures de prévention, de prévision et d'alerte à mettre en place dans les massifs forestiers et leurs environs. Il définit également les responsabilités des différents acteurs : secteur des forêts, collectivités locales, organismes compétents et particuliers. Les objectifs spécifiques de ce plan sont ambitieux :

- Une amélioration de 70 % de la sensibilisation du public aux risques d'incendies ;
- Une réduction de 70 % du nombre de départs de feux d'ici 2030 ;
- Une efficacité accrue des premières interventions, avec une diminution de 80 % des surfaces incendiées d'ici 2030.

Stratégies et plans d'action

Pour répondre au besoin du secteur, l'Algérie a élaboré divers stratégies opérationnelles et Plans d'action :

A. Le Plan national de reboisement (PNR)

Le Plan National de Reboisement a été adopté en 1999 avec pour objectif d'augmenter le taux de boisement de 11 à 14 % d'ici 2020. Selon la Direction de la Restauration des Terres et de Reboisement (DRTR) ce plan prévoyait la plantation de plus de 1,2 million d'hectares, soit environ 60 000 hectares par an, principalement dans le nord de l'Algérie. Il visait également à renforcer le

barrage vert, protéger 30 bassins versants, améliorer les sols sur 2,8 millions d'hectares, et renforcer la prévention et la lutte contre les incendies de forêt. De 2000 à 2022, le plan a permis le reboisement de 520 000 hectares de terres forestières, la réhabilitation de 34 000 hectares de terres pastorales et 301 000 hectares de terres agricoles à vocation fruitière. Pour la période 2023-2030, un programme est prévu pour réhabiliter, étendre et développer le barrage vert, aligné sur la Convention des Nations Unies contre la désertification (CNULCD) et contribuant à l'Accord de Paris sur le climat.

B. La Stratégie forestière à l'horizon 2035

La stratégie nationale forestière d'Algérie résulte d'un processus participatif mené par la Direction Générale des Forêts (DGF) pour analyser et améliorer la gestion des ressources forestières et alfatières. Cette stratégie vise à relever quatre défis majeurs :

1. Santé des Écosystèmes
2. Protection des Eaux et des Sols
3. Conservation de la Biodiversité
4. Production et Valorisation

Les objectifs ambitieux de cette stratégie incluent :

- Augmentation de la Superficie Boisée : Porter la superficie des terres boisées de 4,1 millions d'hectares à 5,1 millions d'hectares d'ici 2035.
- Aménagement Forestier : Augmenter la superficie des forêts sous aménagement de 0,19 million d'hectares à 1,54 million d'hectares d'ici 2035.
- Augmentation des récoltes de bois (de 130 000 à 500 000 m³ /an d'ici 2035), de liège (de 66 000 à 120 000 Qx/an d'ici 2035), de caroube (de 11 000 à 40 000 t/an d'ici 2035), etc.
- Diminution de la superficie incendiée moyenne (de 30 000 à 20 000 ha/an d'ici 2035)
- Diminution de l'indice de sensibilité à la désertification (de 45 à 40 % d'ici 2035).

Cette Stratégie est particulièrement ambitieuse avec un grand nombre d'indicateurs et au vu de la tendance observée de 2016 à 2022 (six années se sont écoulées et peu d'indicateurs ont évolué positivement), il est nécessaire de questionner sa pertinence dans la configuration des moyens financiers et techniques actuels de la DGF. L'appropriation de la Stratégie par l'ensemble du secteur forestier et son opérationnalisation (coordination et suivi) est aussi essentielle.

C. La Stratégie de prévention et de lutte contre les feux de forêt

Publié en 2021, elle présente des orientations stratégiques alignées sur les objectifs du Plan général de prévention contre les feux de forêt, ainsi qu'un plan d'action qui inclut :

- Amélioration de la Connaissance du Risque
- Réduction des Départs de Feu
- Efficacité de la Première Intervention

D. Le Plan national de prévention et de gestion des incendies de forêt (PNGIF) 2021-2030

Le PNGIF vise à atteindre plusieurs objectifs clés pour gérer efficacement les incendies de forêt en Algérie. Ses principaux objectifs incluent : La Prévention des Départs de Feu ; la Limitation des Conséquences ; la Reconstitution des Espaces Dégradés.

Le PNGIF propose également quatre orientations stratégiques pour atteindre ces objectifs :

- Amélioration de la Connaissance et de la Sensibilisation
- Amélioration des Conditions Pré- et Post-Opérationnelles
- Efficacité Opérationnelle
- Renforcement Institutionnel

E. Une Stratégie de communication propre à la DGF

La stratégie de communication de la DGF, mise en place en 2014 avec l'appui de la Banque mondiale, vise à atteindre plusieurs objectifs clés :

- Sensibilisation du Public
- Promotion de l'Engagement Forestier
- Engagement envers les Populations Rurales
- Mobilisation des Partenaires

Outils d'aménagement et gestion des forêts

Afin d'assurer la gestion et la protection de ses forêts, l'Algérie s'est dotée d'un ensemble d'outils d'aménagement parmi lesquels on peut citer : l'aménagement intégré des forêts domaniales et la gestion des aires protégées dont la DGF a la responsabilité. Les aménagements antiérosifs des bassins versants. Le système d'information sur les forêts constitue l'outil de gestion approprié pour faciliter à la fois l'aménagement des forêts et leur gestion et la prévention et la gestion des feux de forêts.

Gestion intégrée des feux de forêts

L'État algérien s'est attelé, depuis plusieurs années, à structurer une organisation globale cohérente pour gérer les feux de forêt et à mettre en place les moyens humains et matériels pour assurer la réduction du risque de feux de forêt.

Les grands incendies de forêt qui ont touché l'Algérie et d'autres pays méditerranéens en 2021 et 2022 ont placé la gestion de ce risque majeur au sommet des priorités des politiques publiques, alors que les effets du changement climatique se font de plus en plus sentir. En ce qui concerne la gestion et la protection des écosystèmes forestiers contre les incendies, le réseau d'acteurs impliqués est très dense. Pour garantir l'efficacité globale de cette gestion, il est crucial que chaque acteur assume son rôle de manière responsable.

Plusieurs acteurs jouent un rôle crucial dans la gestion, la prévention et la lutte contre les feux de forêt en Algérie : Direction Générale des Forêts (DGF) ; Direction Générale de la Protection Civile (DGPC) ; Collectivités Locales ; Gendarmerie Nationale (GN) ; Opérateurs Publics et Privés ; Autres Secteurs ; Comités de Riverains ; Scouts Musulmans Algériens et Associations de Chasseurs ; Citoyens.

Annexe 2

Bilan des inondations importantes ayant touchées l'Algérie

Tableau 8 : Recensement des inondations catastrophiques en Algérie (2000-2019)

Date	Lieu	Type de l'inondation	Les dégâts et les morts
28 /09/2000	BOU SAADA	Crues d'Oued Bou Saada	-01 mort, 01 disparu, 13 habitations détruites, 38 familles évacuées et 193 têtes de bétail emportées par les eaux.
14/10/2000	AIN TEMOCHENT	Crues d'oued El Maleh	-04 morts et plusieurs disparus. - Plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels
23/10/2000	NAAMA	Pluies et crues d'oued Naâma	Non précisé
10/11/2001	Le quartier de BAB-EL-OUED	Pluies et crues	Plus de 800 morts et 150 disparus et des pertes matérielles évaluées à plus de 30 milliards de DA
01/10/2008	Ghardaïa	Pluies et crue d'oued M'zab	-43 morts, 4 personnes disparus, 83 blessées. - 24073 habitations touchées.
12/2005 et 09/2009	ANNABA	Ruissèlement urbain suite à des pluies torrentielles	-Non précisé
15/09/2015	Tamanrasset	Pluies et crue d'Oued Amsel	-Des pertes humaines importantes 13 victimes et Des pertes matérielles considérables.
Janvier et Février 2019	ANNABA	Fortes pluies	-Des dizaines de voitures ont été submergées par les eaux et Des habitants ont dû utiliser des barques pour se rendre chez eux, et s'approvisionner.
25/05/2023	Tipaza (Fouka)	Fortes pluies	-La mort d'un enfant -L'arrêt d'activités du port de pêche de Khemisti et l'inondation de l'abri de pêche de Fouka par les boues

Annexe 3

Bilan des feux de forêts en Algérie

Tableau 9 : Statistiques des feux de forêts en Algérie (2017-2023)

Date	Wilayas les plus affectés	Superficie brûlée (ha)	Cibles touchées	Réactions gouvernementales
2017	-Tizi Ouzou - Médéa (forêt El Hamdania)	53 975	- 2 992 foyers -Végétation : Forêts :28841(ha) Maquis :10398(ha) Broussailles :147455(ha)	- 405 postes de vigie pour la surveillance. - 481 brigades mobiles pour les interventions initiales. - Un total de 1007 éléments mobilisés pour la lutte contre les incendies.
2019	- Tizi Ouzou, Béjaïa, Bouira, Skikda, Jijel.	13 000	- La mort de trois personnes. -Végétation détruits.	- Les autorités ont mis en place des mesures pour prévenir les incendies, y compris l'interdiction des pique-niques dans les forêts.
2021	- la région de Kabylie.	100 000	- 1 631 foyers d'incendie ont été enregistré à travers 21 wilayas . - la mort d'au moins 126 personnes . - Des pertes économiques majeures , détruisant des ressources forestières, des infrastructures et du bétail. Les dégâts concernent notamment les ruches, d'animaux d'élevage (bovins, ovins, caprins) et les cultures agricoles.	- Le gouvernement a instauré un deuil national et créé une commission pour évaluer les pertes et indemniser les sinistrés. Des mesures préventives ont été renforcées, avec une surveillance accrue des forêts et des campagnes de sensibilisation sur les risques d'incendie.
2022	- Béjaïa, Jijel, Sétif, Khenchela, El Tarf, Tébessa, Souk Ahras, Skikda et Tipaza.	26 000	- 43 personnes ont perdu la vie - Plus de 200 personnes ont été blessées (une cinquantaine de personnes ont été hospitalisées à El Tarf) -5 728 hectares de forêts . - 9 661 hectares de broussailles , 6970 hectares de maquis , 1638 hectares d'arbres fruitiers en montagne et 80 hectares d'alfa	- Le gouvernement a lancé une opération d'indemnisation pour les personnes sinistrées, en particulier dans les wilayas d'El Tarf, Guelma et Souk Ahras. - Le secteur a mis en place des mesures d'urgence pour relancer l'activité agricole dans les wilayas les plus touchées. - Des hélicoptères bombardiers d'eau, y compris un avion russe Beriev BE 200, ont été utilisés pour lutter contre les incendies.
2023	- Boumerdès, Béjaïa, Tizi Ouzou et Skikda	41 000	- 34 personnes ont trouvé la mort, et 194 ont été blessées. - Le coût des dégâts s'élève à 4,5 milliards de dinars . - les zones plantées en arbres fruitiers et certaines zones montagneuses.	- Pour combattre les incendies, 8 000 sapeurs-pompiers et 529 engins ont été déployés, avec le soutien d'avions et d'hélicoptères, L'intervention coordonnée de l'ANP, de la Protection civile, de la société civile, de l'ONM et de l'ASAL a permis de maîtriser les feux.

Annexe 4

Découpage administratif de la wilaya de Tipaza

Tableau 10: Communes et daïras de la wilaya de Tipaza

DAIRA	COMMUNES
TIPAZA	TIPAZA
KOLEA	KOLEA / CHAIBA / ATATBA
CHERCHELL	CHERCHELL / SIDI-GHILES / HADJRET-ENNOUS / SIDI-SEMIANE
HADJOUT	HADJOUT / MERAD
GOURAYA	GOURAYA / MESSELMOUN / AGHBAL
FOUKA	FOUKA / DOUAOUDA
BOU-ISMAIL	BOU ISMAIL / AIN TAGOURAIT / BOU HAROUN / KHEMISTI
DAMOUS	DAMOUS / LARHAT / BENI MILLEUK
SIDI AMAR	SIDI AMAR / NADOUR / MENACEUR
AHMEUR EL AIN	AHMEUR EL AIN / BOURKIKA / SIDI RACHED

Source : (BELLOUT et FOUDIH , 2015)

Annexe 5

Les différentes occupations forestières de Tipaza

Tableau 11: Répartition des superficies forestières par essences dans la wilaya de Tipaza.

Essences	Superficie (ha)	Importance de l'essence forestière (%)
Pin d'Alep	22 452	55,69
Chêne Vert	6 857	17,01
Chêne Liège	2 812	6,98
Eucalyptus	547	1,36
Pin Maritime	186	0,46
Pin Pignon	85	0,21
Thuya	42	0,1
Peuplier	35	0,09
Cyprès	16	0,04
Eucalyptus, Orme et Frêne	413	1,02
Maquis et Broussaille	6 870	17,04
TOTAL	40 315	100%

Source : (DGF, 2014.)

Annexe 6

Tableau 12: Echelle proposée par SAATY (1991)

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux éléments contribuent de manière équivalente à l'objectif.
3	Faible importance	Une caractéristique est légèrement favorisée par rapport à une autre.
5	Importance forte	Une caractéristique est fortement favorisée par rapport à une autre.
7	Importance très forte	Une caractéristique est très fortement favorisée, dominance attestée dans la pratique.
9	Importance absolue	La preuve en faveur d'une caractéristique est la plus convaincante possible.
2, 4, 6, 8	Jugements intermédiaires	Valeurs utilisées pour exprimer des compromis entre les niveaux principaux.

Tableau 13: Critères de causalité des inondations à Tipaza

	Critères de causalité d'inondations	unité	Intervalle des Classes	Classes de susceptibilité	Taux de susceptibilité	Pondération (%)
1	Elévation (MNT)	m	1389 à 764	Très faible	1	14
			764 à 526	Faible	2	
			526 à 321	Modérée	3	
			321 à 149	Forte	4	
			149 à 0	Très forte	5	
2	Pente	Degree °	37,7 à 10,9	Très faible	1	14
			10,9 à 7,5	Faible	2	
			7,5 à 4,8	Modérée	3	
			4,8 à 2,3	Forte	4	
			2,3 à 0	Très forte	5	
3	Densité de drainage	km/km ²	0 à 115,71	Très faible	1	7
			115,71 à 236,69	faible	2	
			236,69 à 378,71	modérée	3	
			378,71 à 646,97	forte	4	
			649,97 à 1346,54	Très forte	5	
4	Topographic Wetness index (TWI)	/	-7,8 à -4,8	Très faible	1	18
			-4,8 à -3,2	Faible	2	
			-3,2 à -1,1	Modérée	3	
			-1,1 à 2,1	Forte	4	
			2,1 à 11,2	Très forte	5	
5	Occupation du sol	/	Végétation	Très faible	1	11
			Terres agricoles	Faible	2	
			Sols nus	Modérée	3	
			Urbanisation	Forte	4	
			Eau	Très forte	5	
6	Couvert vegetal (NDVI)	/	1 à 0,69	Très faible	1	3
			0,69 à 0,53	Faible	2	
			0,53 à 0,38	Modérée	3	
			0,38 à 0,23	Forte	4	

	Critères de causalité d'inondations	unité	Intervalle des Classes	Classes de susceptibilité	Taux de susceptibilité	Pondération (%)
			0,23 à -1	Très forte	5	
7	Types de sol	/	Sols alluviaux	Très faible	1	3
			Sols dunaires	faible	2	
			Sols insaturés	modérée	3	
			Sols calcaires et de marais	Forte	4	
			Roche mère	Très forte	5	
8	Distance des oueds	m	8654,94 à 4638,93	Très faible	1	18
			4638,93 à 2816,18	faible	2	
			2816,18 à 1738,51	modérée	3	
			1738,51 à 837,8	Forte	4	
			837,38 à 0	Très forte	5	
9	Précipitations	mm/an	677,54 à 762,42	Très faible	1	12
			762,42 à 813,83	faible	2	
			813,83 à 866,44	modérée	3	
			866,44 à 920,24	Forte	4	
			920,24 à 983,61	Très forte	5	

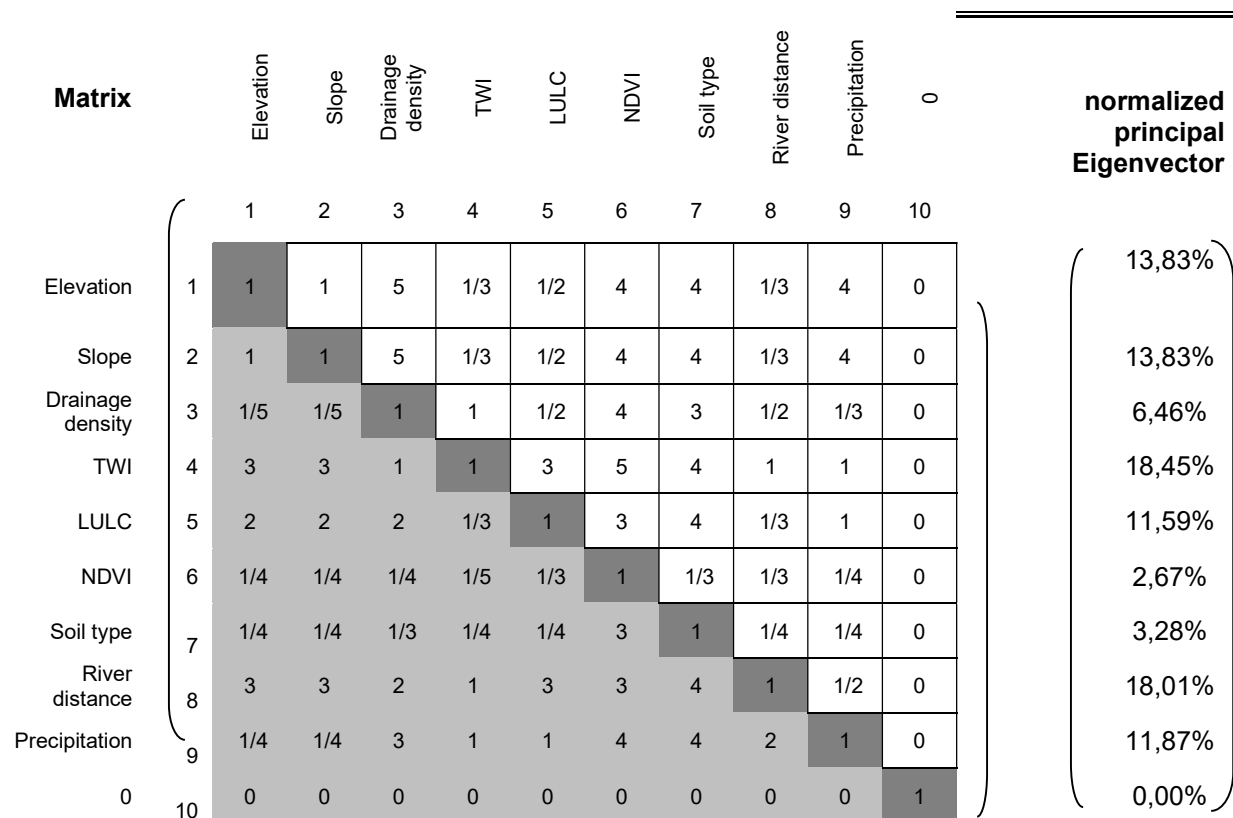


Figure 46: La matrice construite à partir de la mise en relation des caractéristiques étudiées

Annexe 7

Carte géologique du Nord-Ouest Algérien

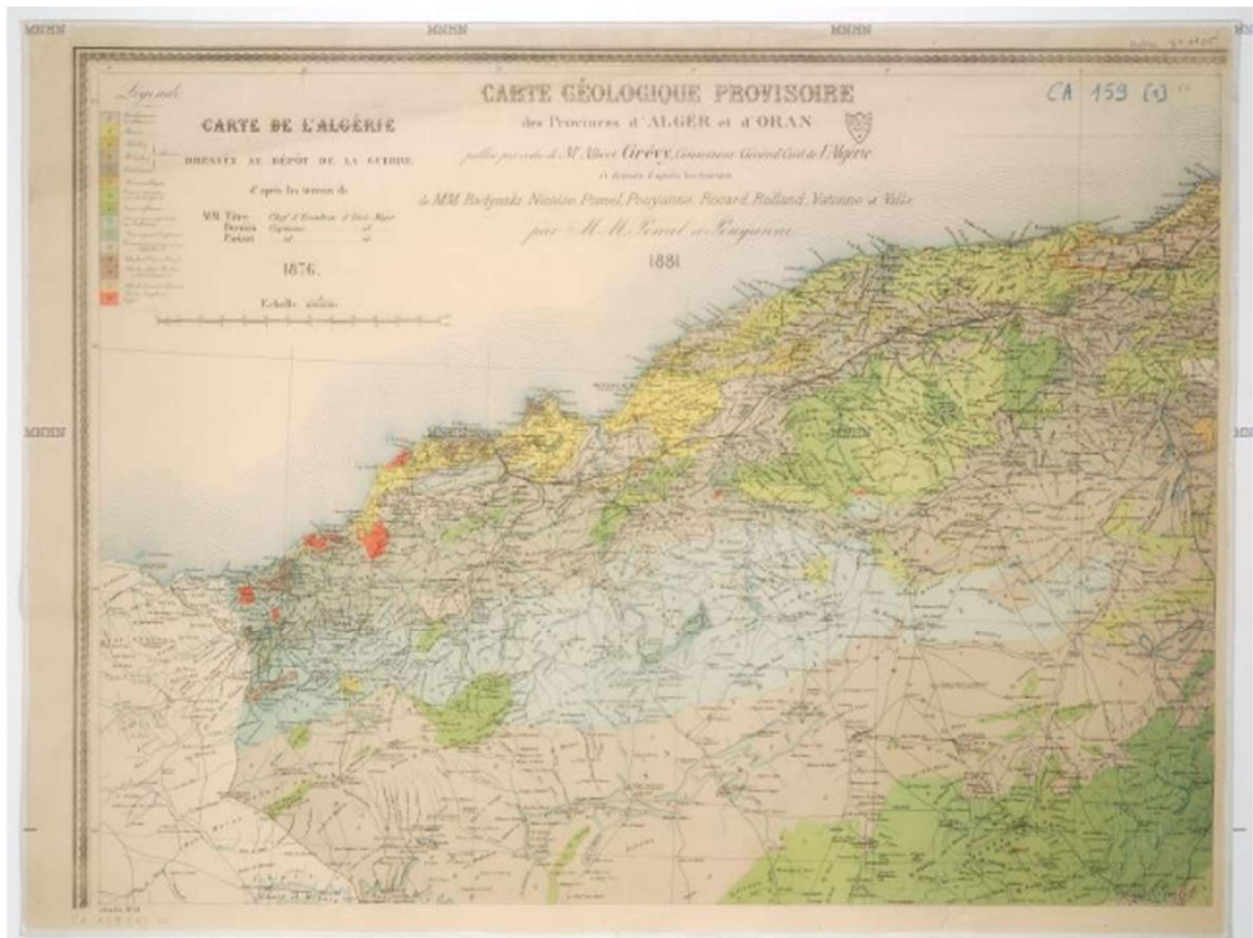


Figure 47: Carte géologique provisoire des provinces d'Alger et d'Oran, ressée d'après les travaux de MM. Badynski... [et al.] par MM. Pomel et Pouyanne 1881 (Muséum national d'histoire naturelle (Paris) - Direction des bibliothèques et de la documentation)

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'analyse des risques naturels affectant la wilaya côtière de Tipaza avec une attention particulière portée aux inondations et aux feux de forêts. L'étude vise à comprendre l'évolution spatio-temporelle de ces deux phénomènes, tout en évaluant la vulnérabilité du territoire face aux inondations à l'aide d'une méthode multicritère (AHP) intégrée dans un système d'information géographique (SIG), en prenant en compte neuf paramètres environnementaux : pente, altitudes, densité de drainage, occupation du sol, NDVI, précipitations, TWI, types de sol et proximité aux oueds. Les résultats ont mis en évidence une forte exposition des communes de Koléa, Fouka et Hadjout, avec plus de 30 événements d'inondation recensés entre 1974 et 2019. En parallèle, l'analyse des feux de forêts a révélé 330 départs enregistrés entre 2012 et 2023, ayant ravagé plus de 12 800 hectares, principalement à Messelmoune, Gouraya et Cherrhell. La carte de vulnérabilité produite, avec une exactitude de 93,5%, révèle que les communes à forte vulnérabilité sont localisées principalement dans la Mitidja et la région est de la wilaya. La superficie des communes à forte vulnérabilité s'élève à 117,48 km², soit 15,63 % de la surface côtière totale. Ce travail constitue ainsi une contribution à la compréhension des dynamiques de risque à Tipaza et un appui à la planification d'un développement résilient.

Mots clés : Wilaya côtière de Tipaza, inondations, feux de forêts, vulnérabilité, occupation du sol, système d'information géographique (SIG)

Abstract

This thesis is part of an analysis of natural hazards affecting the coastal province of Tipaza, with a particular focus on floods and forest fires. The study aims to understand the spatio-temporal evolution of these two phenomena, while assessing the territory's vulnerability to flooding using a multi-criteria method (AHP) integrated into a geographic information system (GIS), considering nine environmental parameters: slope, altitude, drainage density, land use, NDVI, precipitation, TWI, soil types and proximity to wadis. The results highlighted the high exposure of the municipalities of Koléa, Fouka and Hadjout, with more than 30 flood events recorded between 1974 and 2019. At the same time, analysis of forest fires revealed 330 fires recorded between 2012 and 2023, which ravaged more than 12,800 hectares, mainly in Messelmoune, Gouraya and Cherrhell. The vulnerability map, which has an accuracy rate of 93.5%, reveals that the most vulnerable communes are mainly located in the Mitidja region and the eastern part of the wilaya. Highly vulnerable communes cover 117.48 km², accounting for 15.63% of the total coastal area. This work thus contributes to understanding the risk dynamics in Tipaza and supports the planning of resilient development.

Key words: Coastal province of Tipaza, floods, forest fires, vulnerability, land use, geographic information system (GIS)

الملخص

تندرج هذه الأطروحة في إطار عملية تحليل المخاطر الطبيعية التي تؤثر على ولاية تيبازة الساحلية، مع إيلاء اهتمام خاص للفيضانات وحرانق الغابات. تهدف الدراسة إلى فهم التطور المكاني والزمني للظاهرتين، مع تقييم مدى تعرض المنطقة للفيضانات باستخدام طريقة متعددة المعايير (AHP) مدمجة في نظام معلومات جغرافية (GIS)، مع أخذ تسعة معايير بيئية في الاعتبار: المنحدرات، والارتفاعات، وكثافة الصرف، واستخدام الأراضي، مؤشر الغطاء النباتي حسب الفرق المعياري (NDVI) وهطول الأمطار، مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI)، وأنواع التربة، والقرب من الأودية. أظهرت النتائج تعرضاً شديداً لبلديات القليعة وفوكا والحجوط، حيث تم تسجيل أكثر من 30 حالة فيضان بين عامي 1974 و2019. في موازاة ذلك، كشفت تحليلات حرانق الغابات عن 330 حريقاً مسجلاً بين عامي 2012 و2023، دمرت أكثر من 12800 هكتار، خاصة في ميسلمون وغورايا وشرشال. تكشف خريطة الضعف أن البلديات المعرضة للخطر الشديد تقع بشكل رئيسي في المنطقة الشرقية للولاية. تبلغ مساحة البلديات المعرضة لخطر كبير 117.48 كم²، أو 15.63 بالمائة من إجمالي المساحة الساحلية. وبالتالي، فإن هذا العمل يمثل مساهمة في فهم ديناميات المخاطر في تيبازة ودعمًا لتخطيط تنمية مرنة.

الكلمات الدالة: ولاية تيبازة الساحلية، فيضانات، حرانق الغابات، الهشاشة، استخدام الأراضي، نظام المعلومات الجغرافية (GIS)