

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Algérienne Démocratique Et Populaire

République

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الدكتور مولاي الطاهر، سعيدة

Université Moulay Tahar, Saida



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Science Naturelle et de la Vie

N° d'ordre

قسم الفلاحة وعلوم التغذية

Département d'agronomie et sciences de nutrition

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En biologie

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème

Etude de protection contre les inondations dans la ville d'El bayadh

Présenté par :

- KHATOU bochra

Soutenu le : 25/06/2024

Devant le juré composé de :

Président

Dr : Fares Soria

Examineur

Dr : Labani Nora

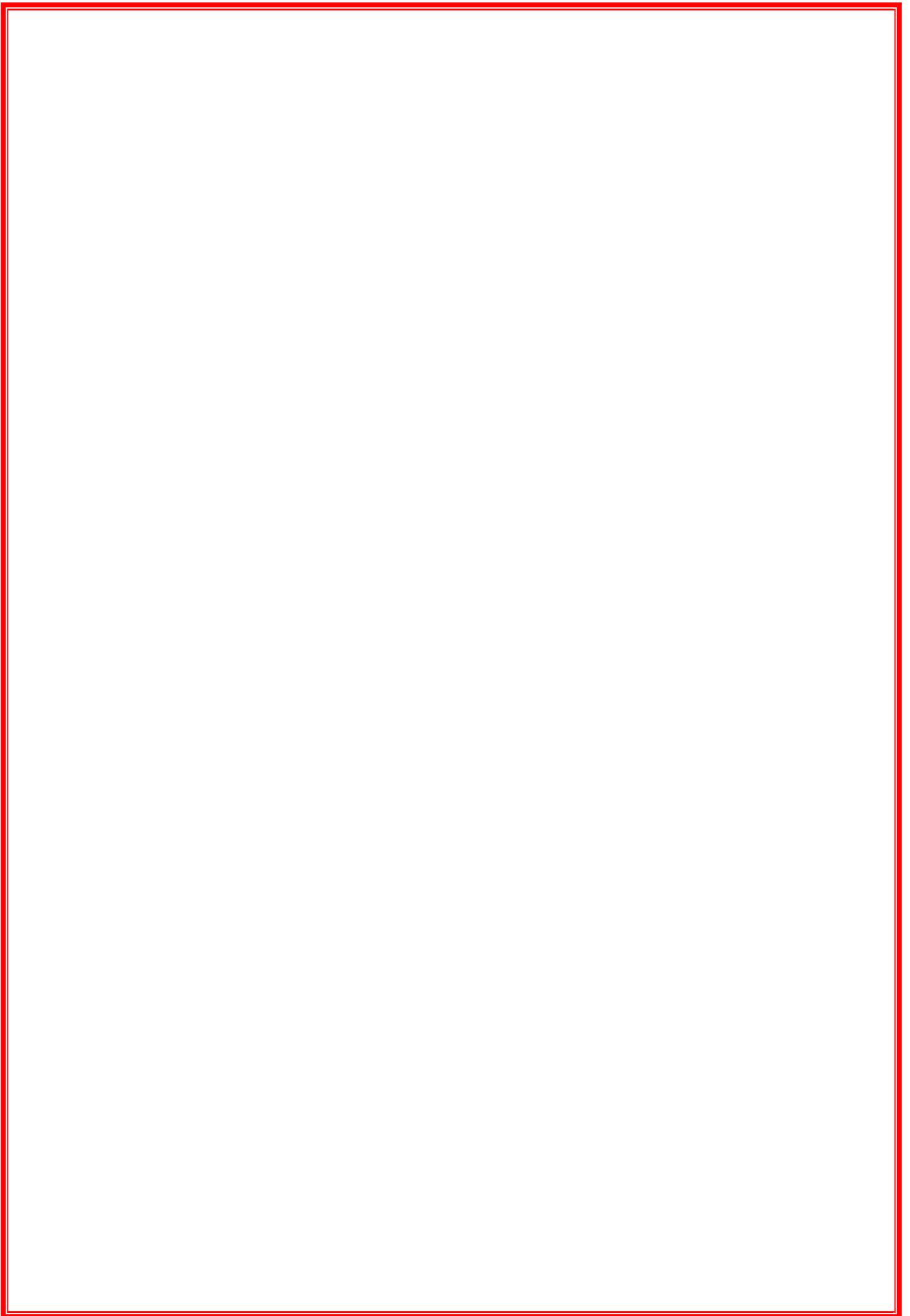
Rapporteur

Dr : HENDI amina

Invité

Dr : Djamel Anteur

Année universitaire 2023-2024



Remerciements

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la force et la patience pour accomplir cet humble travail. Deuxièmement, je tiens à remercier mes encadrants, Mme Amina Hindi et Mr. Djamel acteur. Pour leurs précieux conseils et leur assistance tout au long des travaux. J'adresse également mes sincères remerciements à : Les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir de leurs suggestions. À tous mes professeurs. À toutes les personnes qui ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :

- ✓ *Chers grand-père et grand-mère*
- ✓ *Ma très chère mère*
- ✓ *Mon très cher père*
- ✓ *Mes chers frères : Sid Ahmed Nedjmedin Mountaser
Mohamed Amin Adem Abd El kader Achraf Abd El moumen*
- ✓ *Mes très chères soeurs : Sousou Halima Maria Amani
Ritadj bouthina.*
- ✓ *A tous les membres de ma famille. Petits et grands*
- ✓ *A tous mes amis de proches*
- ✓ *A tous mes camarades de groupe :*
- ✓ *Protection des écosystèmes*
- ✓ *A tous les enseignantes de Sciences de la nature et de la
vie.*
- ✓ *J'ai le grand honneur de dédier ce travail à :*
- ✓ *Ma famille, petits et grands*
- ✓ *A tous les enseignantes.*

Bouchra

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Sommaire	N°
Chapitre 1: Généralité sur les inondations	
1.Définition Les inondations	3
2.Crue	4
.2.1Éléments descriptifs d'une crue	4
.2.2Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe	5
.3Mécanismes de l'inondation	6
.4Paramètres fondamentaux du cours d'eau:	7
.4.1Lits du cours d'eau	7
.5Type d'inondations	9
.5.1Les inondations par crues torrentielles	9
.5.2Les inondations par débordement directe (débordement des plaines)	10
.5.3Les inondations par accumulation d'eau ruisselée	10
.5.4Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique	11
.5.5Les inondations par submersion marine	11
.6Les causes et origines des inondations	12
.7Conséquences engendrées par les inondations	12
.8Les stratégies de préservation contre les inondations	13
.9Catastrophes naturelles : 'les inondations sont la plus grande menace	14
.10Les inondations en Algérie	16
.11Causes et types de crues catastrophiques en Algérie	18
.12Historique des inondations catastrophiques en Algérie	19
Chapitre 2: Aperçu générale sur la région d'étude	
.1Situation géographique de la wilaya d'El-Bayadh	28
.2Une Exploration des Paysages Naturels	29
2.1 Hautes plaines steppiques	30
2.2 L'atlas saharien	31
2.3 La zone présaharienne	32
.3Géomorphologie	32
.4La géologie	33
.5Végétation	34
.6La pédologie	34
.7Climat	35
.8Hydraulique	35

.9Les données hydrographiques	36
.10Situation actuelle de la zone d'étude	37
.11Description de la zone d'étude	38
.12Historique des inondations de la ville d'El Bayadh	41
.13Analyse des Inondations de la Ville d'El Bayadh par ASAL	43
Chapitre 3 : Le système d'information géographique	
.1Définition de SIG	49
.2Historique	50
.3Composition d'un SIG	51
3.1 La base de données géographique (BDG)	51
3.2 Saisie de données	52
3.3 Filtrage des données	52
3.4 Les principales fonctions d'un SIG	52
.4Fonctionnalités d'un SIG	53
.5Le type d'informations géographiques	54
.6Types de données dans un SIG	55
6.1 Données spatiales	56
6.2 Données associées	57
.7Les avantages des SIG	59
.8Les contraintes des SIG	60
.9Les bases de données des systèmes d'informations géographiques	60
9.1 Microsoft Access	60
9.2 Oracle	61
9.3 postgresql/Postgis	61
9.4 Oracle Spatial	62
9.5. ArcSDE	62
9.6. MySQL	63
9.7. Post GIS	64
10. Domaines d'application du SIG	65
11. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)et inondations	66
Partie expérimentale	
1. Matériel et méthode	
1.1. Matériel utilisent	
1.2. Méthode utilisent	
1.2.1. Modélisation géographique	
1.2.1.1. Altitude	
1.2.1.2. Pentes Du Bassin Versant	
1.2.1.3. Exposition	
1.2.1.4. Etendu	
1.2.1.5. Hauteur	

2. La protection contre les inondations

3. Gestion des Catastrophes d'inondation en Algérie

Conclusion Générale

Références Bibliographique

Liste des abréviations

Liste des abréviations

- **m/s** : mètres par seconde
- **mm** : millimètres
- **m** : mètres
- **m³/s** : mètres cubes par seconde
- **DA** : Dinar Algérien
- **hm³**: hectomètres cubes
- **km** : kilomètres
- **n°** : numéro
- **l/s**: litres par seconde

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Liste des tableaux	N°
Tableau 01: Principales Inondations dans le monde (Agriculture.)	15
Tableau 2 : Inondations en Algérie classées selon le lieu, la date et les dégâts (Djebali, 2015)	16
Tableau 3 : Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 27 au 29 Mars 1973	20
Tableau 4: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 28 au 31 Mars 1974	21
Tableau 5: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 03 Fevrier1984	22
Tableau 6: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 29 Décembre au 01 Janvier 1985	22
Tableau 7 : Caractérisation de la zone des hautes plaines steppiques (DPAT, 2010)	30
Tableau8 : Caractérisation de la zone de l'Atlas saharien (DPAT, 2010)	31
Tableau 9 : Caractérisation de la zone présaharienne (DPAT, 2010)	32
Tableau 10: Caractéristiques du BOULEVard'Oued Deffa, à l'exutoire de la zone d'étude Chabane, et Labbaoui.)2016(.	37
Tableau 11 : Historique Des inondations de 1994 à 2011 Saouli en 2020	42
Tableau 12: Les périodes principales dans l'évolution des SIG (Maguire et al (1991)	51
Tableau 13: Répartition du relief par classe des pentes	
Tableau14 : Indice de pente globa	

Liste des figures

Liste des figures	N°
Figure 1 : Eléments descriptif d'une crue (Ben amor,2010)	5
Figure 2 : Lit mineur d'un cours d'eau (Hafiane et Benzaid ,2019)	7
Figure 3 : Lit moyen d'un cours d'eau (Hafiane et Benzaid ,2019)	7
Figure 4 : Lit majeur d'un cours d'eau (Hafiane et Benzaid ,2019)	8
Figure 5 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle (Hafiane et Benzaid ,2019)	9
Figure 6 : Débordement direct (Hafiane et Benzaid ,2019)	10
Figure 7 : Stagnation des eaux pluviales (Hafiane et Benzaid ,2019)	11
Figure 9 : Fréquence par type de catastrophe(Euronews. 2018)	14
Figure 10 : localisation de la wilaya d'El Bayadh	28
Figure 11: Carte des limites de la wilaya (HCDS.2013)	29
Figure 12 : carte de la subdivision de territoire de la Wilaya (Dellaoui, 2016).	30
Figure 13: Situation géographique de la ville d'El Bayadh Chabane, et Labbaoui . (.)2016(33
Fig14 : Principale structure de l'Atlas saharien (Wec Algérie, 2007)	34
Figure 15: Principale réseaux hydraulique	36
Figure 16 : Carte de protection(Saouli , 2020)	38
Figure 17: Oued Saffier en amont de l'Oued Deffa (photo original)	38
Figure 18 : Pont sur Oued Saffiet avec charriage	39
Figure 19 : Pont menant vers El Bayadh entrée de la ville avec une conduite d'AEP (Photo original)	39
Figure 20: Quartier Grabba	40
Figure21: Pont Grabba ,rétrécissement de section (Photo original)	40
Figure 23 : Oued Deffa avec les voiles de protection en partie détruits (Photo original)	41
Figure 24 : Oued Deffa avec les voiles de protection en partie détruits (Photo original)	41
Figure25 : Superposition du réseau hydrographique hiérarchisé du bassin versant de l'oued Deffa sur une ortho image Alsat-2A prise sur El Bayadh et ses environs (ASAL) Saouli en 2020	44

Figure 26 : Détection de la zone inondée par l'identification de traces d'humidité de part et d'autre de l'oued Deffa ,grâce à une analyse diachronique des images Alsat-2A, prises avant les inondations (ASAL)Chabane et Labbaoui)2016(44
Figure 27 : Vue globale de la zone inondée (en jaune) détectée sur les images multispectrales d'Alsat-2A (©ASAL), prises après les inondations. Saouli en 2020	45
Figure 28 : Vue globale de la zone inondée (ligne rouge en pointillé) superposée sur une image Alsat-2A (© ASAL) Saouli en 2020	45
Figure 29 : Impact de l'inondation visible sur les images du satellite Kompsat (© KARI)Chabane et Labbaoui)2016(46
Figure 30: Impacts de l'inondation identifiés sur les images du satellite Kompsat (©KARI), matérialisés par la destruction de deux passerelles (cercle en jaune). Chabane et Labbaoui)2016(46
Figure 31 : La délimitation de la zone inondée réalisée à partir des Images du satellite Worldview-2 Chabane et Labbaoui)2016(47
Figure 32: Deux différents types de modèle géographique. (Ayachi, S., et Belghazali, Y., 2020)	55
Figure 33 : Types de données dans un SIG (http://resources.arcgis.com)	56
Figure 34 : Données spatiales (http://www.axisig.fr/produits/sig.html)	57
Figure35: Notion de couches de données (http://www.seos_project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.fr.html)	58
Figure 36 : Données associées (http://www.corse.fr/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html)	59
Figure 37 : Base de données Microsoft Access (Mouaz S. et Saidi A., 2020).	61
Figure 38: Oracle https://gdal.gloobe.org/ogr/formats/oci.html consulté 8 mai)	62
Figure 39 : MySQL (https://fr.wikipedia.org/wiki/MySQL consulté 9 mai)	64
Figure 40 : Post GIS (Mouaz S. et Saidi A2020)	65
Figure 41 : Altitude de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)	
Figure 42: Pente de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)	
Figure 43: Exposition de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)	
Figure 44: Etendu de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)	

Figure 45: Hauteur de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

Introduction

Introduction

L'eau, bien que vitale, peut être à la fois une ressource précieuse et une source de problèmes. Ce paradoxe se manifeste parfois par des pénuries sévères dans certaines régions, tandis que d'autres sont confrontées à des inondations dévastatrices. Ces dernières représentent un danger majeur à l'échelle nationale et mondiale, mettant en lumière les défis complexes liés à la gestion de cette ressource vitale.

Les inondations représentent un risque majeur à l'échelle nationale et mondiale, causant environ 20 000 décès par an et se classant au premier rang des catastrophes naturelles. Certaines sont saisonnières, telles que celles causées par la mousson, tandis que d'autres sont déclenchées par des événements particuliers tels que les cyclones, les typhons ou les orages violents (**Memento du maire, 2015**). Ces catastrophes ont des répercussions significatives sur les vies humaines et les biens matériels, suscitant une forte demande sociale pour la prévention et la gestion des inondations.

Au fil des décennies, d'importantes ressources humaines et matérielles ont été investies dans la recherche de solutions de protection contre les crues. Diverses mesures préventives sont mises en place pour contrer les débordements, notamment la construction de digues et de barrages-réservoirs, ainsi que la promotion de l'infiltration des eaux par le maintien de couverts végétaux appropriés (**Tangara, 2005**). Cependant, malgré ces efforts, il est reconnu que pour les crues exceptionnelles, les inondations demeureront inévitables.

Pour atténuer ces risques, il est impératif d'améliorer les systèmes de prévision et de prévention des inondations, avec un accent particulier sur l'information et la sensibilisation des populations exposées. La réduction de la vulnérabilité des biens situés dans les zones à risque et l'engagement actif de chaque individu dans sa propre protection sont également essentiels. En fin de compte, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations demeure un outil central de l'action de l'État, en partenariat avec les collectivités locales et la participation citoyenne.

La prévision des inondations est une composante cruciale de la gestion des risques hydrologiques et des catastrophes naturelles. Elle repose sur une analyse minutieuse des conditions météorologiques, hydrologiques et topographiques pour anticiper les événements et prendre des mesures préventives appropriées. Des techniques sophistiquées telles que la modélisation

hydrologique et l'utilisation de données satellitaires permettent d'améliorer la précision des prévisions et d'alerter les populations exposées en temps réel. Les progrès dans ce domaine ont considérablement contribué à réduire l'impact des inondations et à sauver des vies (**Bates, P. D., et De Roo, A. P. J. (2000).**

La protection contre les inondations est un enjeu crucial pour la sécurité des populations et la préservation des biens. Pour réduire les risques, diverses mesures de prévention et de protection sont mises en œuvre. Cela inclut la construction de digues, de barrages et de systèmes de drainage, ainsi que la mise en place de plans d'aménagement du territoire visant à limiter l'urbanisation dans les zones à risque. De plus, des stratégies de gestion des bassins versants et des écosystèmes sont développées pour favoriser l'infiltration et la rétention des eaux de pluie. Ces efforts contribuent à atténuer les effets des inondations et à renforcer la résilience des communautés face à ces événements catastrophiques. (**Merz, B., et al2005).**

Dans le but de garantir la fiabilité et la résistance d'un ouvrage face aux inondations, une étude approfondie est nécessaire pour identifier les paramètres essentiels influençant la genèse des crues et l'aggravation des inondations.

Cette étude, présentée dans ce manuel, est organisée en quatre chapitres distincts :

- **Le premier chapitre** aborde la définition du phénomène des inondations, expose les différentes causes à leur origine et les conséquences qu'elles engendrent à l'échelle mondiale ainsi qu'en Algérie.
- **Le deuxième chapitre** se concentre sur la présentation de la zone d'étude, fournissant des informations sur sa localisation, le climat dominant, la géologie du terrain et l'état actuel de l'Oued.
- **Le troisième chapitre** traite de l'étude du Système d'Information Géographique (SIG), mettant en lumière son importance dans la gestion des risques d'inondations.
- Enfin, le quatrième et dernier chapitre présente les pratiques recommandées dans le cadre de cette étude, offrant des solutions concrètes pour la prévention et la gestion des inondations.

Chapitre 1: Généralité sur les inondations

Introduction

Les inondations, fléau naturel touchant divers pays, résultent de multiples causes et souvent de l'intervention humaine. Leur impact, qu'il soit matériel ou humain, se traduit généralement par des pertes considérables, tant sur le plan statistique que sur celui des dégâts.

1. Définition Les inondations

Définition hydrologique : Les inondations sont définies comme des événements hydrologiques lorsqu'un cours d'eau sort de son lit habituel et envahit les zones adjacentes (**Chow, V. T., et al 1988**)

Définition météorologique : Les inondations peuvent également être déclenchées par des précipitations intenses qui dépassent la capacité d'absorption des sols, provoquant un débordement des rivières et des cours d'eau. (**Strahler, A. N., & Strahler, A. H. 2005**).

Définition environnementale : Sur le plan environnemental, les inondations se produisent lorsque les infrastructures naturelles de régulation de l'eau, comme les marécages et les zones humides, sont incapables de contenir les excès d'eau, provoquant des débordements. (**Ward, R. C., & Trimble, S. W. 2004**).

Définition sociale et économique : Les inondations peuvent avoir des répercussions sociales et économiques désastreuses en entraînant des pertes de vies humaines, des déplacements de populations et des dommages aux biens matériels. (**Kundzewicz, Z. W., & Kaczmarek, Z. 2000**).

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM,2017), une inondation est "une montée temporaire et généralisée des eaux qui submergent habituellement la terre ferme".

Le Centre européen de prévention des risques d'inondation (CEPRI,2019) définit l'inondation comme "le recouvrement par les eaux, de façon temporaire, d'une étendue de terre normalement émergée, quelle que soit la cause de cette submersion".

Selon l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA,2020), une inondation est "une submersion rapide ou lente d'une zone par des eaux provenant d'un cours d'eau, d'un lac ou de pluies intenses".

2. Crue

Définition hydrologique: Une crue est définie comme une augmentation rapide du débit d'un cours d'eau résultant de précipitations intenses, de la fonte des neiges ou d'autres facteurs hydrologiques, dépassant le niveau normal et pouvant entraîner des inondations (**Chow et al., 1988**).

Définition géomorphologique : D'un point de vue géomorphologique, une crue se caractérise par la modification temporaire ou permanente des formes et des processus fluviaux, entraînant des changements dans le lit de la rivière et ses environs (**Leopold et al., 1964**).

Définition sociale et économique : Sur le plan social et économique, une crue représente un événement préoccupant pouvant causer des dommages aux biens, des pertes de vie humaine, des perturbations économiques et des impacts à long terme sur les communautés riveraines (**Parker et al., 2003**).

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. (**Saouli,2019**)

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de cet hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume. (**Saouli,2019**)

2.1. Éléments descriptifs d'une crue

- **Débit maximal:** Le débit maximal d'une crue est la quantité d'eau qui s'écoule dans un cours d'eau à un moment donné et atteint son pic pendant l'événement de crue (**Knighton, 1998**).
- **Hauteur d'eau :** La hauteur d'eau est la mesure verticale de la profondeur de l'eau à un endroit spécifique le long du cours d'eau pendant une crue, souvent exprimée en mètres ou en pieds (**Graf, 2006**).

- **Durée de la crue** : La durée de la crue fait référence à la période pendant laquelle le débit d'eau dans un cours d'eau reste supérieur à son niveau normal, généralement mesurée en heures, jours ou semaines (Walling et Fang, 2003).
- **Étendue de la zone inondée**: L'étendue de la zone inondée représente la superficie des terres submergées par les eaux de crue le long des rives du cours d'eau, mesurée en kilomètres carrés ou hectares (Smith et al., 2010).

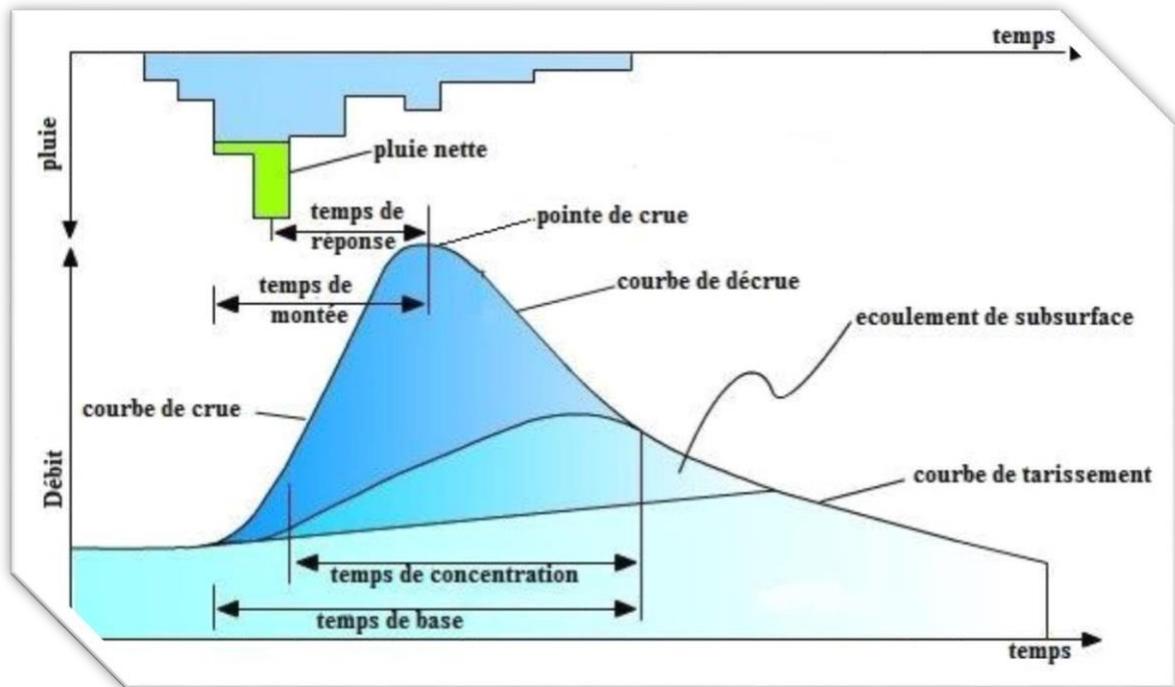


Figure 1 : Eléments descriptif d'une crue (Ben amor,2010)

2.2. Principaux paramètres nécessaires pour évaluer la catastrophe

La période de retour: La notion de période de retour « T » n'est qu'une autre façon de caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène à un moment donné. Statistiquement, on la définit comme l'inverse de la probabilité d'occurrence de dépassement « p » de ce phénomène ; $T=1/P$. Un phénomène ayant une période de retour de cent ans (phénomène centennal) a une chance sur cent de se produire ou d'être dépassé chaque année. Cela est vérifié à condition de considérer une très longue période. Mais elle peut aussi, sur de courtes périodes (quelques années), se répéter plusieurs fois. Autrement dit, en vingt ans, un individu a une chance sur cinq de vivre la crue centennale. On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) ; plus cette période est grande, plus les débits et aggravées par la présence d'activités humaines. (CORTES 2006, MERABET 2006) l'intensité sont importants.

Les événements les plus souvent représentés sur la carte d'aléa sont la crue décennale (Q1 0) et la crue centennale (Q1 00). (MERABET ,2006)

La hauteur et la durée de submersion: La hauteur de submersion peut avoir un impact important sur le bâti, notamment lorsqu'elle dépasse la cote de référence. Lorsque la durée de submersion est importante, des problèmes sanitaires peuvent survenir, l'eau étant souvent malpropre, contaminée par les égouts ou parfois le mazout échappé des cuves. Pour l'homme, on considère généralement que des hauteurs d'eau supérieures à 50 cm sont dangereuses. À titre d'exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 cm d'eau. (MERABET ,2006)

La vitesse courant: La vitesse d'écoulement est conditionnée par la pente du lit et sa rugosité, la dangerosité de l'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. À titre d'exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse pour l'homme, avec un risque d'être emporté par le cours d'eau ou d'être blessé par des objets charriés à vive allure. (MERABET, 2006).

Volume de matière transporté: Ce volume est communément appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux (argiles, limons, sables, graviers, galets, blocs, etc.) se trouvant dans les cours d'eau et dont le transport peut s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit, du fait des forces liées au courant. L'aléa inondation d'une rivière torrentielle sera essentiellement caractérisé par une vitesse du courant élevée et un fort transport solide. (MERABET 2006).

3. Mécanismes de l'inondation

Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

Les inondations sont influencées par divers facteurs physiques, comme évoqué par **Mason (2004)** :

- ✓ Le régime des précipitations.
- ✓ La topographie du terrain.
- ✓ La taille du bassin versant.
- ✓ La condition des sols.

Facteurs aggravants le risque d'inondation:

Par ailleurs, l'IPCC (2012) souligne plusieurs facteurs aggravants :

- ✓ Les activités et l'occupation humaine des sols.
- ✓ Les aménagements urbains et ruraux.

✓ La négligence en matière d'entretien des cours d'eau.

4. Paramètres fondamentaux du cours d'eau

4.1. Lits du cours d'eau

L'anatomie d'une rivière, comme exposée par **Batalla et Gómez (2012)**, est intimement liée à ses régimes hydrologiques :

Lit mineur : Il représente le canal principal du cours d'eau, adapté aux écoulements normaux et aux crues fréquentes, avec des occurrences annuelles.



Figure 2 : Lit mineur d'un cours d'eau (**Hafiane et Benzaid ,2019**)

Lit moyen : Cet espace correspond à la zone habituellement couverte par la végétation riveraine.



Figure 3 : Lit moyen d'un cours d'eau (**Hafiane et Benzaid ,2019**)

Lit majeur : Les zones adjacentes au lit mineur, inondées lors des crues exceptionnelles, constituent le lit majeur, agissant comme une extension naturelle de la rivière.

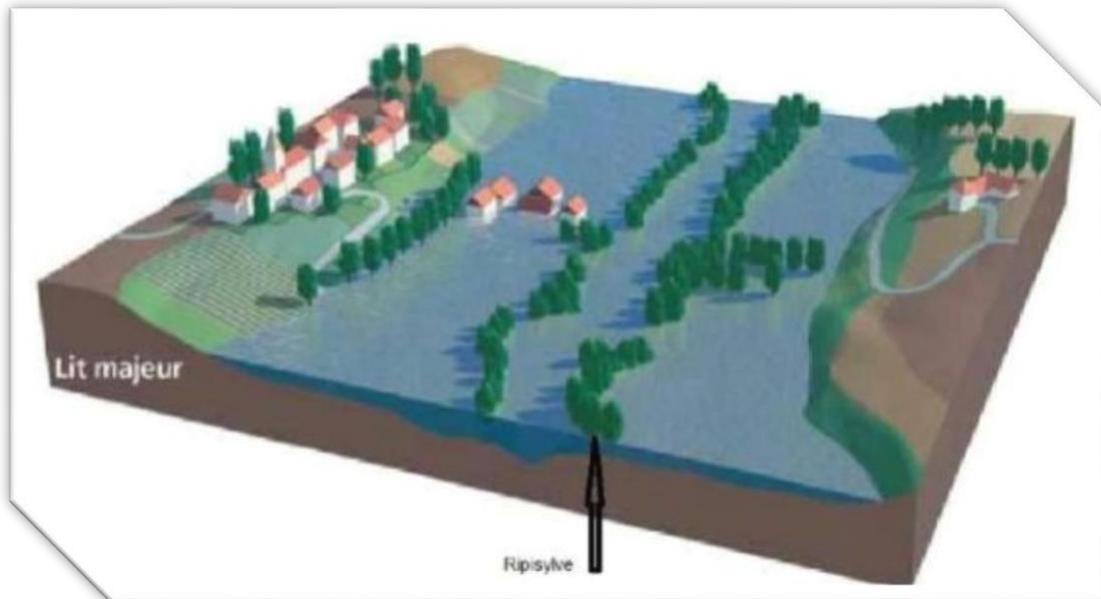


Figure 4 : Lit majeur d'un cours d'eau (Hafiane et Benzaid ,2019)

Les caractéristiques de la rive et de la berge, selon les observations de **Gurnell et al. (2016)**, sont également cruciales :

Berge : Délimitant le lit mineur et le lit majeur, la berge est un talus incliné définissant le cours d'eau.

Rive : La zone transitionnelle entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, caractérisée par une surface plane influencée par l'eau.

La ripisylve, selon **Gurnell et al. (2016)**, joue un rôle essentiel dans la dynamique fluviale :

Ripisylve : Cette végétation riveraine, présente le long des rives, modifie le comportement des crues en ralentissant le courant et en favorisant l'écoulement sédimentaire.

Enfin, les matériaux de base du lit et des berges, comme évoqué par **Ferguson (2010)**, sont les suivants :

Alluvions et substratum : Les matériaux transportés par le cours d'eau, les alluvions, recouvrent le substratum composé de roches dures ou tendres, formant ainsi le fond et les berges du cours d'eau.

5. Type d'inondations

Bien que diverses causes puissent déclencher des inondations, telles que la rupture de barrages ou les raz-de-marée, celles-ci sont généralement le résultat de crues. Selon la vitesse à laquelle le phénomène se développe, on observe souvent deux types principaux de crues : les crues fluviales et les crues torrentielles, également appelées crues rapides. Cette distinction, bien que parfois imprécise en raison de la continuité entre les deux types de crues, est largement utilisée dans la littérature spécialisée (Gaume et al., 2009).

Il existe au moins cinq types d'inondations :

5.1. Les inondations par crues torrentielles

Les crues torrentielles, décrites comme des événements soudains et violents résultant de précipitations intenses, sont caractérisées par un ruissellement rapide entraînant une quantité importante de matériaux solides, tels que des sédiments et des débris végétaux (Merz et Blöschl, 2009). Ce phénomène peut provoquer le colmatage du lit du cours d'eau par la formation d'obstacles appelés embâcles, qui, lors de leur rupture, libèrent brusquement de grandes quantités d'eau, entraînant des dommages considérables (Hirschboeck et al., 2005). Les crues torrentielles sont généralement associées aux bassins montagneux et aux régions méditerranéennes, bien que les petits bassins versants au relief prononcé et à forte capacité de ruissellement puissent également être affectés.



Figure 5 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle (Hafiane et Benzaid, 2019)

5.2. Les inondations par débordement directe (débordement des plaines)

Les inondations de plaine surviennent suite à des précipitations prolongées et de faible intensité. Dans ces cas, le sol, ayant une capacité de ruissellement limitée, absorbe lentement l'eau. Cependant, lorsque cette accumulation dépasse la capacité d'infiltration du sol, les cours d'eau débordent, entraînant un dépassement de leur lit mineur et une submersion des zones environnantes (Kundzewicz et al., 2017). Ces inondations se distinguent des crues torrentielles par leur évolution plus progressive et leur impact potentiellement étendu sur de vastes zones de plaines et de bassins fluviaux (Smith et al., 2016).

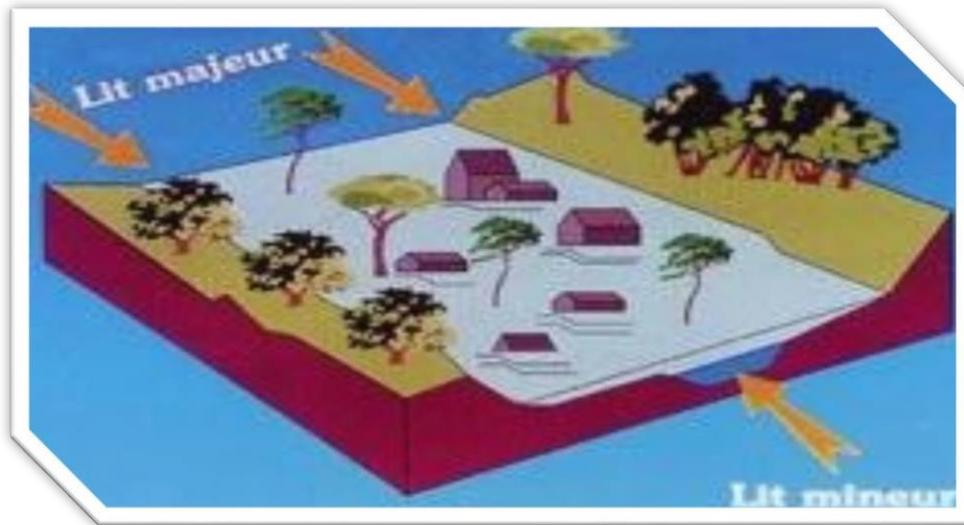


Figure 6 : Débordement direct (Hafiane et Benzaid ,2019)

5.3. Les inondations par accumulation d'eau ruisselée

Les inondations par ruissellement sont déclenchées par des pluies exceptionnelles ou des orages violents sur un sol dont la capacité d'infiltration et de drainage est insuffisante. Cette incapacité résulte principalement de deux facteurs (Viglione et al., 2010) :

- ✓ L'intensité des précipitations dépasse la capacité d'infiltration du sol.
- ✓ Le ruissellement se produit sur un sol déjà saturé par une nappe phréatique.

Ces conditions créent un excès d'eau qui ne peut être absorbé par le sol et qui entraîne des inondations par ruissellement, caractérisées par un écoulement rapide et souvent destructeur sur les surfaces imperméables (**Sivapalan et al., 2012**).

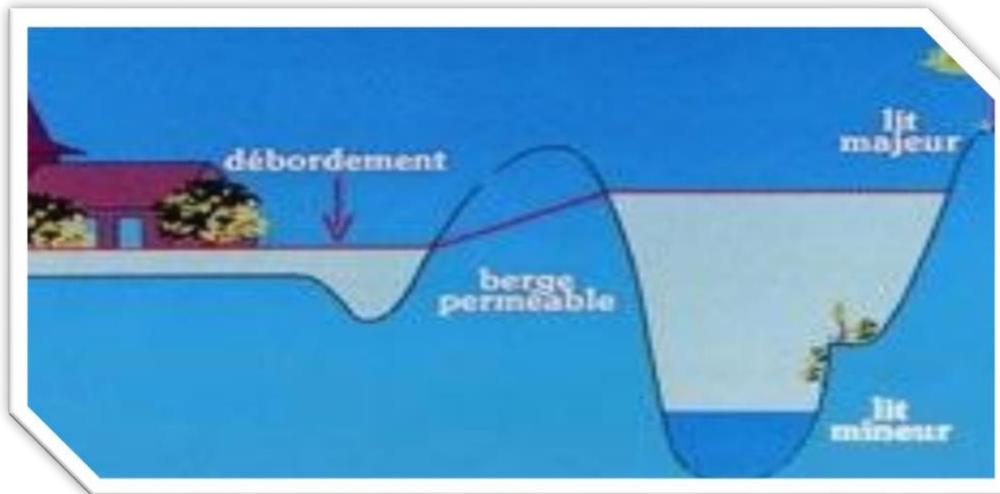


Figure 7 : Stagnation des eaux pluviales (**Hafiane et Benzaid ,2019**)

5.4. Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique

Les inondations causées par la destruction d'un ouvrage sont des événements d'une brutalité extrême et d'un danger considérable. En effet, la rupture d'un ouvrage entraîne la libération soudaine et massive d'une énorme quantité d'eau, chargée d'une force dévastatrice qui détruit tout sur son passage. Les conséquences en termes de dégâts matériels et humains sont souvent incalculables, comme le soulignent plusieurs études sur les catastrophes liées aux ruptures de barrages (**ICOLD, 2018**). La prévision de ces ruptures reste une tâche complexe et souvent imprécise, rendant la prévention de ces calamités encore plus difficiles.

5.5. Les inondations par submersion marine

Une submersion marine se réfère à une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer adjacente. Ce phénomène est attribuable à des événements météorologiques ou océanographiques exceptionnels, tels que des marées hautes exceptionnelles, des phénomènes de surcote et une élévation du niveau de la mer due à la fonte importante des glaciers (**Nicholls et al., 2008**). Ces événements inhabituels peuvent entraîner des inondations rapides et dommageables le long des côtes, avec des conséquences potentiellement dévastatrices pour les communautés côtières et les écosystèmes sensibles (**Church et al., 2013**).

6. Les causes et origines des inondations

Les inondations sont déclenchées par plusieurs facteurs, parmi lesquels on peut citer (**Parker et al., 2011**) :

- **Causes d'origine naturelle** : Elles englobent les phénomènes météorologiques et climatiques tels que les pluies exceptionnelles, les orages violents, les pluies torrentielles et la fonte des neiges.
- **Causes d'origine humaine directe** : Ces causes résultent de la modification du système fluvial et de ses caractéristiques morphologiques par des activités telles que la construction d'ouvrages hydrauliques, le drainage, l'irrigation, la dégradation des sols et l'agriculture intensive, qui accélèrent le ruissellement et limitent l'infiltration.
- **Causes d'origine humaine indirecte** : Elles sont liées à la pollution et au réchauffement climatique, qui ont altéré les conditions climatiques mondiales. L'émission de gaz à effet de serre provoque la fonte des glaciers polaires, entraînant une élévation du niveau des océans et des cours d'eau, ainsi que la prolifération de cyclones d'intensité accrue.

7. Conséquences engendrées par les inondations

Les inondations affectent presque tous les pays du monde, mais leurs influences varient considérablement. Les aléas associés aux inondations ont des impacts significatifs sur la société, provoquant des dommages étendus dans plusieurs secteurs, notamment le secteur de la santé et de la vie, le secteur socio-économique et le secteur environnemental (**Kundzewicz et al., 2017**).

- **Impacts humains** : Les inondations peuvent entraîner des pertes en vies humaines, des blessures et des maladies associées à l'exposition à l'eau contaminée et aux conditions insalubres des zones touchées (**Parker et al., 2011**).
- **Impacts économiques** : Les inondations ont des répercussions économiques considérables, notamment la destruction des biens matériels, des infrastructures et des terres agricoles, ainsi que des pertes de revenus pour les entreprises et les individus touchés (**Dilley et al., 2005**).
- **Impacts environnementaux** : Les inondations peuvent causer des dommages écologiques graves, tels que la perte d'habitats naturels, la contamination des écosystèmes aquatiques et terrestres, et la diminution de la biodiversité (**Baran et al., 2012**).

- **Impacts sociaux** : Les inondations ont des conséquences sociales importantes, y compris le déplacement de populations, la perturbation des services essentiels tels que l'éducation et la santé, et l'augmentation des tensions sociales et des conflits (**Few et al., 2003**).
- **Impacts sur les infrastructures** : Les inondations endommagent les infrastructures critiques telles que les routes, les ponts, les réseaux d'approvisionnement en eau et d'assainissement, ainsi que les installations électriques, entraînant des perturbations majeures dans les services publics (**Jonkman et al., 2005**).

8. Les stratégies de préservation contre les inondations

La prévention des inondations nécessite une approche holistique intégrant plusieurs mesures et stratégies pour réduire les risques et les impacts associés à ces événements dévastateurs. Plusieurs actions peuvent être entreprises dans ce but :

- **Gestion des bassins versants** : La gestion des bassins versants consiste à préserver les zones naturelles tampons, à restaurer les écosystèmes hydrologiques et à promouvoir des pratiques agricoles durables pour réduire le ruissellement et favoriser l'infiltration (**Arnold et Gibbons, 1996**).
- **Aménagement urbain résilient** : L'aménagement urbain résilient comprend la mise en place de mesures d'adaptation comme la construction de digues, de bassins de rétention des eaux pluviales, et le renforcement des infrastructures critiques pour limiter les dommages causés par les inondations (**IPCC, 2014**).
- **Éducation et sensibilisation** : L'éducation et la sensibilisation du public aux risques d'inondation, aux mesures d'atténuation et aux actions à entreprendre en cas d'urgence sont essentielles pour renforcer la résilience des communautés face aux inondations (**Paton et al., 2008**).
- **Utilisation de technologies innovantes** : L'utilisation de technologies innovantes telles que les systèmes d'alerte précoce basés sur les données météorologiques et hydrologiques en temps réel, ainsi que les modèles de prévision des inondations, permettent d'améliorer la gestion des risques et la préparation aux inondations (**WMO, 2019**).
- **Infrastructure de protection** : La construction et l'entretien d'infrastructures de protection telles que les digues, les barrages et les systèmes de drainage peuvent

limiter l'ampleur des inondations en canalisant et en contrôlant le flux d'eau dans les zones à risque (Jonkman *et al.*, 2005).

9. Catastrophes naturelles : 'les inondations sont la plus grande menace

Le nombre croissant d'inondations à l'échelle mondiale constitue une menace majeure, selon **Debarati Guha-Sapir**, directrice du Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED) et enseignante à l'Université de Louvain, à Bruxelles. Les données recueillies par le CRED montrent une augmentation significative du nombre d'inondations au fil des décennies. Dans les années 1990, en moyenne 87 inondations étaient enregistrées chaque année. Depuis les années 2000, ce chiffre a presque doublé, avec une moyenne de 165 inondations par an à l'échelle mondiale.

Le CRED définit une inondation, tout comme les autres catastrophes naturelles, comme un événement ayant causé soit plus de 10 décès, soit affecté plus de 100 personnes, soit ayant entraîné une déclaration d'état d'urgence ou de catastrophe naturelle, ou encore pour lequel les autorités ont dû demander une aide internationale.

Parmi les catastrophes naturelles d'origine météorologique, hydrologique et climatologique, les inondations sont celles qui ont connu la plus forte augmentation, suivies de près par les températures extrêmes, avec une hausse de 140% (Euronews, 2018).

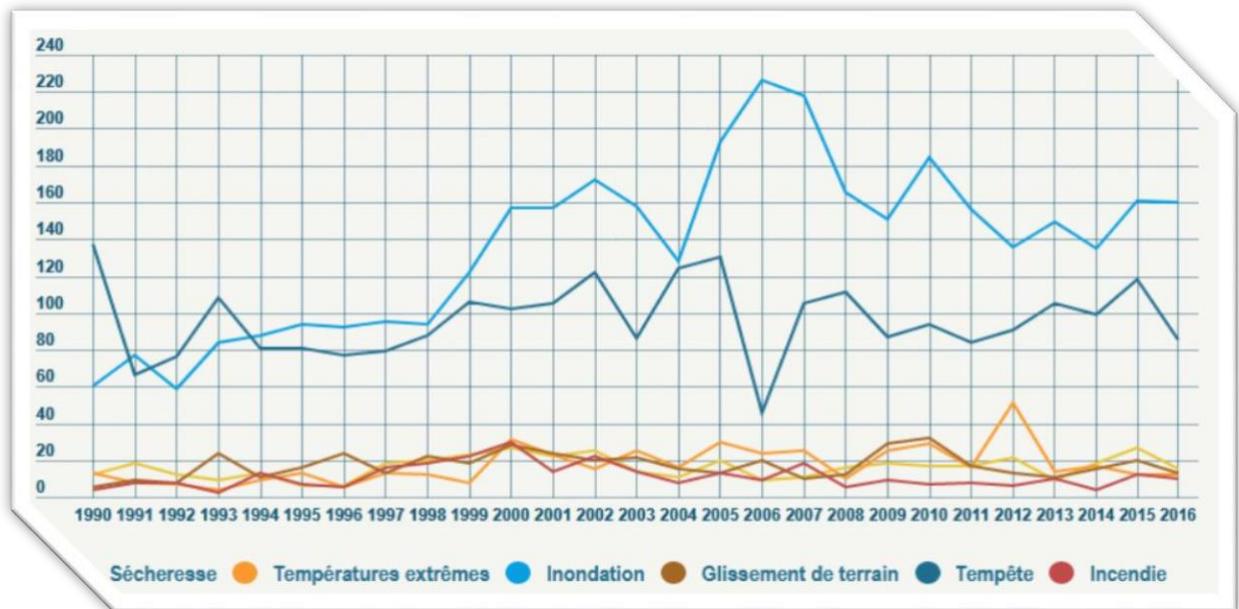


Figure 9 : Fréquence par type de catastrophe (Euronews, 2018)

Tableau 01: Principales Inondations dans le monde (Agriculture.)

<i>Principales inondations</i>		
Date	Lieu	Nombre approx. de décès
1421	Pays-Bas	100 000
1530	Pays-Bas	400 000
1642	Chine	300 000
1887	fleuve Jaune, Chine	900 000
1900	Texas, Etats-Unis	5 000
1911	Yang-Tsé Kiang, Chine	100 000
1931	Yang-Tsé Kiang, Chine	145 000
1935	Yang-Tsé Kiang, Chine	142 000
1938	fleuve Jaune, Chine	870 000
1949	Yang-Tsé Kiang, Chine	5700
1953	Pays-Bas	2 000
1954	Yang-Tsé Kiang, Chine	30 000
1960	Bangladesh	10 000
1963	Vajont, Italie	1800
1979	Morvi, Inde	15 000
1991	Bangladesh	139 000
1991	Philippines	6 000
1991	Huai, Chine	2900

Source: World Commission on Water for the 21st Century, Vision mondiale de l'eau, Making Water Everybody's Business, rapport provisoire de la Commission, version du 14 novembre 1999

10. Les inondations en Algérie

L'Algérie est régulièrement confrontée aux ravages des crues et des inondations, des phénomènes qui se révèlent catastrophiques et représentent une contrainte majeure pour son développement économique et social. Ces inondations sont non seulement parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices, mais aussi les plus fréquentes ; seuls les séismes peuvent rivaliser en termes de bilan humain et matériel aussi lourd (**Djebali, 2015**).

De nombreuses régions du pays, tant au nord qu'au sud, sont menacées par ces catastrophes hydrologiques en raison de leur topographie particulière (**Touaibia, 2015**). Les inondations causées par les crues des oueds et les tempêtes de pluie touchent toutes les régions de l'Algérie.

Tableau 2 : Inondations en Algérie classées selon le lieu, la date et les dégâts (Djebali, 2015)

Lieu	Date	Bilan des dégâts
Mostaganem	Novembre 1927	3000 morts, échelle de gravité : 5
Chlef	06/10/1966	63 Décès
Ouled Sidi Ali (Mascara)	01/01/1969	10 décès
Biskra	01/09/1969	28 décès
Batna	09/10/1969	28 décès
Azazga (Tizi Ouzou)	12/10/1971	40 décès, des centaines d'habitations détruites
Tizi Ouzou	28-31/03/1974	52 décès dans la wilaya, 18000 sinistrés, dégâts estimés à 27 millions de DA
Alger	01/01/1980	11 Décès
El-Eulma (Sétif)	01/09/1980	44 décès.
Sougueur (Tiaret)	24/09/1980	15 décès.
Annaba (centre-ville)	11/11/1982	26 décès, 9500 sinistrés, dégâts matériels importants
Birine (Djelfa)	22/08/1983	10 décès.
Ain Témouchent	01/01/1984	33 décès.
Skikda	30/01-4/02/1984	174 maisons démolies, 500 familles sinistrées, terrains agricoles fortement endommagés,

Lieu	Date	Bilan des dégâts
Jijel	29/12/1984	29 décès, 11000 sinistrés
Skikda	28-30/12/1984	11 décès, immersion de 400 hectares, dégâts évalués alors à 50 millions DA
Bordj El Amir Khaled (Ain Defla)	01/01/1986	13 Décès.
Sidi Bel Abbes	04/10/1986	1 décès, 200 familles sans abris
Ain Azel (Sétif)	06/02/1990	19 décès.
Oued Rhiou	20/10/1993	22 décès, 14 blessés
Bordj Bou Arreridj	23/09/1994	16 décès, dégâts (10 millions DA)
Laghouat	28/10/1995	40 décès
Annaba	23-30/04/1996	5 décès.
Adrar	14/01/1999	12 décès.
Tedjna (Chlef)	11/10/2001	15 décès.
Alger (Babel Oued)	09-11/11/2001	Plus de 800 décès, 115 disparus, des milliers de blessés, dégâts (30 milliards de DA)
Reggane (Tamanrasset)	09/08/2003	13 décès.
Skikda	17-11-2004	plus de 100 familles sans abris, 219 familles sinistrées, établissements scolaires fermés (3 lycées, 6 collèges d'enseignement moyen et 4 écoles fondamentales)
Sud (régions d'Illizi, Adraret Tamanrasset)	06-09/03/2005	3 décès, 09 disparus et 70 évacués par hélicoptère, routes, agriculture et infrastructures endommagées, plusieurs villages inondés.

Lieu	Date	Bilan des dégâts
Tindouf	09-11/02/2006	50 à 60% d'infrastructures détruites aux camps des réfugiés sahraouis (12200 familles sans abris)
M'sila région	19/04/2007	13 décès.
Béchar	18 /10/ 2007	2 morts emportés par les eaux,
Ghardaïa	01 /10/ 2008	Plus de 50 décès et 50 blessés, maisons effondrées sur leurs habitants, des dizaines de véhicules emportés par les eaux, arbres arrachés, poteaux électriques ensevelis, dégâts aux surfaces agricoles et au cheptel ovin, plus de 1000 maisons inondées dont 600 endommagées.
Béchar	10 /10/ 2008	8 morts, dégâts matériels importants, la plus grande inondation depuis 1959.
El Bayadh	01/10/2011	11 décès.

11. Causes et types de crues catastrophiques en Algérie

La genèse des fortes crues et leurs impacts sur l'environnement et les activités varient d'une région à une autre en fonction des conditions géographiques, climatiques et d'occupation des sols spécifiques à chacune. Bien que les fortes pluies constituent la cause fondamentale de la plupart des inondations, toutes ne sont pas dues à des phénomènes météorologiques exceptionnels. En effet, des facteurs externes peuvent aggraver les effets des crues ou induire eux-mêmes des phénomènes hydrauliques, comme la présence de débris et de troncs d'arbres qui réduisent la capacité des oueds (Chaabani et al., 2016).

De manière générale, les causes des inondations en Algérie sont classées en trois types principaux (Chaabani et al., 2016) :

- Les inondations liées aux conditions météorologiques remarquables, telles que les fortes pluies et les orages violents.
- Les inondations résultant des activités humaines, telles que la défaillance des réseaux d'assainissement, l'encombrement des oueds par les déchets, et les décombres.
- Les inondations dans des régions à topographie défavorable, comme les villes traversées par des oueds ou situées au pied de montagnes, exposées au risque d'inondation en raison de la forte concentration de populations et de l'urbanisation anarchique.

Ces inondations peuvent être classées en deux types en fonction de leurs caractéristiques **(Chaabani et al., 2016)** :

- Les inondations engendrées par des crues torrentielles, affectant les petits bassins versants et caractérisées par leur soudaineté et leur rapidité, souvent liées à des chutes de pluies isolées et localement intenses.
- Les inondations des grands bassins versants, résultant de précipitations importantes généralisées sur de vastes étendues et caractérisées par leur quantité et leur longue durée, parfois aggravées par des affluents avals plus courts et plus rapides.

12. Historique des inondations catastrophiques en Algérie

Dans ce qui suit, un bref aperçu, par ordre chronologique, des inondations survenues en Algérie au cours des quarante dernières années, de 1970 à 2011 **(Chabane et bbaoui,2016)**.

Le 12 octobre 1971, des fortes pluies orageuses se sont abattues localement à Azazga, avec une pluie journalière atteignant 182,6 mm.

Conséquences :

- 40 décès ont été recensés, et des centaines d'habitations ont été détruites.

Du 27 au 29 mars 1973, des pluies exceptionnelles se sont abattues de manière généralisée sur l'est de l'Algérie, avec une pluie journalière atteignant 166,2 mm enregistrée à Annaba. Ces pluies ont entraîné des inondations catastrophiques dans plusieurs wilayas de l'est du pays. **(Chabane et bbaoui,2016)**

Tableau 3 : Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 27 au 29 Mars 1973

Station	Oued	Hauteur maximale (m)	Débit maximum (m ³ /s)
Medjez Amar II	Bouhamdane	6.00	986
Bouchegouf	Mellah	6.60	559.5
Ain Berda	Ressoul	3.54	137
M. Rochefort	Cherf Amont	4.29	345
Mirbeck	Seybouse	15.00	2400
Ain El Assel	Kebir Est	10.30	376.44
Souk Ahras	Medjerda	6.50	345
Ouenza	Mellegue	3.36	466.5
El Aouinet	Mellegue	3.5	385.2
Morsott	Ksob	3.65	97.5

Du 28 au 31 mars 1974, des pluies exceptionnelles ont frappé les wilayas d'Alger et de Tizi Ouzou, avec un total de 688 mm de pluie en quatre jours et 381 mm en une seule journée au col de Sakamody. (Chabane et bbaoui,2016)

Conséquences :

Dans ces deux wilayas :

- 52 décès ont été déplorés et 4570 maisons ont été détruites.
- 130 villages ont été isolés et plus de 18 000 personnes ont été sinistrées.
- 13 ponts ont été détruits et des dizaines de kilomètres de routes ont été emportés.
- Les dommages matériels aux divers services techniques ont été évalués à 27 millions de DA.

Le tableau 4: résume les caractéristiques des crues observées lors de cet événement dans les bassins des côtiers Algérois, de la Sebaou, de l'Isser et de la Soummam.

Tableau 4: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 28 au 31 Mars 1974

Station	Oued	Débit maximum (m ³ /s)	Volume ruisselé (hm ³)
Belloua	Sebaou	2940	311
Baghlia	Sebaou	3420	476
RN25	Bougdoura	580	49
Lakhdaria	Isser	2520	259
Sidi Aich	Soummam	1820	281
Route des piégeons	El Harrach	819	97
Baraki	El Harrach	1620	175
Keddara	Boudouaou	267	21
Fer à cheval	Mazafran	754	196
Attatba	Mazafran	750	97

Le 1er septembre 1980, des pluies orageuses violentes localisées sur un rayon de 15 km à la ville d'El Eulma ont provoqué des crues catastrophiques de l'Oued Djehadi.

Dégâts :

- 44 morts, 50 blessés et 365 familles sinistrées.

Le 22 août 1983, des pluies orageuses très violentes ont frappé Birrine (Wilaya de Djelfa), inondant la commune à 60%.

Dégâts :

- 10 morts et 10 blessés.
- 200 habitations détruites et 1200 têtes de bétail emportées par les eaux.

Le 3 février 1984, des pluies abondantes généralisées sur l'ensemble de l'Est Algérien, avec un foyer de maximum sur les monts de Constantine (120 mm en 3 jours) et les monts de la Medjerda (80 mm en 3 jours), ont provoqué des inondations catastrophiques dans toutes les wilayas de l'Est. (**Chabane et bbaoui,2016**)

Dégâts :

- **Jijel** : 20 morts, 500 têtes de bétail emportées et dégâts matériels évalués à 50 millions de DA.
- **Constantine** : 1140 familles sinistrées et 200 ha de cultures détruites.

- **Skikda** : 8000 habitations envahies par les eaux.
- **Guelma** : 03 disparus, 157 familles sinistrées, 2 ponts détruits et canalisations d'AEP détruites à 100%.
- **Khenchla** : 777 familles sinistrées et perte importante en cheptel.
- **Oum el Bouaghi** : 144 maisons détruites et 429 familles sinistrées.

Dans le tableau 5 sont résumées les caractéristiques des crues du 03 Février 1984.

Tableau 5: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 03 Février 1984

Station	Oued	Hauteur maximale (m)	Débit maximum (m ³ /s)
Medjez Amar I	Cherf Aval	6.00	2000
Medjez Amar II	Bouhamdane	6.80	1500
Bouchegouf	Mellah	4.58	715
Moulin Rochefort	Cherf Amont	--	632
Ain Berda	Ressoul	3.80	173
Mirbeck	Seybouse	15.15	3100

Du 29 décembre au 1er janvier 1985, des pluies exceptionnelles, totalisant plus de 250 mm en 4 jours et 195 mm en 1 journée, se sont généralisées sur toute la région de l'Est Algérien, provoquant des inondations très catastrophiques dans les wilayas de Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El Tarf. (**Chabane et bbaoui,2016**)

Le tableau (6) récapitule les caractéristiques des crues enregistrées sur tous l'ensemble des oueds des bassins versants de la Seybouse, des côtiers constantinois et du Kebir Rhummel.

Tableau 6: Caractéristiques des crues observées lors des inondations du 29 Décembre au 01 Janvier 1985

Station	Oued	Hauteur maximale (m)	Débit maximum (m ³ /s)	Volume ruisselé (hm ³)
Medjez Amar I	Cherf Aval	6.20	--	--
Medjez Amar II	Bouhamdane	6.10	1450	124.7
Bouchegouf	Mellah	3.89	510	--
Ain Berda	Ressoul	3.05	80	6.84

Mirbeck	Seybouse	14.90	2900	455
Ain el Assel	Kebir est	10.10	508	71.5
Ain Charchar	Kebir ouest	11.3	316	113

Le 5 juillet 1987, des pluies orageuses très violentes ont frappé Batna, avec une pluie journalière de 57 mm.

Dégâts :

- 2 morts et des dizaines de familles sinistrées.
- Dégâts matériels évalués à 175 millions de centimes.

Le 17 juin 1989, des pluies diluviennes se sont abattues sur Tiaret, avec un orage violent d'une durée de 15 minutes.

Dégâts :

- Affaissement de terrains et dégâts matériels considérables.

Le 1er septembre 1989, de fortes chutes de pluie à Biskra, accompagnées de grêle et d'un vent d'une rare violence, ont entraîné le débordement des oueds Al Arab, El Melleh et El Kheddra.

Dégâts :

- 2 morts et 35 blessés.
- 400 palmiers et des serres de cultures de maraîchage détruites.

En 21 Septembre 1989 forte Pluies orageuses à **M'Silla**, avec la commune de Sidi Aissa particulièrement touchée.

Dégâts :

- 1 personne disparue et plus de 200 familles sinistrées à Sidi Aissa.
- 2 ouvrages d'art chevauchant les RN 08 et RN 40 emportés par les eaux.
- 3 ponts sur les RN 40 et RN 60 endommagés, 2 gués sur la RN 60 emportés par les eaux, et plusieurs kilomètres de routes détériorées.
- Perte d'une retenue collinaire et de douze digues de déviations.

Le 11 octobre 1989, fortes pluies orageuses à El Tarf.

Dégâts :

- 60 familles sinistrées à Drean.

Le 15 octobre 1989, un orage très intense s'est abattu sur la ville d'Ain Defla.

Dégâts :

- 1 mort et une centaine de familles sinistrées.

Le 3 juin 1991, un orage local et très violent a eu lieu à Ghardaïa, avec 8 mm en 3 heures.

Dégâts :

- 9 morts et perte importante en cheptel et de palmeraies.
- Destruction partielle de la digue d'El Atteuf.
- Ponts, chaussées et réseaux d'assainissement avoisinant oued Mzab dégradés.

Le 26-27 janvier 1992, de fortes pluies généralisées ont touché plusieurs wilayas du centre du pays, provoquant des inondations catastrophiques aux wilayas telles que Alger, Blida, Tipaza, Chlef, Ain Defla, Médéa, etc. **(Chabane et bbaoui,2016)**

Dégâts :

- Nombreux décès et un grand nombre de blessés.
- 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef).
- Importants dégâts aux infrastructures routières et aux exploitations agricoles.
- Le pont reliant Bougara à Bouinan emporté.
- Le pont reliant l'Arbaa à Bougara endommagé.

Le 20 octobre 1993, des pluies orageuses intenses ont frappé la ville de Oued R'hiou, provoquant des crues violentes de l'Oued Grigra, un petit cours d'eau situé en amont de la ville de Oued R'hiou..**(Chabane et bbaoui,2016)**

Dégâts :

- 22 morts, 20 blessés et plusieurs disparus.
- Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.

Le 23 septembre 1994, des inondations catastrophiques ont touché plusieurs régions du pays, notamment Bordj Bou Arreridj, Msila, Djelfa, Médéa, Bouira, Ain Defla et Tiaret.

Dégâts :

- Bilan national : 27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.

Du 29 septembre au 02 octobre 1994, des inondations catastrophiques ont affecté les régions de Ghardaïa, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbas.

Dégâts :

- **Ghardaïa** : dégâts matériels évalués à 270 millions de DA.

- **Laghouat** : dégâts matériels évalués à 5 millions de DA dans le secteur de l'hydraulique.
- **Biskra** : 8 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- **Mascara** : 2 morts et importants dégâts matériels.
- **Tissemsilt** : 9 morts.
- **Sidi Bel Abbes** : 2 morts.

Le 6 octobre 1994, des pluies orageuses dans la wilaya d'Oum El Bouaghi ont provoqué d'immenses dégâts dans la région de Bir El Hanchir.

Dégâts :

- 350 familles sinistrées.
- 43 habitations, 15 ponts et des terres agricoles endommagés.

Le 4 avril 1996, des inondations catastrophiques ont frappé les wilayas d'Annaba et El Tarf.

Dégâts :

- Annaba : 5 morts et 10 blessés.
- El Tarf : 4 ouvrages endommagés et pertes agricoles dans les plaines de Bouteldja et El Iam.

Le 6 octobre 1998, des pluies diluviennes et des inondations catastrophiques ont touché la wilaya de Djelfa.

Dégâts :

- 200 hectares de récoltes inondées et pertes importantes en cheptel.
- Destruction d'un petit barrage à Thadmint et effondrement de 20 puits d'irrigation.

Le 14 janvier 1999, de fortes chutes de pluie à l'ouest du Sahara (74 mm à Adrar) ont provoqué de graves inondations. (Chabane et bbaoui,2016)

Dégâts :

- 12 morts et plusieurs disparus.
- 174 habitations en terre détruites dans les localités de Reggane, Tsabit, Timimoune et Adrar.

Le 23 octobre 2000, des pluies torrentielles dans la wilaya de Naama ont engendré des inondations catastrophiques dans les régions de Ain Sefra et Mechria.

Dégâts :

- 5 morts et une douzaine de personnes portées disparues.

- Perte importante en cheptel.
- Endommagement de la voie ferrée reliant Ain Sefra à Béni Ounif.
- Un pont au centre de la ville de Meghrrar a été endommagé.

Le 10 et 11 novembre 2001, des pluies diluviennes se sont abattues sur Alger, inondant la région de Bab El Oued.

Dégâts :

- 733 morts et 30 000 sinistrés.
- Dégâts matériels importants.

Le 1er octobre 2008, des pluies violentes se sont localisées à Ghardaïa, faisant dangereusement monter le niveau de l'eau dans les cours d'eau.

Dégâts :

- Plus de 33 morts, 84 blessés et près de 600 habitations détruites.

Du 1er au 2 octobre 2011, de fortes inondations ont frappé la ville d'El Bayadh par le débordement de l'Oued Deffa. (**Chabane et bbaoui,2016**)

Dégâts :

- 13 morts, 400 familles sinistrées et des dégâts matériels importants.

Conclusion

La survenue d'une crue se manifeste par un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, avec une intensité qui peut varier spatialement et temporairement. Alors que les conséquences en milieu naturel peuvent être relativement mineures, en milieu urbain, il est difficile de prévoir l'ampleur des dégâts humains et matériels causés par les inondations qui en résultent.

La gestion de la problématique des inondations est particulièrement complexe. Protéger les agglomérations contre ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de comprendre les différents paramètres contribuant à leur formation et de proposer des solutions adaptées.

Chapitre 2: Aperçu générale sur la zone

Dans ce chapitre présente aborde divers aspects liés à la région étudiée, incluant ses caractéristiques abiotiques telles que sa localisation géographique, ainsi que ses particularités biotiques.

1. Situation géographique de la wilaya d'El-Bayadh

Sur le plan géographique, la Wilaya est située entre les parallèles 30° 42' et 34° 28' de latitude Nord, et entre les méridiens de longitude 0° 24' à l'Ouest, fuseau 30, et 2°16' à l'Est, fuseau 31. Cette entité administrative découle de la récente réorganisation territoriale de la région Hauts Plateaux Ouest du pays, initiée en 1984. Conformément à la loi n° 09/1984 du 04 Février 1984 concernant l'organisation territoriale des wilayas, elle partage ses limites : **(Benstaali,2022)**

- Au Nord et Nord-Ouest avec Saida, Tiaret et Sidi Bel Abbés.
- À l'Est et Sud-Est avec Laghouat, Ghardaïa et Adrar.
- À l'Ouest et Sud-Ouest avec Nâama et Béchar.

S'étendant principalement sur des territoires arides et semi-arides, la Wilaya couvre une superficie totale de 71 696,70 km² **(Dellaoui, 2016)**.

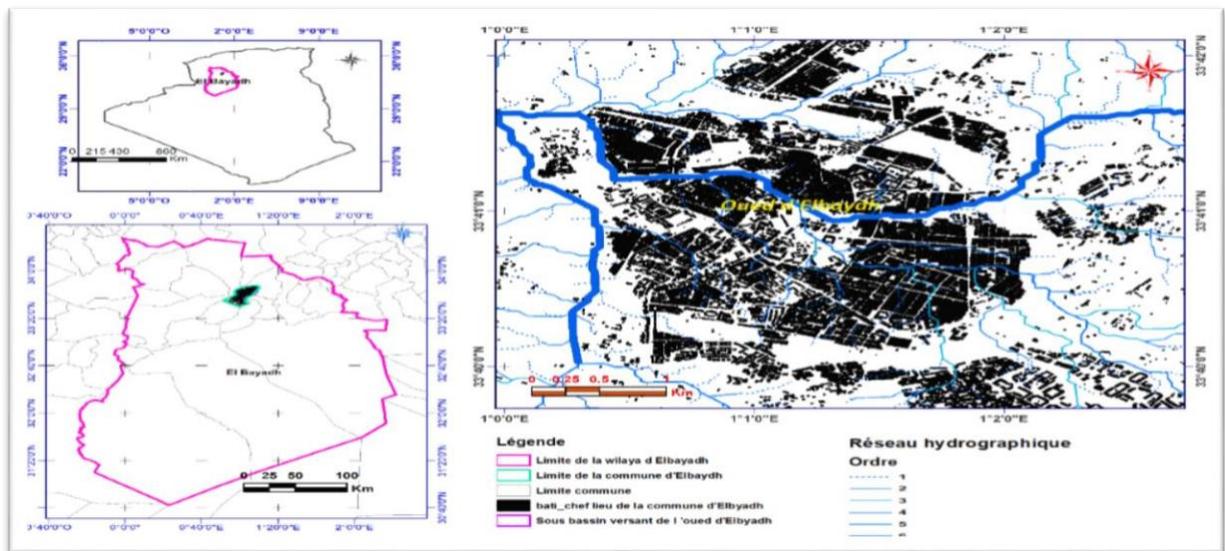


Figure 10 : localisation de la wilaya d'El Bayadh **(DrAnteur Dj ,2024)**

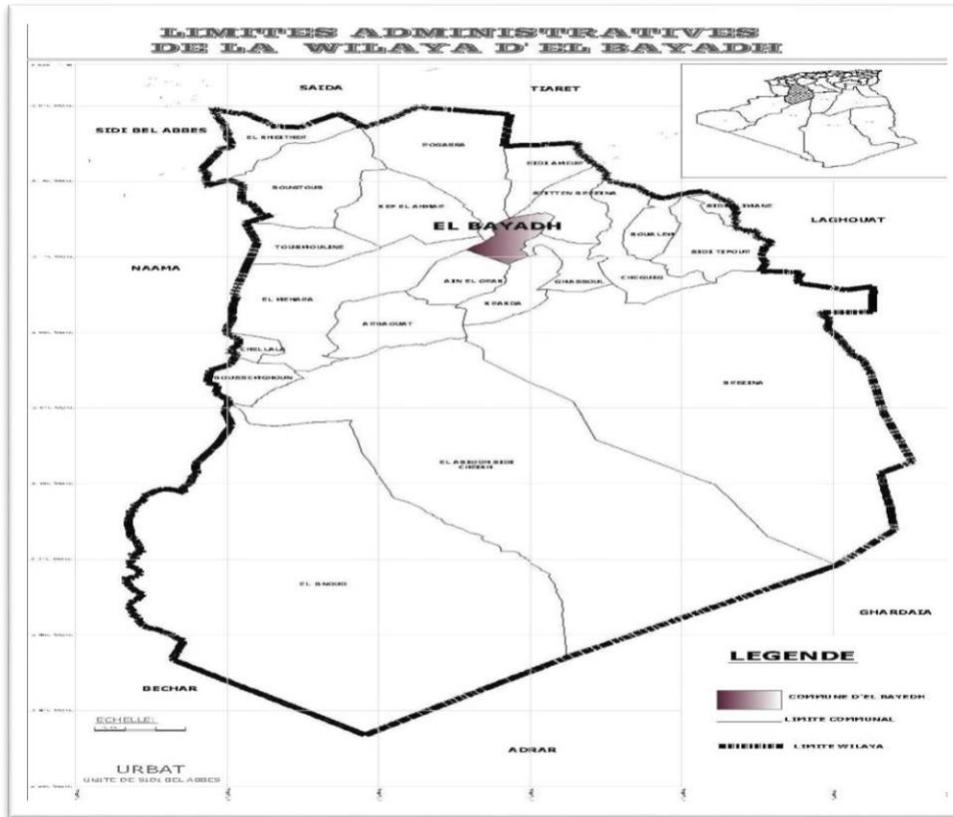


Figure 11: Carte des limites de la wilaya (HCDS 2013).

2. Une Exploration des Paysages Naturels

Le territoire de la wilaya se divise en trois principaux ensembles géographiques :

- **Au Nord** : les vastes plaines steppiques s'étendent.
- **Au centre** : l'Atlas saharien se profile majestueusement.

- **Au Sud** : la plateforme saharienne s'étend à perte de vue.

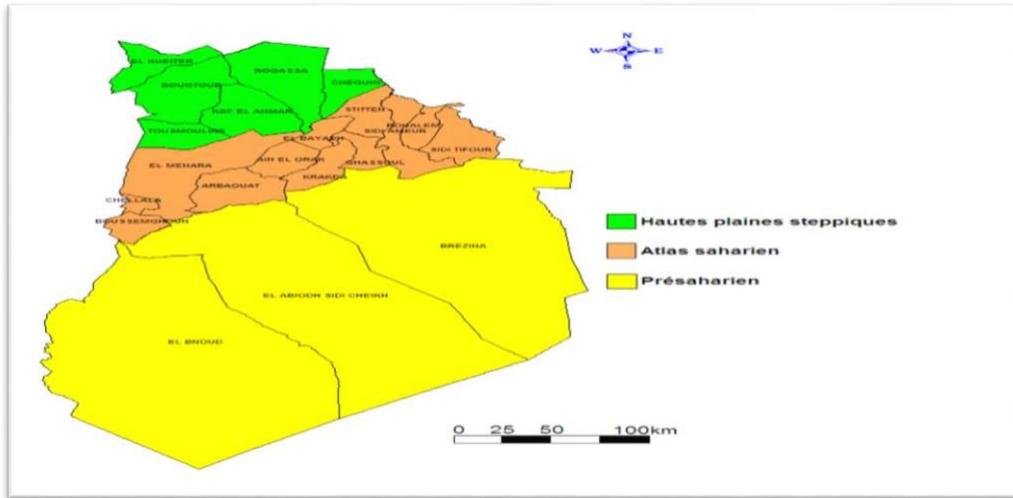


Figure 12 : carte de la subdivision de territoire de la Wilaya (**Dellaoui, 2016**).

2.1. Hautes plaines steppiques

D'après **Dellaoui, en 2016** le située entre les deux Atlas, cette région se caractérise par les vastes étendues des hautes plaines occidentales steppiques, représentant 18 % de la superficie totale de la wilaya, soit 887 810 hectares. Cet espace forme un vaste bassin fermé où les précipitations s'écoulent en direction du Chott Chergui. La pluviométrie moyenne varie entre 195 mm/an et 250 mm/an. Les altitudes oscillent entre 900 m à Bougtob et 1400 m à Hassi Ben Hadjem.

Ce territoire est principalement constitué de vastes étendues de steppes dominées par l'alfa. Sur le plan administratif, il englobe six communes. (**Tab. 14**)

Tableau 7 : Caractérisation de la zone des hautes plaines steppiques (**DPAT, 2010**)

Communes	Superficie en Km ²	Communes	Superficie en Km ²
Bougtob	2 017,60	Rogassa	2 415,70
El Kheiter	1 023,10	Kef Lahmar	1 622,40
Tousmouline	881,10	Cheguig	818,20
Totale		8 778,10	

Le climat semi-aride de la région limite l'activité agricole dans le temps et dans l'espace en raison des conditions climatiques contraignantes. De plus, les sols de cette zone sont souvent caractérisés par des affleurements rocheux et parfois salés, ce qui complique davantage les pratiques agricoles.

2.2. L'atlas saharien

Selon **Dellaoui (2016)**, le vaste ensemble de l'Atlas Saharien, dont l'altitude moyenne atteint 1300 m, couvre 22% de la superficie totale de la wilaya, soit 1 184 590 hectares. Cette région est appelée Monts des Ksour dans sa partie occidentale et Djebel Amour dans sa partie orientale, et est caractérisée par de nombreuses zones dépressives.

Ce territoire est composé de treize communes, réparties comme indiqué dans le tableau n° 15.

Tableau8 : Caractérisation de la zone de l'Atlas saharien (DPAT, 2010)

Communes	Superficie en Km ²	Communes	Superficie en Km ²	Communes	Superficie en Km ²
El Bayadh	463,50	Stitten	885,70	Chellala	219,30
Boualem	526,30	Ghassoul	564,10	Mehara	3 069,10
Sidi Amar	1 180,10	Krakda	833,90	Boussemgoun	586,10
Sidi Taifour	1 224,70	Ain El Orak	768,10	Sidi Slimane	154,10
		Arbaouet	1 370,90		
Total Atlas Saharien			11 845,90		

Selon (**Dellaoui, 2016**) cette région se distingue par son relief très accidenté, où les altitudes varient entre 1300 m et 2000 m, le Djebel Ksel culminant à 2008 mètres. Les précipitations annuelles fluctuent entre 250 mm et 326 mm. De plus, les conditions bioclimatiques, de type semi-aride froid, sont plus favorables que celles de la partie présaharienne, ce qui a encouragé l'installation et le développement d'une population humaine.

Près de la moitié de la population totale de la wilaya est concentrée dans cette zone, à travers de multiples agglomérations. Les sols, d'origine alluvionnaire, présentent une fertilité moyenne à bonne, facilitant ainsi les activités agricoles.

2.3. La zone présaharienne

Cette vaste zone couvre 60% de la superficie totale de la wilaya, soit 5 107 270 hectares. Elle est constituée de trois communes, dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau n° 16. (Dellaoui, 2016).

Tableau 9 : Caractérisation de la zone présaharienne (DPAT, 2010)

Communes	Superficie en Km ²
Brezina	15 702,80
El Abiod Sid Cheikh	16 023,30
Bnoud	19 346,60
Total	51 072,70

3. Géomorphologie

La géomorphologie est souvent considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques (Aidoud-Lounis, 1984). Elle constitue l'un des éléments les plus cruciaux de l'analyse cartographique dans les études de reconnaissance, régissant un grand nombre de processus physiques tels que la morphologie (pente), la pédogénèse et, par conséquent, le développement et l'évolution des sols (Tricart, 1978).

La ville d'El Bayadh s'étend sur le synclinal d'El Bayadh, étant délimitée au Nord par les djebels Mekther (1428m) et Zouireg (1509m), à l'Est par le djebel Ksel (2008m), au Sud par les djebels Eloustani (1921m), Bouderga (1872m) et Merdoufa (1578m), et à l'Ouest par le djebel El Biod (1453m) . Chabane, et Labbaoui. (2016).

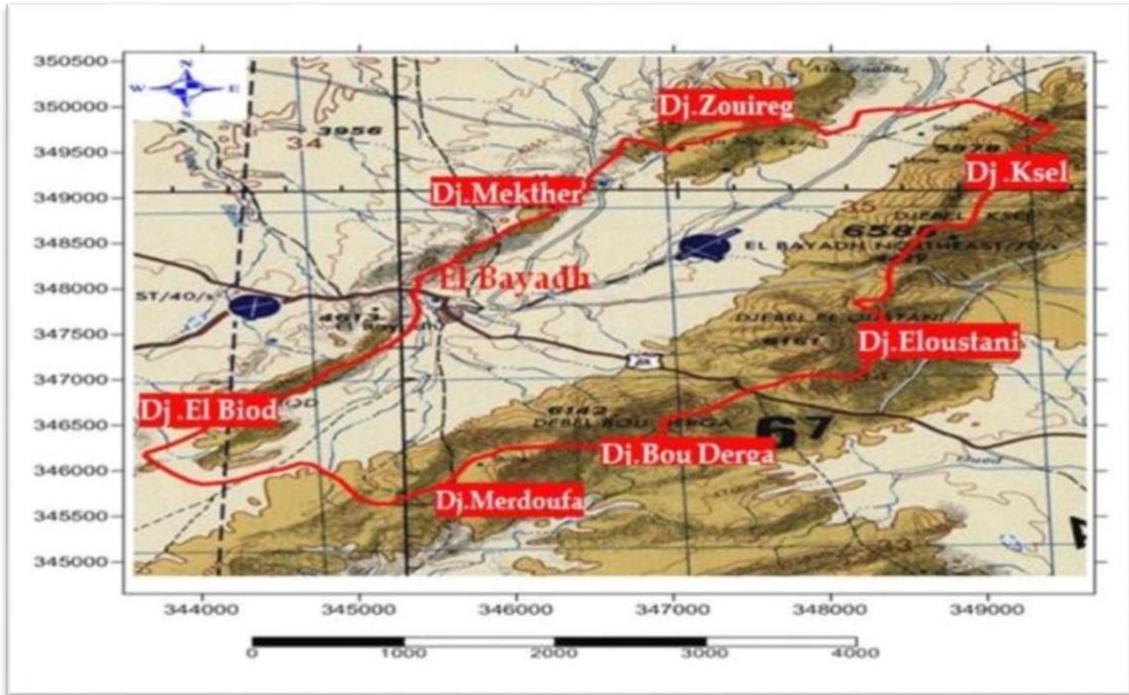


Figure 13: Situation géographique de la ville d'El Bayadh Chabane, et Labbaoui. (2016).

4. La géologie

Généralement, la région d'étude de Stitten est considérée comme faisant partie du domaine de l'Atlas saharien, caractérisé par des structures plissées orientées NE-SW datant du Jurassique et du Crétacé.

D'après **Sailia & Belarbi 2018** Les principales formations géologiques, qui sont à la fois les roches mères des sols et les sources des matériaux alluvionnaires, comprennent :

- **Le Trias**, composé d'argiles schisteuses plus ou moins gypseuses et salées, émergeant sous forme de petits massifs érodés au sein des formations jurassiques.
- **Le Jurassique**, caractérisé par une grande variété de faciès, principalement des calcaires durs et dolomitiques alternant avec des bancs de marnes multicolores.
- **Le Crétacé**, présentant une variété de faciès dominés par des roches calcaires tendres souvent encroûtées.

- **Le Cénomanien**, dont les roches se composent de séries marneuses et marno-calcaires alternant avec des calcaires plus durs, les marnes étant fréquemment salées et gypseuses (Tadjeddine, 2015).

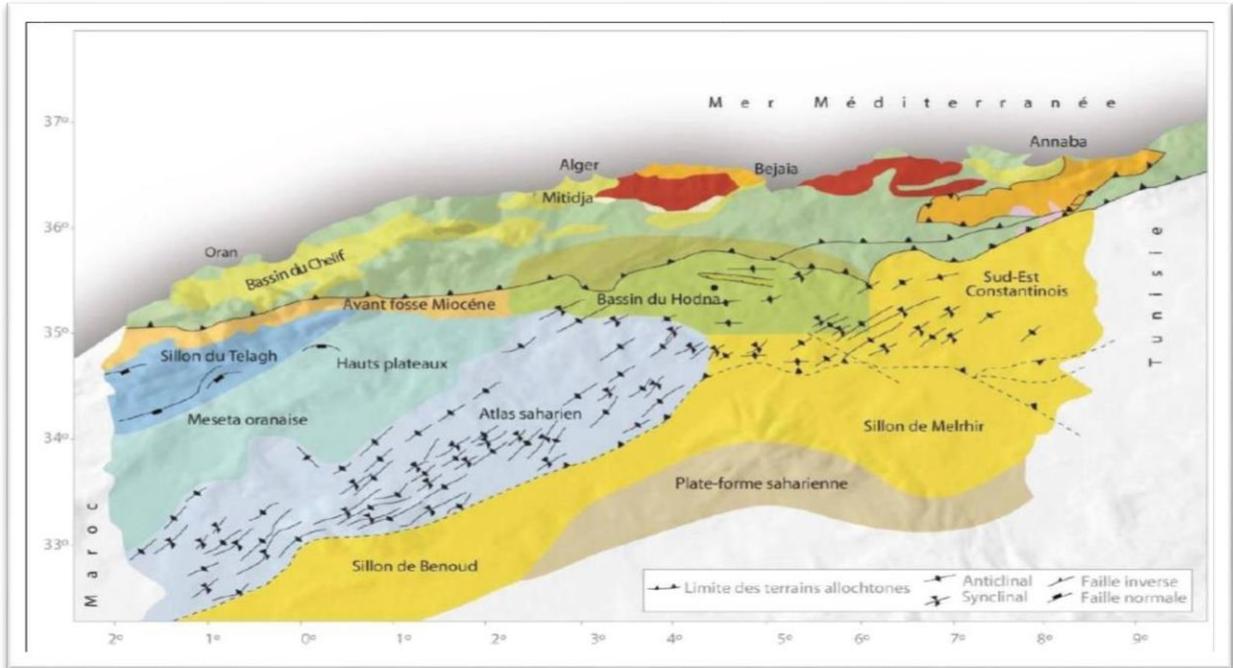


Fig14 : Principale structure de l'Atlas saharien (Wec Algérie, 2007).

5. Végétation

Étroitement liée aux conditions du sol et du climat, la végétation de la Wilaya reflète les caractéristiques du milieu physique local. La steppe prédomine, tandis que les forêts, principalement composées de maquis et de garrigues, se limitent aux sommets des montagnes de l'Atlas Saharien. Dans cette région, les parcours présentent une grande diversité et se situent généralement entre les isohyètes de 300 m et 400 m, représentant ainsi les zones steppiques les plus favorisées. **Saouli, (2020)**.

6. La pédologie

Les grands ensembles lithologiques et géomorphologiques fournissent un cadre pour comprendre les principaux types de sols. Dans les zones steppiques, la répartition des sols forme une mosaïque complexe, mêlant sols anciens (paléosols), sols récents, sols dégradés et sols évolués.

Les conditions locales, telles que la nature de la roche mère, la topographie, etc., introduisent de nombreuses variations. Les sols steppiques se caractérisent par une accumulation calcaire, une faible profondeur, une faible teneur en matière organique et en éléments minéraux, ainsi qu'une forte présence de cailloux, parfois associée à une salinité élevée. De plus, ces sols sont souvent sujets à l'ensablement, à une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation du fait de leurs caractéristiques (**Pouget, 1980**).

7. Climat

D'après le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (2024), la Wilaya se caractérise par deux saisons principales qui illustrent un contraste marqué tout au long de l'année :

- Un hiver rigoureux, souvent accompagné de chutes de neige fréquentes.
- Un été chaud et extrêmement sec.

Ces conditions favorisent le développement de plantes résistantes à la sécheresse. Les écarts thermiques entre les saisons sont brusques et importants.

La pluviométrie est très irrégulière, variant de 200 à 300 mm par an. Il n'est pas rare de connaître plusieurs mois de sécheresse consécutifs, voire des années entières sans précipitations significatives.

Quant aux températures, elles présentent des fluctuations temporelles importantes. Les hivers sont froids, avec une température moyenne de 6°C, tandis que les étés sont chauds, avec des températures moyennes atteignant 36°C.

8. Hydraulique

Selon **Saouli en 2020**, la Wilaya compte actuellement 108 forages en exploitation pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) et l'irrigation, avec un débit total de 1 047 litres par seconde (l/s). De plus, il y a 34 puits en service, fournissant un débit total de 44 l/s, ainsi que 9 autres sources avec un débit de 29 l/s. Parmi les 108 forages, 85 sont utilisés pour répondre aux besoins en eau potable, 18 sont dédiés à l'industrie et les 5 restants sont destinés à l'irrigation.

En outre, la Wilaya dispose d'un important barrage situé à Brézina, dans le sud de la Wilaya. Ce barrage avait une capacité initiale de 122,60 millions de mètres cubes (m³), mais sa capacité actuelle est estimée à 108,47 millions de m³. Il est principalement utilisé pour l'irrigation d'une superficie de 1200 hectares.

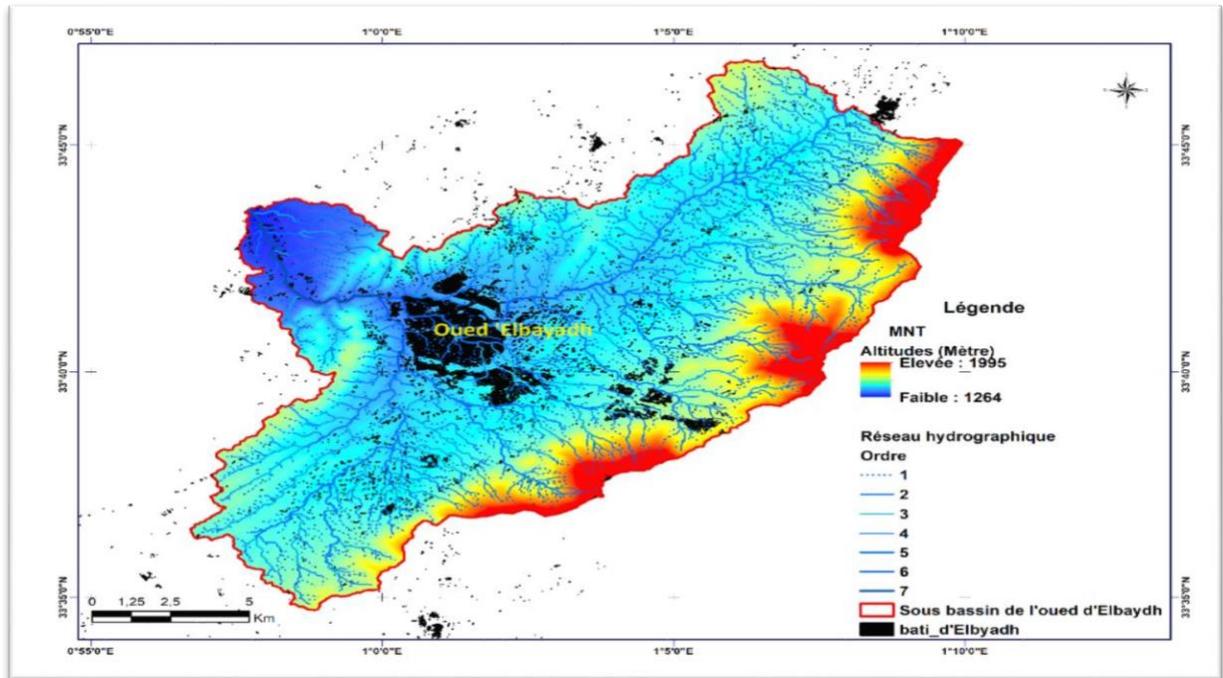


Figure 15: Principale réseaux hydraulique (DrAnteur Dj ,2024)

9. Les données hydrographiques

Le bassin versant qui alimente le cours d'eau de la ville bénéficie d'un réseau hydrographique dense sur la majeure partie de sa superficie. Les principaux le traversent :

- Oued Deffa au nord.
- Oued Chadli au Sud-Est.

Tableau 10: Caractéristiques du BOULEVard'Oued Deffa, à l'exutoire de la zone d'étude Chabane, et Labbaoui. (2016).

DESIGNATION	UNITES	VALEURS
Surface	Km ²	108.20
Périmètre	Km	54.22
Longueur du talweg le plus long	Km	16.51
Altitude maximale	m	1940.0
Altitude minimale	m	1304.0

10. Situation actuelle de la zone d'étude

D'après **Chabane et Labbaoui (2016)**, la zone d'étude débute à 1,5 à 2 kilomètres en amont de l'entrée de la ville, par rapport au pont menant vers Haoudh et Tiaret. Une partie de la ville a été soumise à une étude de réaménagement de l'Oued Deffa entre 2010 et 2011, en se concentrant notamment sur sa partie urbaine jusqu'à sa confluence avec l'Oued Merires en aval.

La protection de la ville a été mise en œuvre selon les mesures suivantes :

- Sur l'Oued Deffa,
- Le long du cours d'eau situé au nord de la ville,
- Dans le quartier Annesser.



Figure 16 : Carte de protection (Saouli , 2020)

11. Description de la zone d'étude

D'après **Saouli en 2020** au cours de la reconnaissance de la zone d'étude, il a été observé que les habitations étaient très proches du cours d'eau dans la partie urbanisée. En amont de la ville, les zones sont plus dégagées, comme le démontrent les photos de l'Oued Saffiet, affluent de l'Oued Deffa, présentées ci-dessous (**Figures 16 et 17**).



Figure 17: Oued Saffiet en amont de l'Oued Deffa (**photo original**)



Figure 18 : Pont sur Oued Saffiet avec charriage



Figure 19 : Pont menant vers El Bayadh entrée de la ville avec une conduite d'AEP (**Photo original**)

Selon **Saouli (2020)**, à l'entrée de la ville, il a été noté la présence d'un pont menant vers Tiaret, d'une longueur dépassant les 100 mètres (**Figure 19**). En amont de ce pont, une conduite d'eau potable traverse le cours d'eau.

En amont du pont Grabba, il a été observé sur la rive gauche que des remblais ont été déposés, permettant ainsi la création d'un marché. Ces remblais atteignent une hauteur de 3 à 4 mètres au-dessus du mur de protection. De plus, des excédents de terres sont poussés par des engins dans le canal, formant des monticules atteignant jusqu'à 2 mètres de hauteur, ce qui réduit la section d'écoulement.

En aval, une réduction de la largeur du canal a été constatée, passant de 23 à 11 mètres au niveau du pont Grabba (**Figures 20 et 21**). Il est à noter que ce pont s'est effondré lors des inondations du 1er au 2 octobre 2011 et a été reconstruit par la suite (**Chabane et Labbaoui, 2016**).



Figure 20: Quartier Grabba **Figure21:** Pont Grabba, rétrécissement de section (**Photo original**)

Selon **Saouli (2020)**, c'est probablement au niveau de ce pont que l'inondation a débuté, avec des débordements de la lame d'eau atteignant plus de 5 mètres de hauteur (Figure 22) au-dessus de la protection qui a été construite, laquelle a une hauteur de 5 mètres.

Lors de la crue du 1er au 2 octobre 2011, certains murs de protection se sont effondrés, comme illustré dans les photos ci-dessous (**Figures 23 et 24**). Un canal de protection avait été construit avec des voiles en béton armé d'une hauteur de 6 mètres et une largeur de canal variant de 20 à 40 mètres en fonction des endroits et des espaces disponibles en tenant compte des habitations construites le long de cet oued. La pente du canal est de 0,0011 m/m. (**Saouli , 2020**)



Figure 23 : Oued Deffa avec les voiles de protection en partie détruits (**Photo original**)



Figure 24 : Oued Deffa avec les voiles de protection en partie détruits (**Photo original**)

12. Historique des inondations de la ville d'El Bayadh

Selon **Chabane et Labbaoui (2016)** pour évaluer l'importance de la protection contre les inondations de la ville d'El Bayadh, il convient de noter que plusieurs crues ont entraîné une élévation du niveau d'eau dans l'oued, provoquant des inondations de biens et des pertes en vies humaines. Un historique des inondations a été établi pour la période allant de 1990 à 2011. Le

tableau II.2 résume les inondations majeures ayant touché la ville au cours de cette période. Il est à noter que les inondations du 1er au 2 octobre 2011 ont été les plus dévastatrices, entraînant la mort de quatorze personnes et la sinistralisation de 400 familles.

Tableau 11 : Historique Des inondations de 1994 à 2011 Saouli en 2020

Daïra	Commune	Historique (date des inondations pour la plus longue période possible)	Lieu dit (quartiers zones ou secteurs touchés)	Nature des dégâts		
				Humains (Morts et blessés) (Nombre)	Sinistrés (Nombre)	matériels
El Bayadh	El Bayadh	03-04/1990	Oued Deffa centre ville	/	06	/
El Bayadh	El Bayadh	13-14-15/03/1991	Oued Deffa	/	214	/
El Bayadh	El Bayadh	18/10/1991	Oued Deffa	12 Blessés	09	/
El Bayadh	El Bayadh	1/6/1993	Oued Deffa	03 Morts	20	/
El Bayadh	El Bayadh	22-23/09/1994	Oued Deffa	/	04	/
El Bayadh	El Bayadh	27/02/1995	Oued Deffa	/	12	/
El Bayadh	El Bayadh	09/04/1997	Oued Deffa	01 Mort	/	/
El Bayadh	El Bayadh	23/10/2000	Oued Deffa	/	/	/
El Bayadh	El Bayadh	29/03/2004 16-17/04/2004	Oued Deffa	02 Morts /	/	01 Véhicule 02 Véhicule 01 Véhicule
El Bayadh	El Bayadh	22/04/2004	Oued Deffa	/	25	02 Camions
El Bayadh	El Bayadh	29/04/2004	Oued Deffa	01 Blessée	39	01 Véhicule
El Bayadh	El Bayadh	23/05/2004	Oued Deffa	/	20	/
El Bayadh	El Bayadh	22,23 et 24.04.2011	Oued Deffaa	Non communiquée	Non communiquée	/
El Bayadh	El Bayadh	01 au 02.10.2011	Oued Deffaa	13 morts	400	

13. Analyse des Inondations de la Ville d'El Bayadh par ASAL

D'après **Chabane et Labbaoui (2016)** Suite aux inondations qui ont frappé la ville d'El Bayadh le 1er octobre 2011, l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) a entrepris la couverture de la région sinistrée à l'aide des images du satellite algérien Alsat-2A. En coordination avec la Direction Générale de la Protection Civile, l'ASAL a également activé la charte internationale "Espace et Risques Majeurs". Dans ce contexte, l'ASAL a réalisé un travail visant à délimiter la zone inondée et à évaluer préliminairement les impacts de ces inondations sur les habitations et les infrastructures. Les données utilisées pour ce travail sont les suivantes :

1. Images satellitaires à haute résolution couvrant la région d'El Bayadh, prises avant et après les inondations :

- Images des satellites Worldview-1 et Worldview-2 à 50 cm de résolution.
- Images du satellite Kompsat à 1 mètre de résolution.
- Images du satellite SPOT-5 à 2,5 mètres de résolution.
- Images du satellite Alsat-2A à 2,5 mètres de résolution.

2. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ayant servi à l'extraction automatique du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Deffa et à sa hiérarchisation. L'exploitation des images satellitaires prises avant et après les inondations a permis la délimitation de la zone inondée par la détection de l'humidité des sols, mise en évidence à travers les analyses multi-spectrales effectuées sur les images des satellites Alsat-2A, Kompsat et Worldview-2.

Les analyses d'images ont révélé les informations suivantes :

- La surface inondée dans les deux rives de l'oued Deffa a touché plus de 23 hectares sur un périmètre de 4,5 kilomètres.
- Un pont situé dans la partie ouest de la ville a été sérieusement endommagé et deux passerelles ont été emportées.

De plus, l'analyse des images satellites a montré que les eaux de la crue de l'Oued Deffa du 1er octobre 2011, chargées de sédiments et de débris charriés par cet oued, ont débordé sur la rive

droite à l'entrée de la ville (en amont : entrée est de la ville), à quelques centaines de mètres à l'est du pont du 20 août 1956, reliant El Bayadh à l'aéroport.

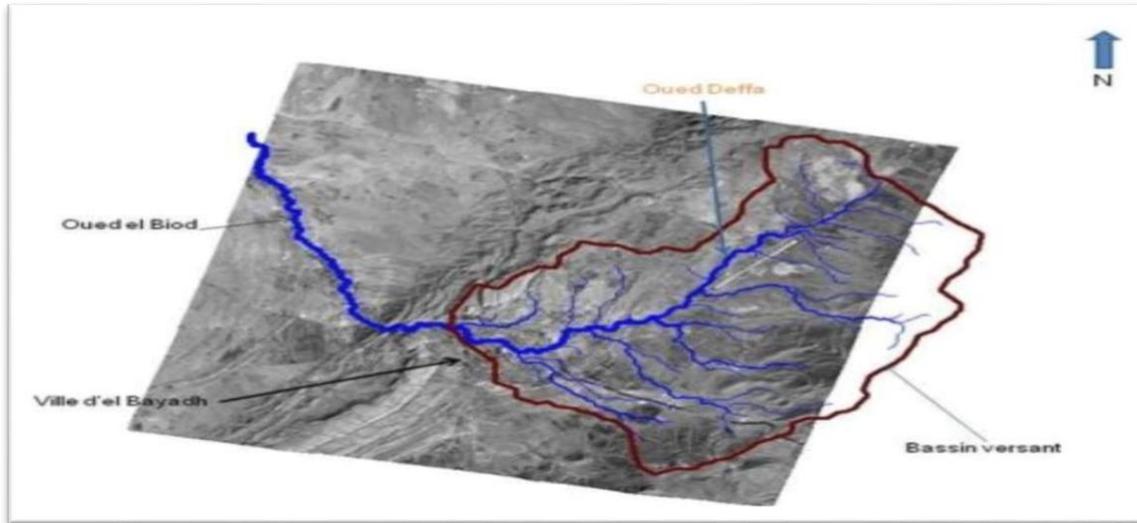


Figure 25 : Superposition du réseau hydrographique hiérarchisé du bassin versant de l'oued Deffa sur une ortho image Alsat-2A prise sur El Bayadh et ses environs (ASAL) Saouli en 2020

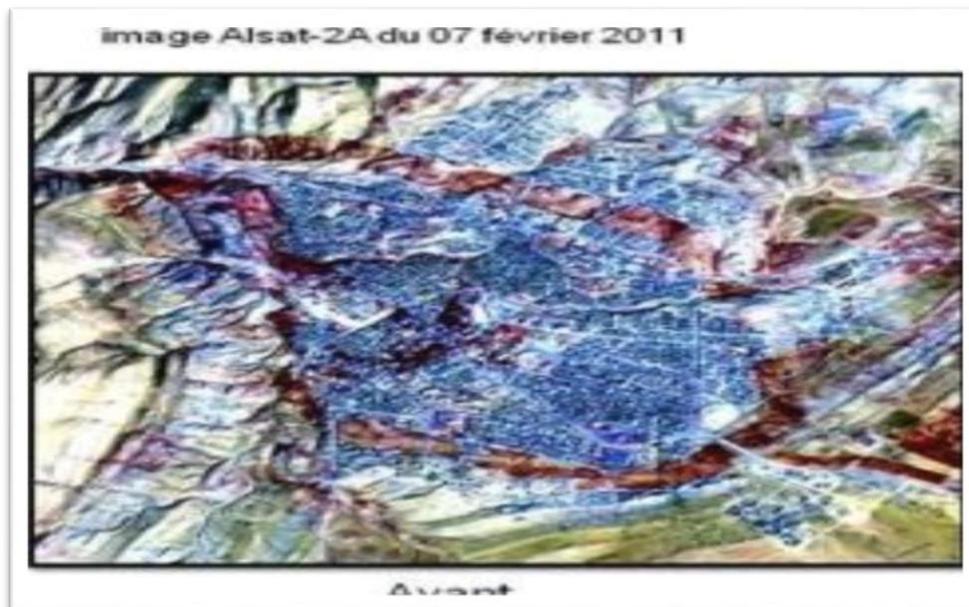


Figure 26 : Détection de la zone inondée par l'identification de traces d'humidité de part et d'autre de l'oued Deffa, grâce à une analyse diachronique des images Alsat-2A, prises avant les inondations (ASAL) Chabane et Labbaoui (2016)

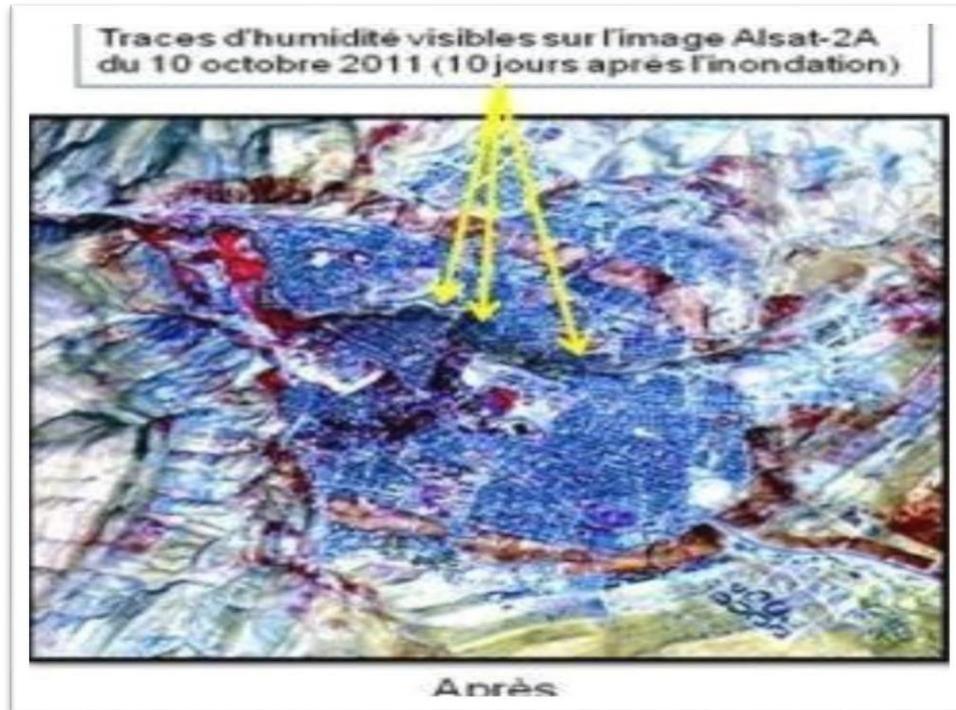


Figure 27 : Vue globale de la zone inondée (en jaune) détectée sur les images multispectrales d'Alsat-2A (©ASAL), prises après les inondations. **Saouli en 2020**

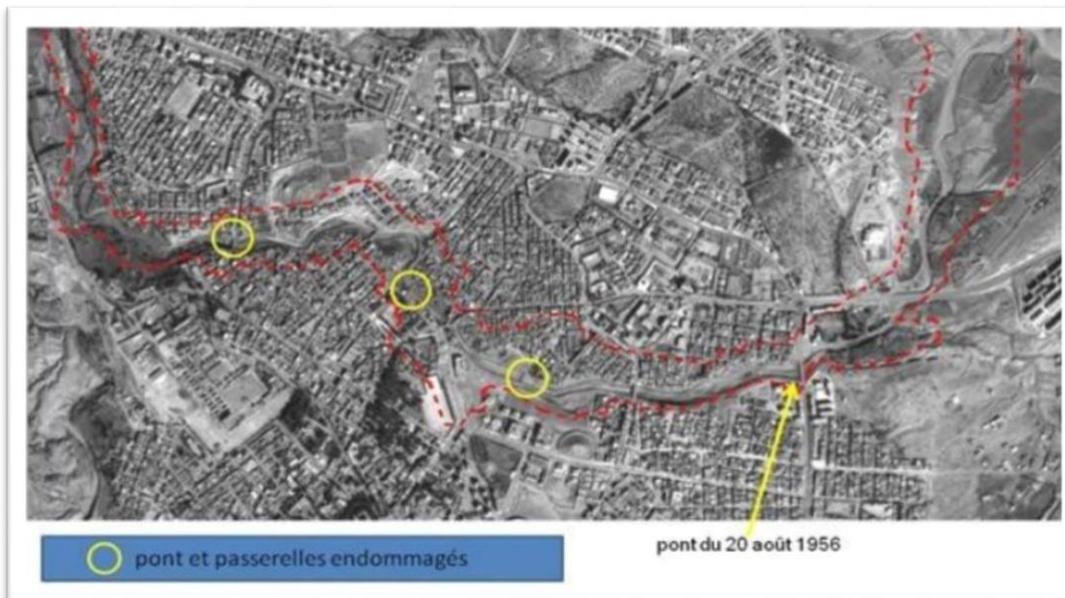


Figure 28 : Vue globale de la zone inondée (ligne rouge en pointillé) superposée sur une image Alsat-2A (© ASAL) **Saouli en 2020**

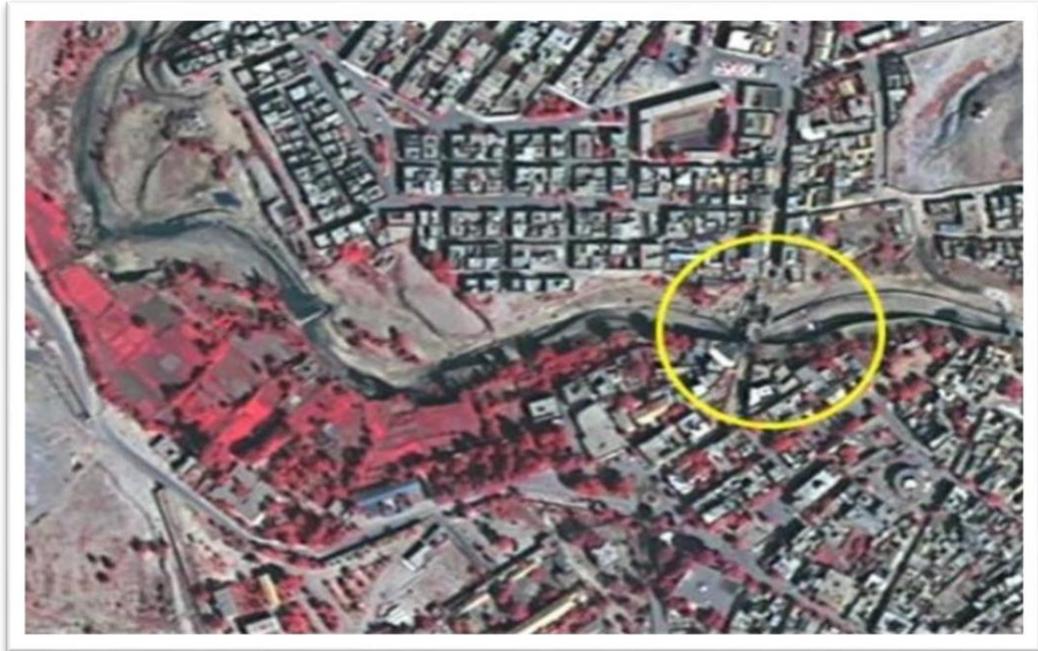


Figure 29 : Impact de l'inondation visible sur les images du satellite Kompsat (© KARI)Chabane et Labbaoui (2016)



Figure 30: Impacts de l'inondation identifiés sur les images du satellite Kompsat (©KARI), matérialisés par la destruction de deux passerelles (cercle en jaune). Chabane et Labbaoui (2016)



Figure 31 : La délimitation de la zone inondée réalisée à partir des Images du satellite Worldview-2 **Chabane et Labbaoui (2016)**

Conclusion

Les causes et les facteurs aggravants des inondations sont multifactoriels et peuvent varier en fonction de la région et des circonstances spécifiques. Cependant, plusieurs tendances générales se retrouvent souvent dans de nombreuses situations d'inondation.

Premièrement, l'urbanisation non planifiée est souvent citée comme l'une des principales causes d'inondations. L'expansion rapide des zones urbaines conduit à une augmentation des surfaces imperméables telles que les routes, les parkings et les bâtiments, ce qui réduit la capacité des sols à absorber l'eau de pluie. En conséquence, l'eau de pluie s'écoule plus rapidement vers les cours d'eau, augmentant le risque d'inondation.

Deuxièmement, l'occupation illégale des zones inondables aggrave souvent les problèmes d'inondation. Les constructions dans ces zones exposent les habitants à des risques élevés et peuvent entraver la capacité naturelle des cours d'eau à absorber les crues soudaines.

Troisièmement, la modification des cours d'eau peut jouer un rôle significatif dans l'augmentation des risques d'inondation. Les interventions humaines telles que le comblement des zones humides, le creusement de canaux ou la construction de barrages peuvent perturber l'écoulement naturel de l'eau et augmenter la probabilité d'inondations.

Ces facteurs, combinés à d'autres conditions locales telles que la géographie, la topographie et les conditions météorologiques extrêmes, contribuent à la complexité des inondations et soulignent l'importance de stratégies de gestion des risques d'inondation intégrées et durables.

Chapitre 3 : Le système d'information géographique

Introduction

Les phénomènes naturels, notamment les inondations, surviennent régulièrement et nécessitent des solutions adéquates pour atténuer leurs impacts. Grâce aux avancées technologiques et à l'omniprésence croissante des systèmes électroniques embarqués et du web informatique, nous disposons désormais d'outils pour répondre à ces défis de manière plus efficace qu'auparavant. Ce chapitre se propose d'examiner l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour cartographier les zones inondables et de présenter les technologies des systèmes électroniques embarqués afin d'automatiser la collecte d'informations pour le contrôle des crues à distance. **(Mouaz S. et Saidi A., 2020).**

L'association du système d'information géographique avec la cartographie permet la création de documents cartographiques, tout en offrant un outil indispensable pour structurer et analyser les différentes couches d'informations en vue d'extraire des données pertinentes. Dans le domaine de la gestion des ressources forestières, l'utilisation d'un SIG se concentre principalement sur la cartographie du terrain à étudier, englobant les diverses cartes générées. Les méthodes de cartographie traditionnelles ne répondent plus aux exigences actuelles. La complexité et la diversité des données environnementales ont stimulé le développement de systèmes capables de collecter, analyser et représenter efficacement ces phénomènes. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection sont désormais des outils essentiels pour comprendre et surveiller les processus dynamiques, devenant ainsi indispensables pour orienter les investissements et fournir des bases solides à la prise de décisions **(Missoumi et Tadjerouni, 2003).**

1. Définition de SIG

Le Système d'Information Géographique (SIG) représente l'ensemble des équipements matériels et logiciels, ainsi que des données géographiques, avec lesquels les utilisateurs interagissent pour intégrer, analyser et visualiser les données. Son objectif est de détecter les relations, schémas et tendances, afin de proposer des solutions aux problèmes **(Esri, 2004)**. Ce système vise à capturer, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et afficher les informations géographiques. Typiquement, un SIG présente des cartes sous forme de couches de données, qui peuvent être étudiées et utilisées pour l'analyse **(Mostefaoui, T.,et Benkhedda, F., 2020).**

La Société Française de Photogrammétrie et Télédétection (1989) définit le SIG comme un système informatique permettant de rassembler, organiser, gérer, analyser, combiner, élaborer et présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. **Yemefack (2005), cité par Bico.m (2012)**, va dans le même sens en assimilant le SIG à un système informatique capable de collecter, stocker, manipuler et visualiser les données spatiales du monde réel pour répondre à des objectifs spécifiques. L'information géographique englobe la description d'un objet ainsi que sa position géographique à la surface de la Terre.

2. Historique

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont émergé à la suite de l'informatisation de la production cartographique, initiée à la fin des années 60 par "Tomlinson", souvent considéré comme le père du SIG moderne. Son premier essai portait sur l'installation de plantations forestières en Afrique de l'Est. En 1963, le Canada a établi le premier SIG opérationnel de gestion des ressources terrestres, appelé le Système d'Information Géographique du Canada (SIGC), géré aujourd'hui par "Environnement Canada". Dans les années 70, les SIG se sont largement répandus dans le domaine civil, avec par exemple le développement d'un SIG à Paris par l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR) en 1969, qui a mis en place une banque de données urbaines sur Paris à partir d'informations administratives référencées à l'îlot. Cette période a également été marquée par l'informatisation des données urbaines, l'introduction de la télédétection dans le domaine civil et l'apparition des premières sociétés spécialisées (Esri, Intergraph, etc.) (**Belhadeb, Hacene, 2014**).

Dans les années 80, le développement de l'ordinateur individuel a permis la démocratisation et la diffusion généralisée des SIG (**Perrier Bruslé, Lætitia**). Cependant, c'est dans les années 1960 que l'informatisation de la production cartographique a donné naissance à une nouvelle technologie appelée géomatique. Progressivement, les données cartographiques nécessaires à la géomatique ont dû être organisées en bases de données pour être pleinement exploitables. Ainsi, l'exploitation combinée de plusieurs bases de données a conduit à la notion de système informatique capable d'assurer la synthèse, la gestion et l'archivage de ces données. Ce n'est que progressivement, au cours des années 80, que la notion de Système d'Information Géographique s'est imposée comme objectif général de la géomatique. À la fin des années 90, l'explosion technologique s'est produite avec l'utilisation de progiciels dédiés tels que ArcInfo, initialement

utilisé sur des stations Unix car il était alors impensable de traiter ces données sur un simple PC de bureau. L'avènement de la technologie Internet a également révolutionné le domaine (**Belhadef, Hacene, 2014**).

Tableau 12: Les périodes principales dans l'évolution des SIG (**Maguire et al (1991)**)

Période	Evolution de SIG
Fin des années 1950 milieu des années 1970	début de l'informatique, premières cartographies automatiques.
milieu des années 1970 début des années 1980	diffusion des outils de cartographie automatique / SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...)
depuis les années 1980	croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données)
depuis les années 1990	Des applications sur Internet et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...)

3. Composition d'un SIG

Le Système d'Information Géographique (SIG) se compose d'une base de données géographiques ainsi que d'un ensemble d'outils facilitant son utilisation.

3.1. La base de données géographique (BDG)

Elle se compose d'un ensemble numérique de "cartes" et d'informations associées. Cette base de données décrit les objets à la surface de la Terre, comprenant deux éléments principaux : une base de données décrivant les objets spatiaux (leur localisation et leur forme) et une autre définissant les caractéristiques thématiques (leurs attributs). Une base de données est une collection d'informations relatives à un sujet ou un objectif particulier, comme le décrit Microsoft Access. Elle est en réalité un ensemble structuré de tables, de relations entre ces tables, de requêtes, de formulaires et de rapports. (**Ayachi, S., et Belghazali, Y., 2020**)

3.2. Saisie de données

La saisie des données peut s'effectuer soit à partir d'un formulaire, soit directement dans la table. La saisie via un formulaire est souvent préférée car celui-ci peut être personnalisé pour simplifier l'opération. De plus, il est possible d'importer ou de lier des données provenant de diverses sources dans Access, telles que des fichiers Excel, des fichiers texte, des tables PDF, des fichiers HTML ou XML, ainsi que d'autres bases de données Access. (Ayachi, S., et Belghazali, Y., 2020)

3.3. Filtrage des données

Les filtres permettent de sélectionner des enregistrements en fonction de conditions spécifiques, créant ainsi des sous-ensembles de données. Ils sont composés d'expressions utilisant des opérateurs mathématiques et de comparaison tels que ($=$, $<$, $>$, \geq , \leq , \diamond), ainsi que des opérateurs logiques (et, où). Par exemple, filtrer les peuplements ayant un volume supérieur ou égal à 150 m³/ha et composés de résineux. Il est important de rappeler que les opérateurs logiques (et, où) sont fondés sur les concepts d'ensemble et de sous-ensemble :

- L'opérateur ET réalise l'intersection de deux sous-ensembles.
- L'opérateur OU réalise l'union de deux sous-ensembles. (Ayachi, S., et Belghazali, Y., 2020)

3.4. Les principales fonctions d'un SIG

Les systèmes d'information géographique (SIG) peuvent être adaptés pour répondre à divers besoins, car il n'existe pas de système universel. Cependant, ils partagent généralement certaines fonctionnalités regroupées en 5 familles, désignées sous le terme des « 5A » : Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse. Marmonier (2002) les décrit comme suit :

- **Abstraction** : il s'agit de la modélisation du réel selon une certaine vision du monde.
- **Acquisition** : cette étape concerne l'intégration et l'échange de données (import-export). Les données peuvent être acquises de trois manières : par digitalisation à l'aide d'un digitaliseur, par numérisation à l'aide d'un scanner, ou par saisie au clavier.
- **Archivage** : elle consiste à structurer et stocker l'information géographique sous forme numérique.
- **Affichage** : cette fonctionnalité concerne la représentation et la mise en forme des données, notamment sous forme cartographique.

- **Analyse** : cette étape implique l'analyse spatiale, qui comprend des calculs liés à la géométrie des objets et le croisement de données thématiques.

4. Fonctionnalités d'un SIG

Dans la perspective de **Belhadeff Hacene, Islam (2014)**, un système d'information géographique (SIG) se révèle être un ensemble d'outils puissants permettant de saisir, conserver, extraire, transformer et afficher les données décrivant le monde réel, comme le souligne Luis **Berardo Borda (2003)**. Cette vision résume les cinq fonctionnalités fondamentales d'un SIG, également connues sous le nom des cinq A : abstraction, acquisition, archivage, analyse et affichage des données à caractère spatial.

- **Abstraction** : Cette étape consiste à concevoir un modèle organisant les données en composants géométriques et attributs descriptifs, ainsi qu'à établir des relations entre les objets. Le découpage en couches peut être envisagé pour regrouper des objets géographiques homogènes.
- **Acquisition** : L'acquisition consiste à alimenter le SIG en données. Cela implique d'entrer à la fois la forme géométrique des objets et leurs attributs et relations. Ce processus intègre deux types d'outils : l'importation de données provenant de différentes sources et la numérisation.
- **Archivage** : Cette fonctionnalité vise à sauvegarder de manière organisée et structurée les données manipulées au sein d'une base de données, facilitant ainsi leur accès ultérieur. Ce module utilise le support de stockage d'informations utilisé lors de l'acquisition.
- **Analyse** : Ce module permet de répondre aux questions posées au SIG, en en faisant un tableau de bord cartographique et un outil d'aide à la décision.
- **Affichage** : L'affichage permet de percevoir les relations spatiales entre les objets et de visualiser les données en lien avec leurs localisations spatiales. Un mode hypertexte peut également être retenu pour faciliter la navigation.

5. Le type d'informations géographiques

Les systèmes d'information géographique utilisent deux catégories distinctes de modèles géographiques :

Dans le modèle vectoriel, les données sont organisées sous forme de coordonnées x, y. Les objets ponctuels sont représentés par un simple point, tandis que les objets linéaires, tels que les routes ou les cours d'eau, sont définis par une série de coordonnées XY. Les objets polygonaux, comme les territoires géographiques ou les parcelles, sont délimités par une succession de coordonnées formant une surface fermée. Ce modèle est principalement utilisé pour représenter des données discrètes. (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

- **Les points servent** à définir les emplacements précis d'éléments isolés, idéaux pour représenter des phénomènes géographiques de petite taille ou des points de repère comme des sommets.
- Quant **aux lignes**, elles décrivent les contours d'objets trop étroits pour être représentés par des surfaces, comme des routes ou des rivières, ou des éléments linéaires comme les courbes de niveau qui n'ont pas de surface réelle.
- Enfin, **les polygones** sont utilisés pour délimiter des objets géographiques homogènes, tels que des pays, des parcelles ou des zones de végétation, en spécifiant leur forme et leur localisation sur la carte.

En revanche, le modèle raster consiste en une grille de points, chacun pouvant avoir une valeur différente. Il convient parfaitement pour représenter des données continues, telles que la nature d'un sol. Chacun de ces modèles présente ses propres avantages. Ainsi, un système d'information géographique moderne doit être en mesure d'exploiter simultanément les données raster et vectorielles pour une représentation optimale. (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

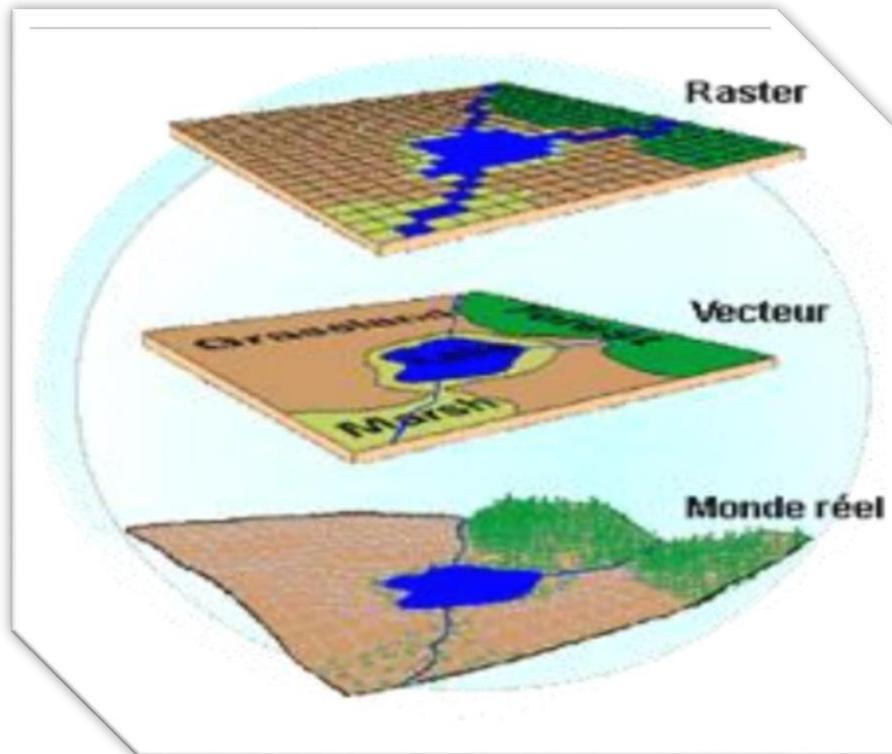


Figure 32: Deux différents types de modèle géographique. (Ayachi, S., et Belghazali, Y., 2020)

6. Types de données dans un SIG

En général, pour qu'un objet spatial soit pleinement décrit et prêt à être utilisé dans un SIG, trois types d'informations sont nécessaires : (Mostefaoui, T.,et Benkhedda, F., 2020).

- Sa position géographique dans l'espace.
- Sa relation spatiale avec d'autres objets spatiaux, ce qu'on appelle la topologie.
- Ses attributs, c'est-à-dire des caractéristiques d'identification telles qu'un code ou une description.

Les systèmes d'information géographique sont conçus pour traiter à la fois les données spatiales et les données associées, comme illustré dans la figure.

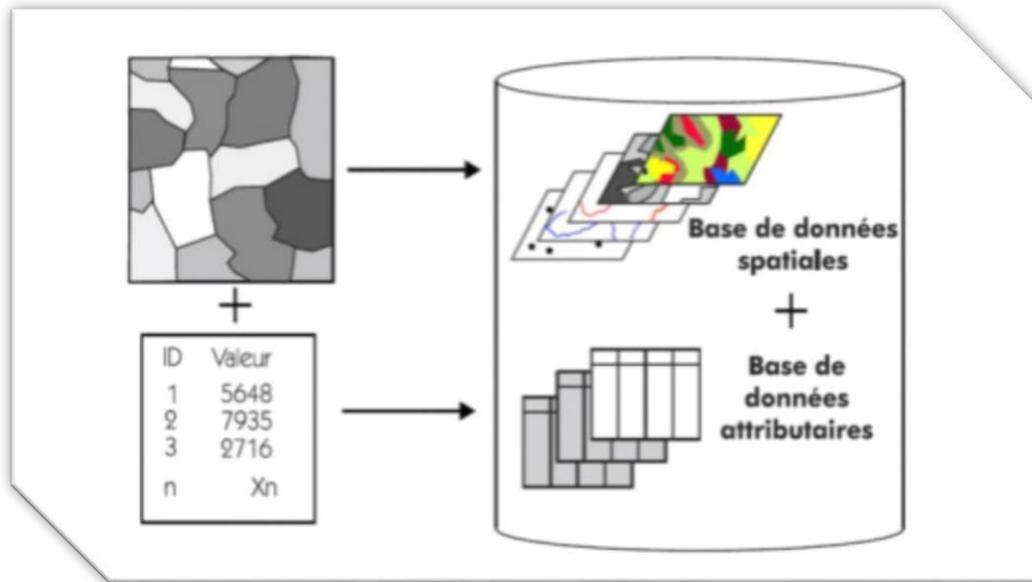


Figure 33: Types de données dans un SIG (<http://resources.arcgis.com>)

6.1. Données spatiales

Ces caractéristiques spatiales définissent les propriétés géographiques d'une entité, où tous les éléments graphiques sont représentés et identifiés. (Mostefaoui, T., et Benkhedda, F., 2020).

Elles comprennent :

- **La localisation** : déterminée par des coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- **La forme** : qui peut être un point, une ligne ou une surface.
- **La taille** : mesurée en termes de longueur, de périmètre ou de surface.

Les informations spatiales font référence à des objets de trois types :

- **Les points** : définis par leurs coordonnées et représentant la dimension spatiale la plus élémentaire.
- **Les lignes** : des éléments spatiaux constitués d'une succession de points proches les uns des autres.
- **Les polygones (ou zones)** : des entités de surface délimitées par une ligne fermée ou par les lignes qui les délimitent.

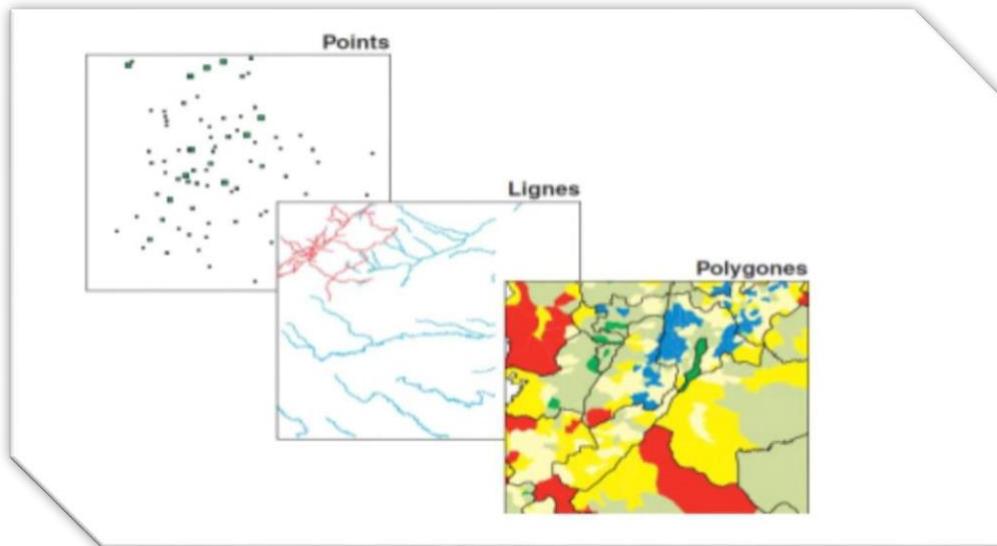


Figure 34: Données spatiales (<http://www.axesig.fr/produits/sig.html>)

6.2. Données associées

Les données associées aux entités géographiques complètent la représentation géométrique de ces entités. Chaque élément de l'espace se voit attribuer un code d'identification, pouvant être numérique ou littéral. Ce code agit comme une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone.

Parmi ces données, on distingue (Mostefaoui, T., et Benkhedda, F., 2020) :

- **Données de classification** : Ces données permettent de catégoriser les entités spatiales, telles que les limites administratives, les contours de parcelles, les bordures de trottoir, etc. Cette classification est souvent utilisée dans l'organisation du travail de saisie, où plusieurs couches d'informations sont saisies successivement.
- **Données d'identification** : Elles servent à individualiser chaque objet géographique en leur attribuant un nom propre ou un numéro d'identification, comme le nom de la commune ou le numéro de parcelle.

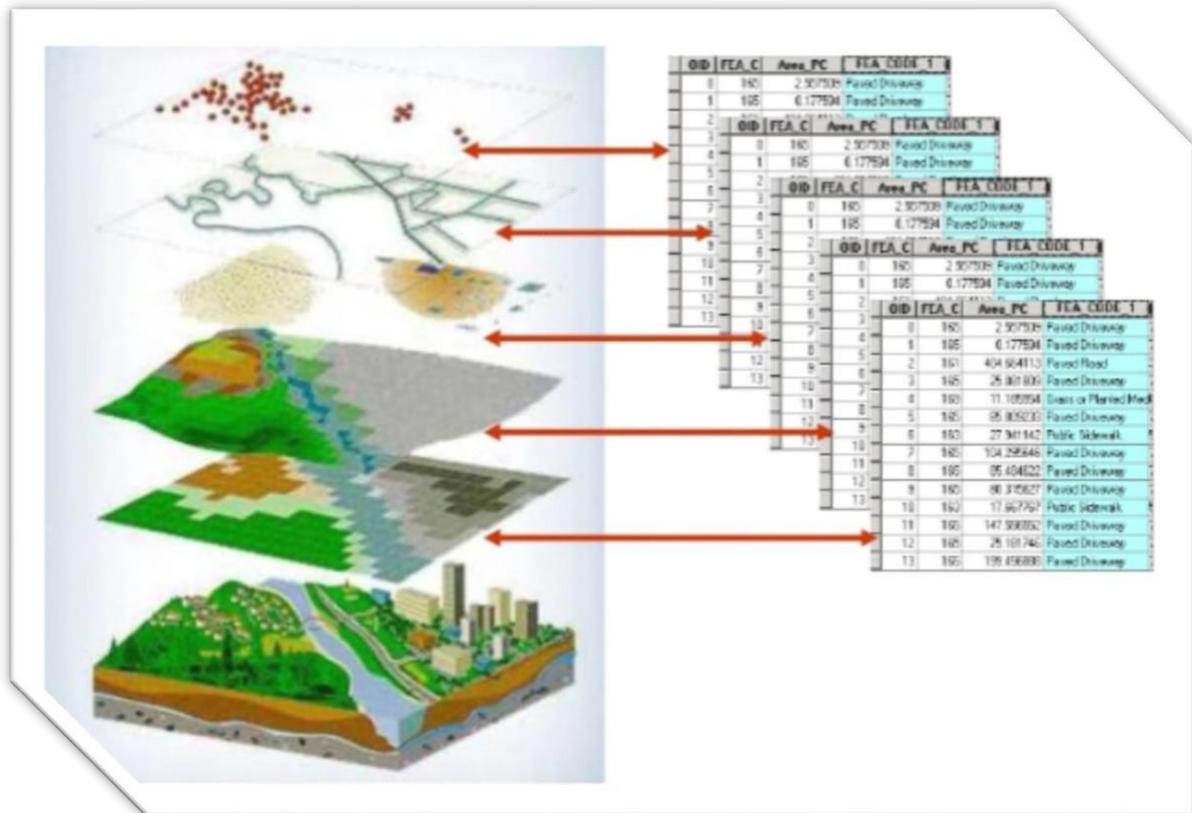


Figure35: Notion de couches de données (<http://www.seosproject.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.fr.html>)

- **Données attributaires** : Ces données fournissent des informations supplémentaires propres à chaque objet identifié, telles que le propriétaire de la parcelle ou le diamètre de la conduite d'eau. Ces informations sont souvent déjà disponibles dans des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet.

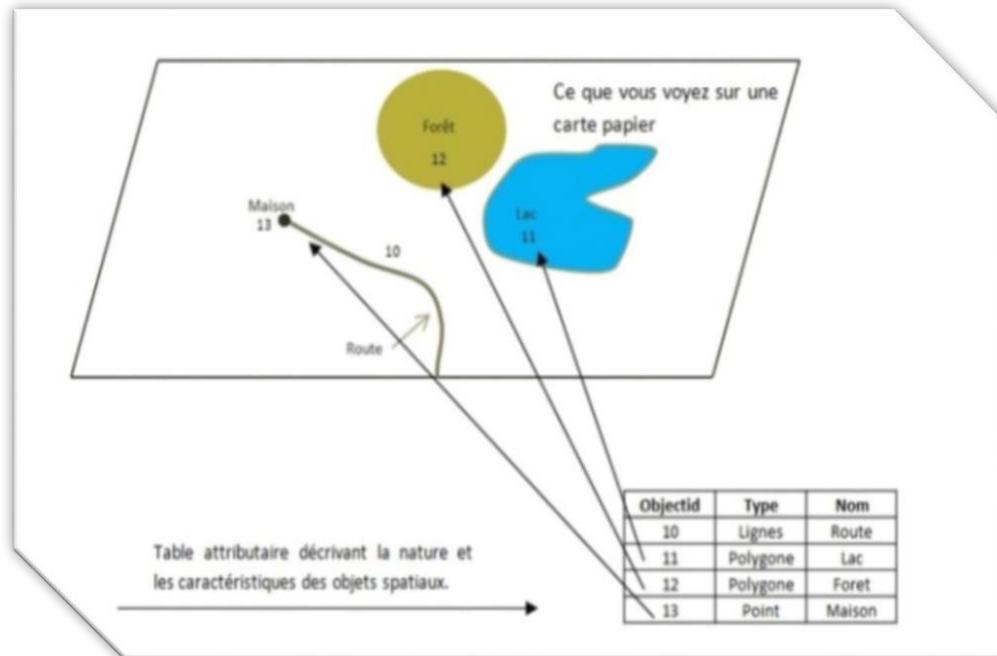


Figure 36 : Données associées (http://www.corse.fr/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html)

En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, où les identifiants sont souvent introduits en bloc à la fin du processus.

7. Les avantages des SIG

Les systèmes d'information géographique (SIG) présentent de multiples avantages, notamment : (Longley, P.A., et al 2015)

- **Intégration des données :** Les SIG permettent l'intégration de données issues de diverses sources, offrant ainsi une visualisation cohérente sur une carte.
- **Analyse spatiale :** Grâce aux outils d'analyse spatiale, les SIG permettent la détection de tendances, de modèles et de relations entre les données géographiques.
- **Prise de décision éclairée :** En fournissant des informations géographiques pertinentes et en permettant une analyse approfondie, les SIG facilitent la prise de décisions éclairées dans des domaines variés tels que l'aménagement du territoire, la gestion des ressources naturelles et la planification d'urgence.

- **Visualisation des données** : Les SIG offrent des fonctionnalités avancées de visualisation des données géographiques, facilitant ainsi une compréhension rapide et aisée des informations spatiales.
- **Optimisation des ressources** : En permettant une gestion efficace des ressources géographiques, les SIG contribuent à optimiser l'utilisation des ressources et à réduire les coûts.

8. Les contraintes des SIG

Les contraintes des SIG comprennent :

- La complexité et le coût élevé de la mise en œuvre et de la maintenance des systèmes (Longley, P.A., et al., 2015).
- La nécessité de disposer de données précises et à jour, ce qui peut être difficile à obtenir dans certaines régions ou pour certains types de données (Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S., 2011).
- Les problèmes liés à l'interopérabilité entre différents systèmes et formats de données, ce qui peut rendre difficile l'échange d'informations entre différentes organisations ou systèmes (Peng, Z., et Tsou, M.H., 2003).
- Les défis liés à la protection de la vie privée et à la sécurité des données géographiques, en particulier dans le contexte de la collecte et de la diffusion de données sensibles (Laurini, R., & Thompson, D., 1992).

9. Les bases de données des systèmes d'informations géographiques

Pour mettre en place un système d'information géographique (SIG), il est indispensable d'avoir une base de données associée pour stocker les données géographiques. Dans cette section, nous abordons plusieurs outils de gestion de bases de données largement utilisés dans ce contexte.

9.1. Microsoft Access

Microsoft Access est une base de données relationnelle développée par Microsoft, faisant partie de la suite Microsoft Office. Cette application offre une interface conviviale pour la création de tables, l'établissement de relations entre les tables, l'exécution de requêtes SQL, et bien plus encore. La figure suivante illustre l'interface principale de Microsoft Access, offrant un accès facile à toutes ces fonctionnalités. (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

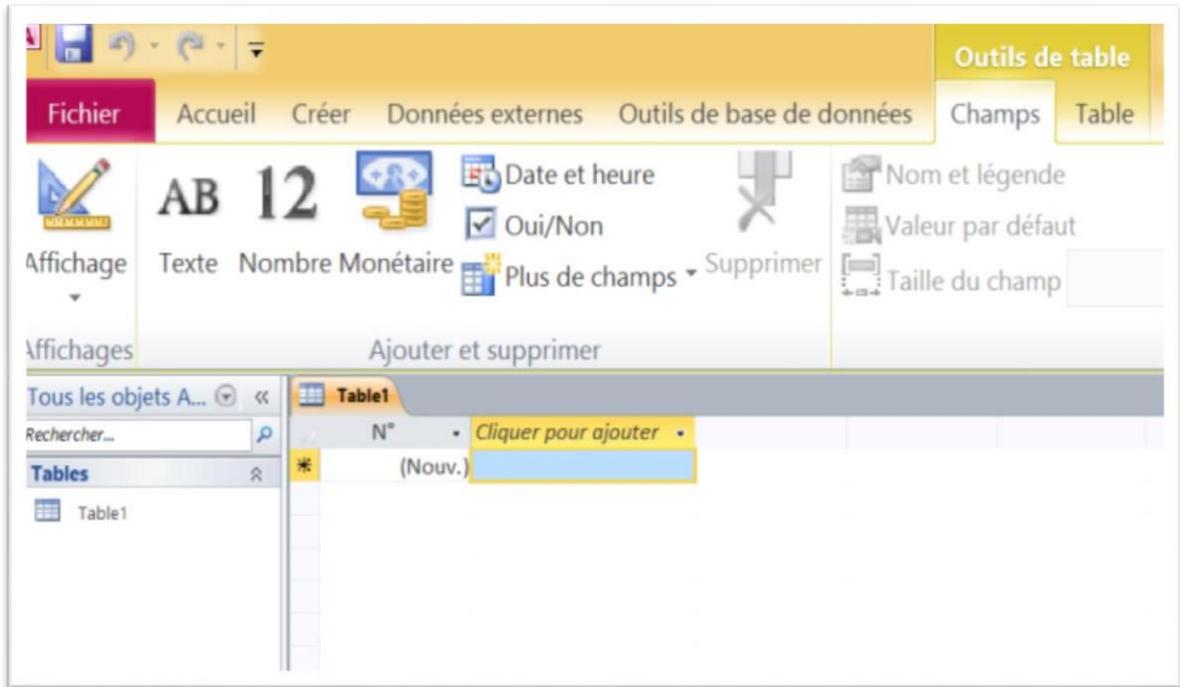


Figure 37 : Base de données Microsoft Access (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

9.2. Oracle

D'après **Oracle Corporation. (s.d.)** Oracle Database, produit par Oracle Corporation, est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) qui, depuis l'ajout du support du modèle objet dans sa version 8, est également considéré comme un système de gestion de base de données relationnel-objet (SGBDRO). Ce logiciel a été développé par Larry Ellison, en collaboration avec d'autres personnalités telles que Bob Miner et Ed Oates.

9.3. postgresql/Postgis

PostGIS est un complément (plugin) qui permet la manipulation d'informations géométriques (points, lignes, polygones) par le SGBD PostgreSQL, conformément aux standards établis par l'Open Geospatial Consortium. Il est largement utilisé par les systèmes d'information géographique (SIG), comme en témoigne son nom qui provient de la contraction de PostgreSQL et de GIS (acronyme anglais de SIG).

En résumé, PostGIS offre la possibilité de traiter des objets spatiaux dans les serveurs PostgreSQL, permettant ainsi le stockage en base de données pour les SIG, de manière similaire au SDE d'ESRI, au datablade spatial d'IBM InformixDynamic Server ou à l'extension spatiale

d'Oracle. PostGIS est conforme aux recommandations de l'Open GIS pour une utilisation simple du SQL.

9.4. Oracle Spatial

Ce pilote assure la lecture et l'écriture de données dans le format objet-relationnel d'Oracle Spatial (version 8.1.7 et ultérieures). Initialement non compilé par défaut dans OGR, il peut être compilé sur les plateformes disposant des bibliothèques clientes d'Oracle. Lors de l'ouverture d'une base de données, son nom doit être spécifié sous la forme « OCI: userid/password@database instance: table.table ». La liste des tables est facultative, et la partie database instance peut être omise pour accéder à l'instance de base de données locale par défaut.

En l'absence de liste de tables, toutes les tables répertoriées dans la table 'ALL_SDO_GEOM_METADATA' seront traitées par OGR comme des couches, avec les noms de table utilisés comme noms de couche. Les tables non-spatiales ou spatiales non répertoriées dans la table 'ALL_SDO_GEOM_METADATA' ne seront pas accessibles à moins d'être incluses dans le nom de la source de données. Même si toutes les couches souhaitées se trouvent dans la table 'ALL_SDO_GEOM_METADATA', il peut être avantageux de ne lister que les tables à utiliser, ce qui peut considérablement réduire le temps d'initialisation dans les bases de données comportant de nombreuses tables (Mouaz S. et Saidi A., 2020).



Figure 38: Oracle (<https://gdal.gloobe.org/ogr/formats/oci.html> consulté 8 mai)

Si la table contient une colonne de type entier nommée OGR_FID, elle sera utilisée comme identifiant d'objet par OGR (et n'apparaîtra pas comme un attribut normal). Lors du chargement des données dans Oracle Spatial, OGR créera toujours le champ OGR_FID. (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

9.5. ArcSDE

D'après **Esri. (s.d.)**. ArcSDE est la technologie d'Esri qui permet l'accès et la gestion des données géospatiales dans des bases de données relationnelles. Elle prend en charge plusieurs normes, notamment les normes de l'OGC (Open Geospatial Consortium, Inc.) pour les entités simples, la norme ISO (International Organization for Standardization) pour les types spatiaux, ainsi que les formats spatiaux Oracle Spatial, PostGIS et Microsoft.

Les géodatabases ArcSDE permettent l'utilisation d'autres produits Esri tels qu'ArcGIS Desktop et ArcGIS Server, ainsi que des applications personnalisées pour stocker, utiliser et gérer toutes les données SIG dans des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) tels que IBM DB2, IBM Informix, Microsoft SQL Server, Oracle ou PostgreSQL. Cela permet le stockage des données dans une base de données centrale et prend en charge l'édition simultanée multi-utilisateurs, nécessaire pour de nombreux workflows SIG.

ArcSDE présente plusieurs fonctionnalités uniques :

- Il s'agit d'une technologie ouverte et interopérable, compatible avec plusieurs systèmes de gestion de bases de données.
- Sa structure de données native repose sur les normes d'entités simples binaires de l'OGC et le type spatial ISO.
- Elle offre un accès SQL complet aux géodatabases.
- Elle offre des performances élevées et peut s'adapter à un grand nombre d'utilisateurs.

9.6. MySQL

MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) distribué sous une double licence GPL propriétaire. Il est largement utilisé à la fois par le grand public, notamment dans les applications web, et par les professionnels. Concurrent de Oracle, PostgreSQL et Microsoft SQL Server, il tire son nom du prénom de la fille de l'un de ses co-créateurs, Michael Widnes. MySQL utilise le langage de requête SQL (Structured Query Language).

En 2008, MySQL AB a été acquis par Sun Microsystems pour un milliard de dollars américains. Suite à l'acquisition de Sun Microsystems par Oracle Corporation en 2009, MySQL

est devenu une propriété d'Oracle. Cependant, en réponse à ces acquisitions, Michael Widenius, son créateur, a lancé MariaDB en tant que projet open source en 2009.

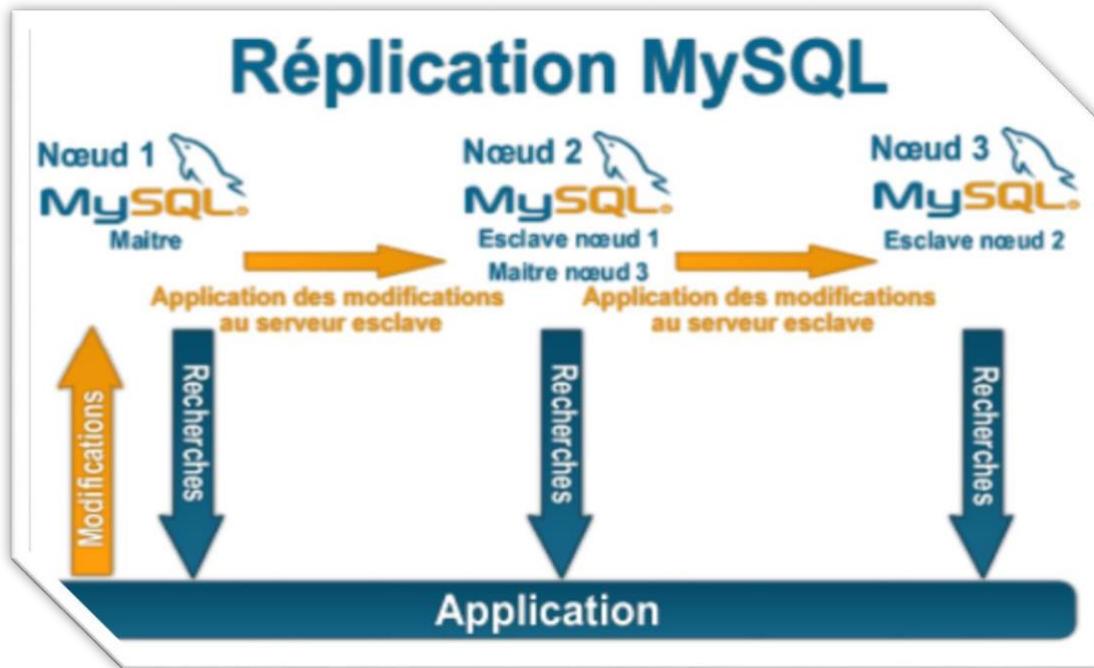


Figure 39: MySQL (<https://fr.wikipedia.org/wiki/MySQL> consulté 9 mai)

9.7. Post GIS

PostGIS est une extension (plugin) du SGBD PostgreSQL qui permet la manipulation d'informations géographiques (spatiales) sous forme de géométries (points, lignes, polygones) conformément aux normes établies par l'Open Geospatial Consortium. Il transforme PostgreSQL en un SGBD spatial, rendant ainsi possible son utilisation par les systèmes d'informations géographiques (SIG).

Le nom "PostGIS" est une contraction de "PostgreSQL" et de "GIS" (acronyme anglais de SIG). De manière concrète, PostGIS facilite le traitement des objets spatiaux dans PostgreSQL, autorisant le stockage des objets géographiques en base de données pour les SIG, de manière similaire au SDE d'ESRI, à la base de données spatiale d'IBM Informix Dynamic Server ou à l'extension spatiale d'Oracle.

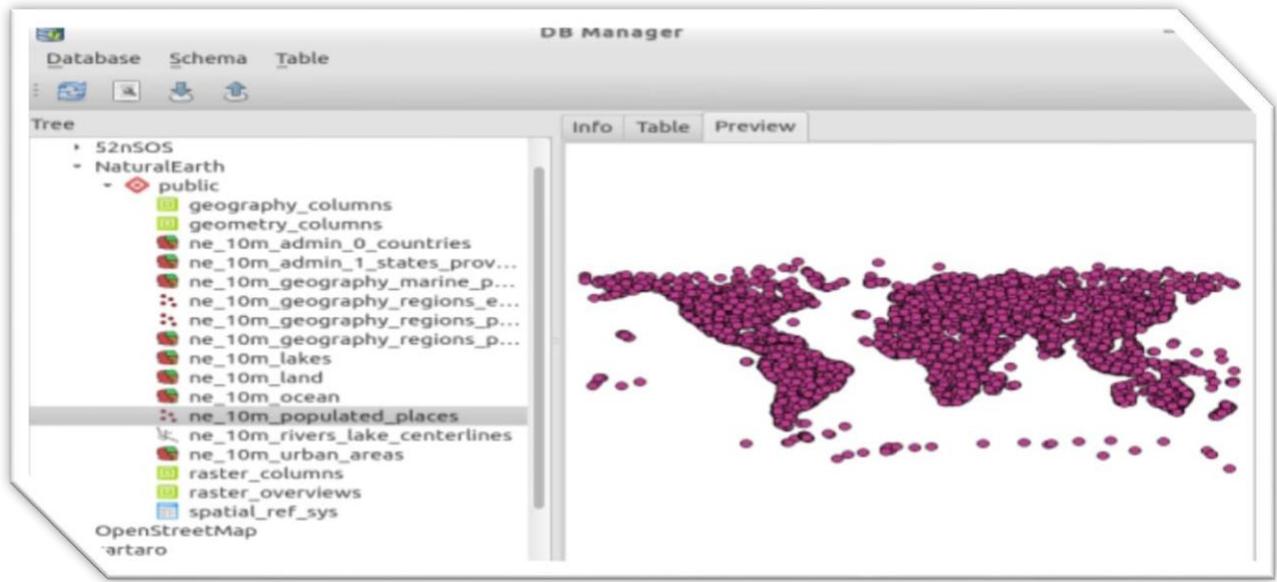


Figure 40 : Post GIS (Mouaz S. et Saidi A., 2020).

10. Domaines d'application du SIG

Les systèmes d'information géographique (SIG) ont une variété d'applications dans différents domaines :

- **Urbanisme** : Les SIG sont largement utilisés dans le domaine de l'urbanisme pour la planification et la gestion des villes. Des applications telles que la localisation des activités et des services, la gestion des terres, la planification des transports et la défense civile bénéficient de l'utilisation de ces systèmes (Longley, P. et al., 2015).
- **Gestion des transports urbains** : Les systèmes d'information géographique jouent un rôle crucial dans la gestion des transports urbains en fournissant des outils pour la planification des itinéraires, la surveillance du trafic, la localisation des arrêts de bus et des stations-service, entre autres (Miller, H. J., et Shaw, S. L., 2001).
- **Environnement et gestion des ressources naturelles** : Les SIG sont utilisés dans la gestion environnementale et des ressources naturelles pour la cartographie des habitats, la surveillance des écosystèmes, la gestion des zones protégées et la modélisation des phénomènes environnementaux (DeMers, M. N., 2014).

- **Agriculture et gestion des terres** : Dans le domaine de l'agriculture, les SIG sont utilisés pour la planification des cultures, la gestion des parcelles, l'analyse de la fertilité des sols et la cartographie des rendements agricoles (**Curry, R. B., 1998**).
- **Gestion des urgences et des crises** : Les SIG sont utilisés dans la gestion des urgences et des crises pour la planification des interventions, la cartographie des zones à risque, la coordination des secours et la communication avec le public (**Li, S., et Dragicevic, S., 2015**).

11. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)et inondations

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) jouent un rôle crucial dans la gestion des inondations à plusieurs niveaux:

- **Cartographie des zones inondables** : Les SIG permettent de cartographier avec précision les zones à risque d'inondation en intégrant des données topographiques, hydrologiques et météorologiques (**Chowdhury et Chowdhury, 2013**). Cela permet aux autorités de mieux comprendre les zones vulnérables et de prendre des mesures préventives.
- **Modélisation des inondations** : Les SIG sont utilisés pour modéliser les scénarios d'inondation en simulant le comportement des cours d'eau, des réseaux de drainage et des bassins versants (**Gupta et al., 2008**). Ces modèles aident à prédire les zones qui seront touchées lors d'événements pluvieux intenses ou de crues soudaines.
- **Planification d'urgence** : Les SIG sont essentiels pour élaborer des plans d'urgence en cas d'inondation. Ils permettent de localiser les infrastructures critiques telles que les hôpitaux, les centres d'évacuation et les routes d'accès, ainsi que de planifier les itinéraires d'évacuation en fonction des zones à risque.
- **Surveillance en temps réel** : Les SIG peuvent être intégrés à des systèmes de surveillance en temps réel pour suivre l'évolution des conditions météorologiques, des niveaux d'eau et des débits des cours d'eau. Cela permet aux autorités de prendre des mesures rapides en cas de menace imminente d'inondation.
- **Gestion des interventions** : Pendant et après une inondation, les SIG sont utilisés pour coordonner les opérations de secours et de rétablissement. Ils permettent de localiser

les personnes en détresse, de gérer les abris d'urgence et de planifier les opérations de déblaiement et de reconstruction.

En combinant des données géographiques précises avec des fonctionnalités d'analyse avancées, les SIG offrent une approche intégrée et efficace pour la prévention, la préparation, la réponse et la récupération après une inondation. Cela permet une meilleure gestion des risques et une réduction des impacts négatifs sur les populations et les infrastructures.

Conclusion

L'information géographique englobe la description d'un objet ainsi que sa position géographique sur la surface terrestre, définie par des coordonnées X, Y, Z. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont des outils qui permettent de gérer ces données en intégrant des capacités de description et d'analyse spatiales aux technologies de base de données. Ils jouent aujourd'hui un rôle majeur en combinant les fonctions d'intégration, de gestion, d'analyse et de visualisation des données spatiales. Certains vont même jusqu'à considérer que l'innovation induite par les SIG dans la société et les sciences équivaut au premier stade d'une révolution scientifique, technologique et intellectuelle aussi profonde que celle provoquée par l'imprimerie.

En conclusion, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) jouent un rôle essentiel dans la gestion des inondations en fournissant des outils précieux pour la prévention, la préparation, la réponse et la récupération. Grâce à leur capacité à intégrer des données géographiques complexes et à les analyser de manière efficace, les SIG permettent aux autorités et aux organisations de mieux comprendre les risques d'inondation, de planifier des mesures d'urgence, de suivre les conditions en temps réel et de coordonner les interventions sur le terrain.

Chapitre 4 : Partie expérimentale

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les pratiques recommandées dans le cadre de cette étude, fournissant des solutions concrètes pour la prévention et la gestion des inondations. Nous aborderons également la modélisation d'El Bayadh et mettrons en lumière les zones les plus vulnérables aux inondations, tout en identifiant celles qui sont moins exposées.

1. Matériel et méthode

1.1. Matériel utilisé

Matériel utilisé dans cette étude :

- **Logiciel SIG (Système d'Information Géographique) :** Utilisé pour analyser et visualiser des données géographiques, telles que les cartes topographiques, les données démographiques et les modèles de terrain. Il permet de cartographier et d'analyser les informations spatiales pertinentes pour l'étude des inondations.
- **Ordinateur personnel (PC):** Utilisé pour exécuter le logiciel SIG et d'autres programmes nécessaires à l'analyse des données recueillies. Il sert également à stocker les données et les résultats de l'étude.
- **Appareil photo:** Utilisé pour prendre des photos des zones étudiées, notamment des zones sujettes aux inondations et des infrastructures importantes. Les photos peuvent être utilisées pour documenter les conditions existantes, ainsi que les dégâts éventuels causés par les inondations.
- **Véhicule pour les déplacements :** Utilisé pour se déplacer sur le terrain afin de collecter des données et d'effectuer des relevés dans les zones d'intérêt. Il permet aux chercheurs de se rendre facilement sur les sites d'étude, en transportant le matériel nécessaire et en facilitant l'accès aux zones souvent éloignées ou difficiles d'accès.

1.2. Méthode utilisée

La région d'El Bayadh, située au cœur de l'Algérie, est confrontée à des défis majeurs en matière de gestion des risques d'inondations et de préservation des ressources hydriques. En raison de sa géographie variée, comprenant des zones arides ainsi que des zones sujettes aux précipitations intenses, El Bayadh est sujette à des phénomènes d'inondations périodiques, entraînant souvent des conséquences dévastatrices pour ses habitants et son environnement.

Face à cette réalité, la modélisation d'El Bayadh revêt une importance capitale. Elle offre une approche systématique et scientifique pour comprendre les mécanismes des inondations dans la région, ainsi que pour évaluer les risques associés et élaborer des stratégies efficaces de prévention et de gestion des catastrophes. Cette modélisation permettra non seulement d'identifier les zones les plus vulnérables aux inondations, mais aussi de proposer des solutions innovantes et adaptées à ces défis, en tenant compte des caractéristiques géographiques, hydrologiques et climatiques uniques d'El Bayadh.

Nous présentons dans cette partie les différentes cartes obtenues par Agrgic au cours de ce travail, accompagnées de leur analyse. Nous y incluons également la cartographie des zones inondables de la région d'étude, El Beydah. L'importance de ces cartes réside dans leur capacité à fournir des informations cruciales pour la gestion des risques liés aux inondations, permettant ainsi de mieux préparer et protéger les populations locales.

1.2.1. Modélisation géographique

La modélisation géographique d'El Bayadh est indispensable pour le développement durable et la gestion proactive des risques. Elle combine des techniques avancées de cartographie avec des données détaillées pour fournir une compréhension approfondie des dynamiques territoriales et guider les actions futures en matière de gestion environnementale et de développement régional.

1.2.1.1. Altitude

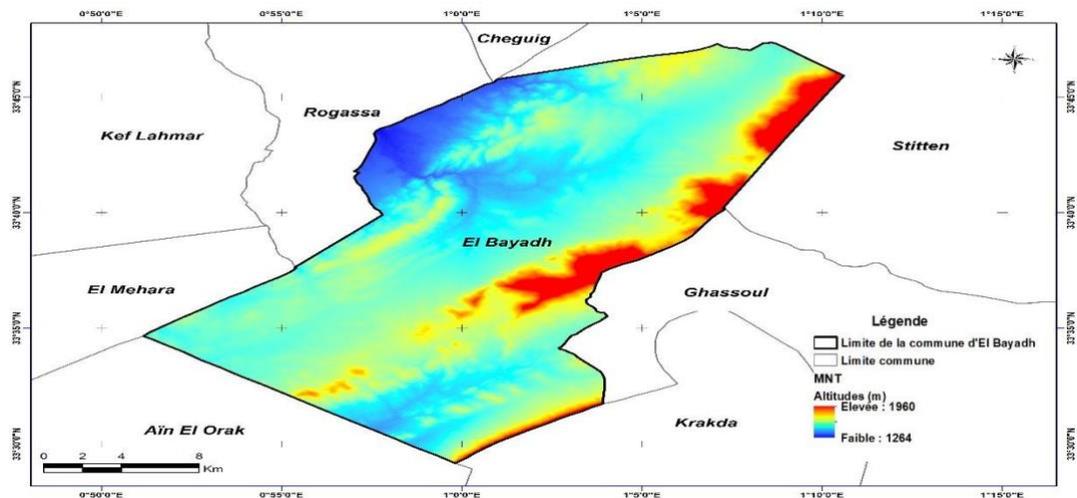


Figure 41 : Altitude de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

✓ Les Altitudes Maximales Et Minimales

D'après la carte, on remarque que les données d'altitude pour El Bayadh montrent les altitudes maximales et minimales sont deux données qui déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent également dans le calcul de la pente. Pour notre bassin, l'altitude maximale (H_{\max}) est de 1960 m et l'altitude minimale (H_{\min}) est de 1264 m.

✓ L'altitude moyenne

Les altitudes maximales et minimales sont deux données qui déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent également dans le calcul de la pente. Pour notre bassin, l'altitude maximale (H_{\max}) est de 1713 m et l'altitude minimale (H_{\min}) est de 617 m. À partir de la courbe hypsométrique, nous avons déterminé que l'altitude moyenne H_{moy} est de 1125 m.

✓ L'altitude médiane

Pour déterminer l'altitude médiane, nous devons examiner la distribution des altitudes dans le bassin versant. L'altitude médiane est le point où 50 % de la surface du bassin est en dessous de cette altitude et 50 % est au-dessus.

Si cette information est basée uniquement sur les altitudes maximale et minimale données ($H_{\max} = 1713$ m et $H_{\min} = 617$ m) et si nous ne disposons pas de la distribution exacte des altitudes, nous pouvons estimer l'altitude médiane comme étant la moyenne des deux valeurs extrêmes :

$$H_{\text{med}} = (H_{\max} + H_{\min}) / 2$$

En utilisant les valeurs fournies :

$$H_{\text{med}} = (1713 + 617) / 2 = (2330) / 2 = 1165 \text{ m}$$

Ainsi, l'altitude médiane estimée est de 1165 m.

L'importance de l'altitude dans l'évaluation des risques d'inondation est cruciale. Les zones basses, proches des valeurs minimales d'altitude, sont plus susceptibles aux inondations, car l'eau s'y accumule naturellement. À l'inverse, les zones plus élevées sont généralement moins sujettes aux inondations, l'eau ayant tendance à s'écouler loin de ces régions.

Le terrain influence également le drainage naturel de l'eau lors de fortes pluies; les pentes raides peuvent provoquer un ruissellement rapide, tandis que les zones plus plates peuvent entraîner une accumulation d'eau, augmentant les risques d'inondation. Les plaines inondables, qui sont des zones plates et basses, sont des régions naturelles conçues pour absorber l'excès d'eau.

La planification urbaine et les infrastructures dépendent fortement de la compréhension de l'altitude afin de placer des infrastructures critiques dans des zones plus sûres et élevées, et de concevoir des défenses contre les inondations dans les zones vulnérables. Les données d'altitude sont également essentielles pour développer des cartes de risque d'inondation, des systèmes d'alerte précoce et pour planifier les réponses d'urgence.

En analysant les modèles d'élévation, il est possible d'identifier les zones à haut risque, de planifier les infrastructures de manière appropriée et de mettre en œuvre des stratégies efficaces de mitigation des inondations, protégeant ainsi les vies et les biens tout en assurant un développement durable dans la région.

1.2.1.2. Pentes Du Bassin Versant

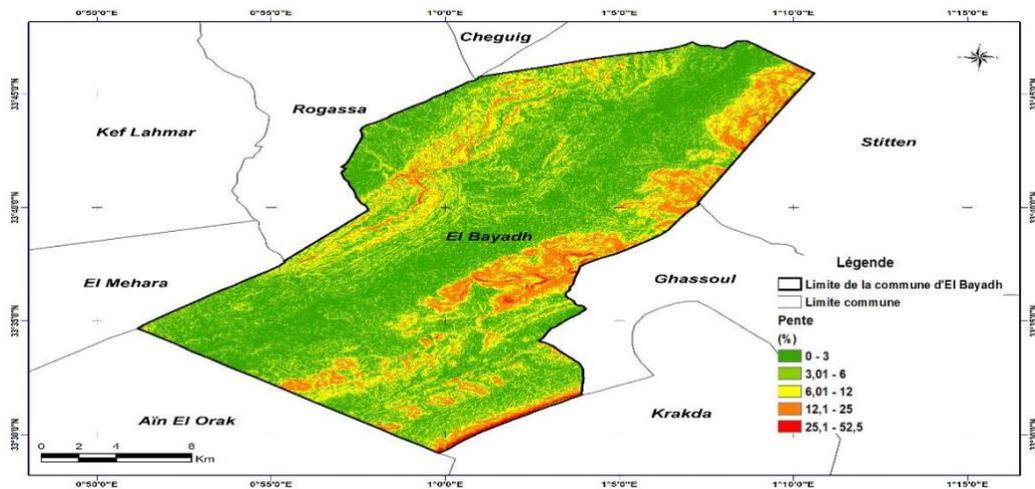


Figure 42: Pente de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

Tableau 12: Répartition du relief par classe des pentes

Classe de pentes	Superficie (km ²)	% de la superficie totale	Description
0-3%	986,113367	85,0%	Pentes très faibles
3.01-6%	138,713208	11,95%	Pentes faibles
6.01-12%	25,950515	2,23%	Assez faibles
12,5-25%	9,660263	0,83%	Moyennes
25.01-52.5%	0,065002	0,005%	Fortes

✓ **Pente Moyenne Du Bassin Versant**

Il semble que la pente moyenne dans la zone d'étude soit de 5.70%. Cette valeur indique une pente moyenne relativement faible. Une pente moyenne faible est généralement bénéfique pour la recharge des aquifères et la régulation des débits d'eau. Dans le contexte de la détermination du temps de parcours de ruissellement, cette pente moyenne peut contribuer à des processus de ruissellement plus lents, ce qui peut avoir des implications sur la gestion des ressources en eau et l'écologie des bassins versants.

✓ **Indice De Pente globale**

Il s'agit de la relation entre l'altitude située entre les 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent.

Les altitudes associées aux pourcentages de surface de 5% et 95% sont identifiées à partir de la courbe hypsométrique (Touaibia, 2004).

La formule suivante donne l'indice de pente globale :

$$I_g = D / L_{eq} = (H_{95\%} - H_{5\%}) / L_{eq}$$

Avec :

- ✓ **D** : dénivelée entre $H_{95\%}$ et $H_{5\%}$ en mètres.
- ✓ **L_{eq}** : longueur du rectangle équivalent en kilomètres.
- ✓ **H_{95%} et H_{5%}** : représentent respectivement les altitudes correspondantes à $S_{95\%}$ et $S_{5\%}$.

Tableau13 : Indice de pente global

H 5% (m)	H 95% (m)	Dénivelée (H 5%-H 95%) (m)	Leq (Km)	Ig (m/m)	Classification
1760	1360	400	22.2	0.018	Relief modéré

Ces données suggèrent un relief modéré dans la région étudiée, avec une dénivelée de 400 mètres sur une distance de 22.2 kilomètres. L'indice de pente global calculé est de 0.018 mètres par mètre, ce qui confirme le caractère modéré du relief.

1.2.1.3. Exposition

La carte fournie représente l'exposition de la ville d'El Bayadh et ses environs

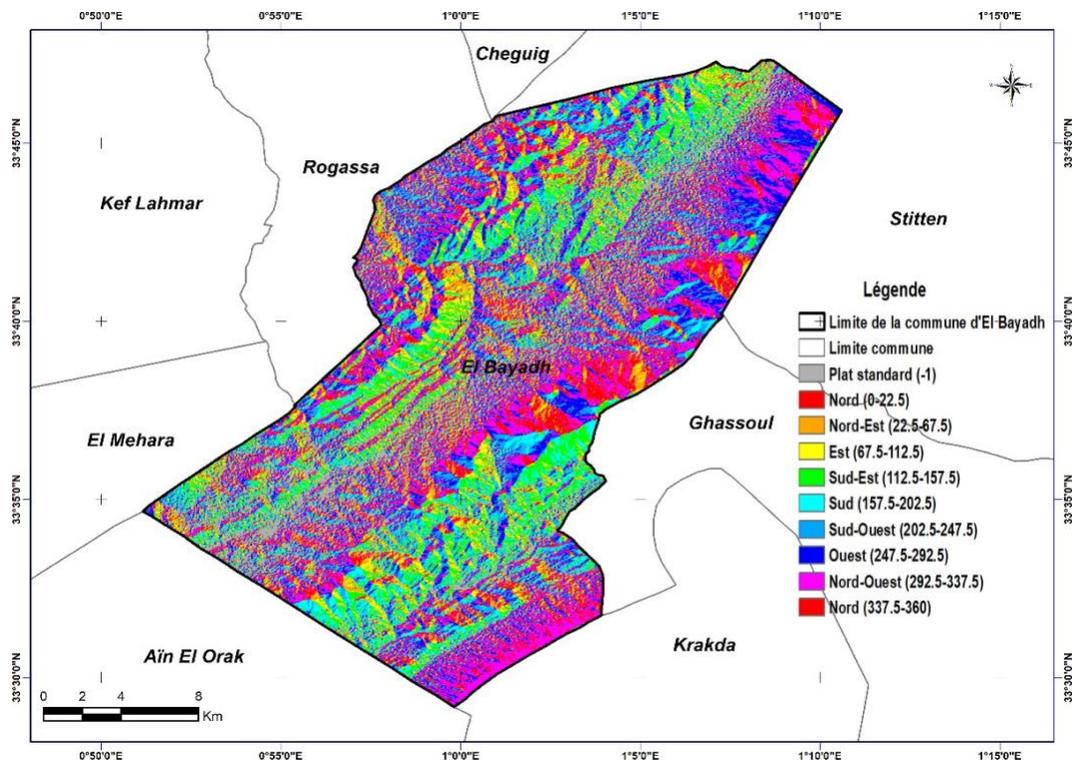


Figure 43: Exposition de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

Explication de la Carte

- ✓ **Plat standard (-1)** : Zone grisée, représentant les zones avec une inclinaison minimale.
- ✓ **Nord (0-22.5)** : Zone en rouge foncé, indiquant une exposition au nord.
- ✓ **Nord-Est (22.5-67.5)** : Zone en rouge, indiquant une exposition au nord-est.
- ✓ **Est (67.5-112.5)** : Zone en orange, indiquant une exposition à l'est.
- ✓ **Sud-Est (112.5-157.5)** : Zone en jaune, indiquant une exposition au sud-est.

- ✓ **Sud (157.5-202.5)** : Zone en vert clair, indiquant une exposition au sud.
- ✓ **Sud-Ouest (202.5-247.5)** : Zone en cyan, indiquant une exposition au sud-ouest.
- ✓ **Ouest (247.5-292.5)** : Zone en bleu, indiquant une exposition à l'ouest.
- ✓ **Nord-Ouest (292.5-337.5)** : Zone en violet, indiquant une exposition au nord-ouest.
- ✓ **Nord (337.5-360)** : Zone en magenta, indiquant une exposition au nord.

L'exposition des pentes a une influence notable sur les risques d'inondation. D'après la carte des pentes exposées au nord et au nord-est, identifiées en rouge foncé et rouge, reçoivent moins de lumière solaire, ce qui ralentit la vitesse de séchage après une pluie. Cette faible exposition au soleil peut entraîner une saturation accrue du sol, augmentant ainsi le risque de ruissellement excessif et d'inondations. À l'inverse, les pentes exposées au sud et au sud-est, représentées en jaune et vert clair, bénéficient d'une meilleure exposition solaire, ce qui favorise l'évaporation de l'eau. Cependant, ces zones peuvent également être sujettes à des inondations rapides en cas de fortes précipitations, car le sol plus sec initialement peut être moins absorbant.

La topographie joue également un rôle crucial dans l'accumulation d'eau. Les zones avec une inclinaison minimale, telles que les plaines, sont particulièrement vulnérables à l'accumulation d'eau et à la formation de bassins temporaires lors de pluies intenses. En revanche, les pentes raides favorisent un ruissellement rapide, dirigeant l'eau vers les zones plus basses et augmentant ainsi les risques d'inondation dans ces régions.

Pour atténuer ces risques, une planification urbaine adéquate et une gestion des risques bien pensée sont essentielles. Les zones urbaines situées dans les régions exposées au nord et au nord-est doivent être équipées de systèmes de drainage efficaces pour gérer le ruissellement et prévenir les inondations. Il est crucial de prendre en compte l'exposition des pentes lors de la planification de nouvelles infrastructures afin de minimiser les risques. Par exemple, il est préférable d'éviter de construire des structures résidentielles ou commerciales dans les zones identifiées comme étant à haut risque.

Des stratégies d'atténuation des inondations doivent également être mises en œuvre. Cela inclut l'amélioration et l'entretien des infrastructures de drainage dans les zones à haut risque pour assurer une évacuation rapide de l'eau. Une réglementation stricte de l'aménagement du territoire est nécessaire pour réduire l'impact sur les communautés dans les zones vulnérables aux

inondations. Enfin, la plantation de végétation adaptée peut améliorer la rétention de l'eau et réduire le ruissellement, contribuant ainsi à une meilleure gestion des inondati

1.2.1.4. Etendu

La carte montre l'étendue de la ville d'El Bayadh et ses environs, mettant en évidence les zones exposées aux inondations :

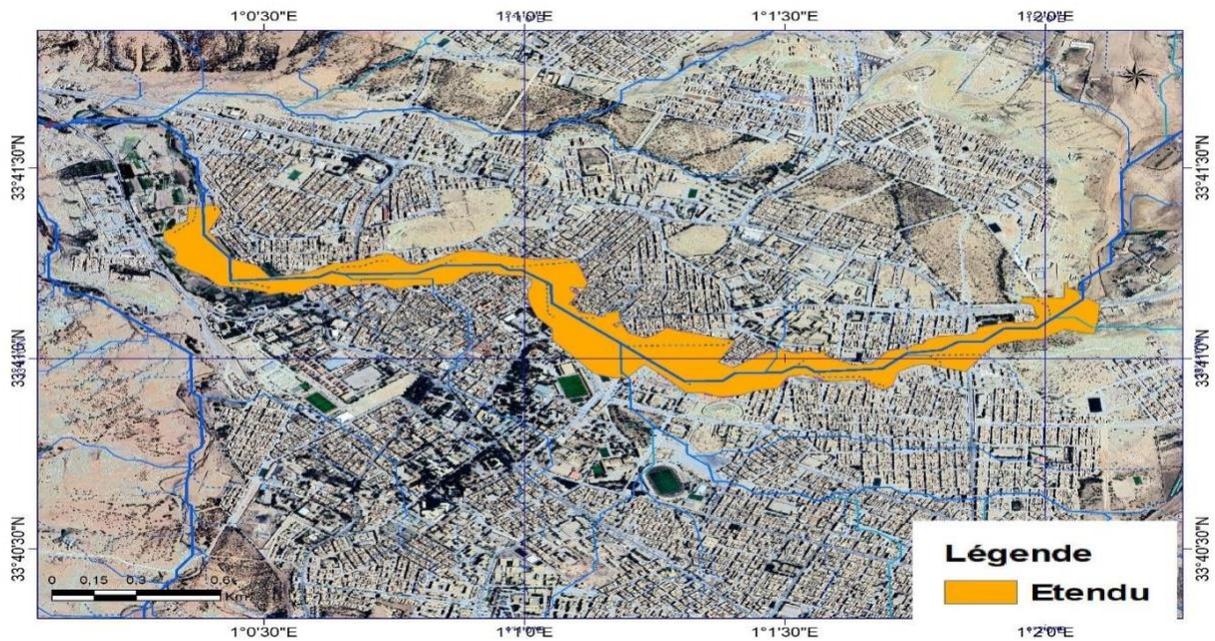


Figure 44: Etendu de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

1. Éléments de la Carte:

- **Zone Étendue (en orange) :** Cette zone indique l'étendue spécifique de la ville d'El Bayadh et les zones potentiellement affectées par les inondations.
- **Réseau Hydrologique (en bleu) :** Les lignes bleues représentent les cours d'eau et les canaux de drainage, montrant comment l'eau se déplace à travers la ville.
- **Hauteur d'Inondation (en dégradé de couleurs) :** Différentes couleurs indiquent les hauteurs d'inondation possibles, allant de 0 à plus de 4 mètres.

Zones à Haut Risque d'Inondation:

- ✓ Les zones en bleu foncé (hauteurs d'inondation >4 mètres) indiquent les zones les plus à risque. Ces zones sont généralement les plus basses et proches des cours d'eau principaux.
- ✓ Les zones en vert et jaune (hauteurs d'inondation entre 2 et 4 mètres) sont aussi significativement à risque, bien que moins que les zones en bleu foncé.

Impact sur l'Urbanisation et l'Infrastructure :

- ✓ Les zones urbaines dans les zones à haut risque d'inondation peuvent subir des dommages importants en cas de fortes pluies. Les infrastructures comme les routes, les bâtiments et les services essentiels peuvent être gravement affectés.
- ✓ Une planification urbaine adéquate est nécessaire pour minimiser les impacts des inondations. Cela pourrait inclure la construction de digues, la création de zones de rétention d'eau, et l'amélioration des systèmes de drainage.

Gestion des Ressources en Eau :

- ✓ Le réseau hydrologique indiqué par les lignes bleues montre les principaux chemins de l'eau à travers la ville. La gestion efficace de ces cours d'eau est essentielle pour prévenir les inondations.
- ✓ Des stratégies telles que la reforestation en amont, la construction de barrages de rétention et l'entretien régulier des canaux de drainage peuvent aider à gérer le flux d'eau et à réduire les risques d'inondation.

1.2.1.5. Hauteur

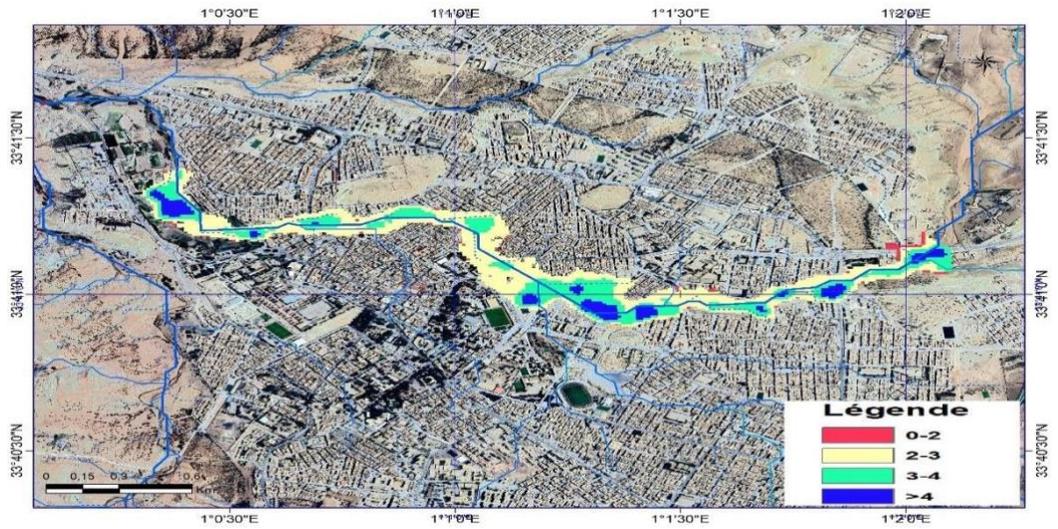


Figure 45: Hauteur de la lame d'eau écoulé durant le moment du cure de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

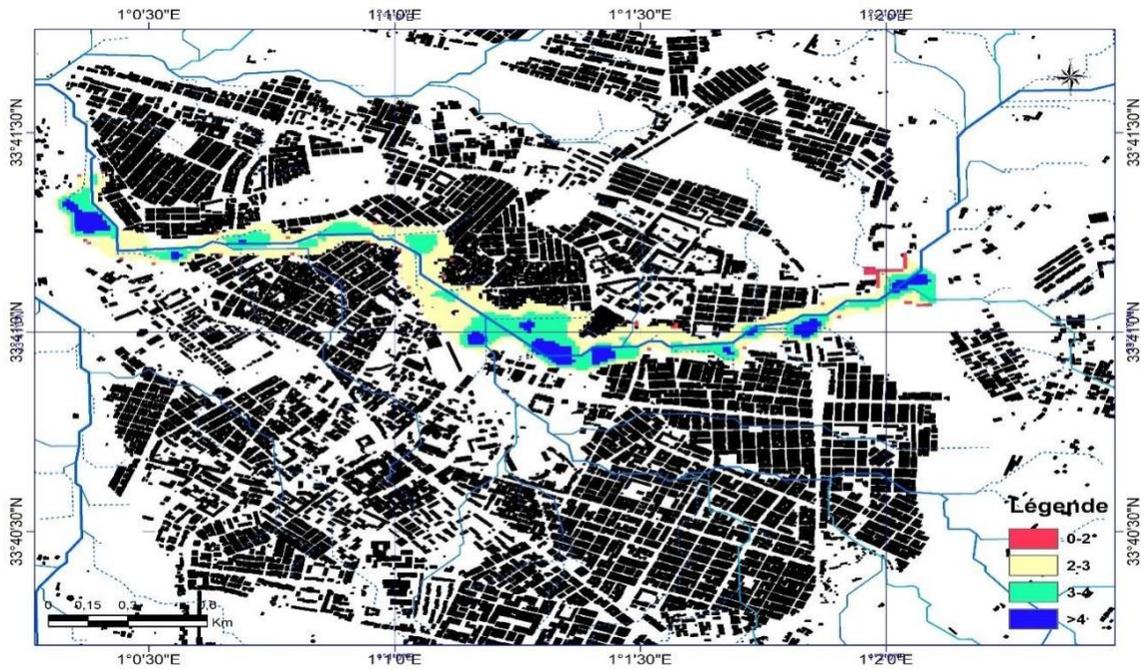


Figure46 : Carte de risque d'inondation de la ville d'El Bayadh (Dr ANTEUR Dj,2024)

Explication de la Carte

✓ Légende et Couleurs:

- **0-2 mètres** : Zone en rouge, indiquant des hauteurs d'inondation très faibles. Ces zones sont les plus vulnérables aux inondations.
- **2-3 mètres** : Zone en orange, indiquant des hauteurs d'inondation faibles.
- **3-4 mètres** : Zone en vert, indiquant des hauteurs d'inondation modérées.
- **Plus de 4 mètres** : Zone en bleu, indiquant des hauteurs d'inondation élevées.

Les zones en jaune montrent l'étendue des inondations. Cela permet d'identifier les zones les plus touchées par les inondations dans la ville d'El Bayadh.

Les lignes bleues représentent les cours d'eau traversant la ville. Ces cours d'eau sont des éléments cruciaux pour comprendre les zones à risque d'inondation, car ils sont les principaux contributeurs aux inondations.

Identification des Zones à Risque

- **Les zones rouges et oranges (0-3 mètres)** sont les plus vulnérables. Ces zones devraient être prioritaires pour les interventions de prévention des inondations.
- **Les zones vertes (3-4 mètres)** sont modérément vulnérables. Des mesures de prévention sont également nécessaires, mais elles peuvent être moins urgentes que dans les zones à plus faible hauteur.

Stratégies de Prévention des Inondations:

- **Infrastructure de Drainage:** Amélioration des systèmes de drainage pour gérer l'eau de pluie et éviter l'accumulation d'eau dans les zones basses.
- **Barrières de Protection:** Construction de digues et de murs pour protéger les zones résidentielles et commerciales.
- **Rétention de l'Eau:** Création de bassins de rétention pour stocker l'excès d'eau lors des fortes pluies.

Planification Urbaine

- **Zonage:** Restriction de la construction dans les zones les plus vulnérables aux inondations pour éviter des pertes matérielles et humaines.

- **Développement Résilient:** Promotion de l'utilisation de matériaux et de techniques de construction résistants aux inondations dans les zones à risque modéré.

Gestion des Catastrophes

- **Plans d'Évacuation:** Élaboration de plans d'évacuation clairs pour les zones à haut risque.
- **Centres de Secours:** Établissement de centres de secours dans les zones sûres pour abriter les habitants en cas d'inondation majeure.

2. La protection contre les inondations

La protection contre les inondations est un domaine essentiel de la gestion des risques naturels, impliquant diverses stratégies et techniques pour protéger les zones à risque. Les infrastructures physiques, telles que les digues, barrages et murs anti-inondation, jouent un rôle crucial en contenant les eaux de crue et en empêchant leur débordement dans les zones habitées ou agricoles (**Smith et Ward, 1998; Brookes et Shields, 1996**).

Les bassins de rétention et zones de rétention temporaire permettent de stocker les eaux de crue et de réduire le débit en aval (**Wheater et Evans, 2009**). En complément des infrastructures traditionnelles, les solutions basées sur la nature gagnent en importance.

La restauration des plaines inondables et la foresterie urbaine et riparienne contribuent à absorber et stocker les eaux de crue, exploitant la capacité naturelle des écosystèmes à réguler les niveaux d'eau (**Opperman et al., 2009; Gill et al., 2007**).

La gestion intégrée des bassins versants, qui prend en compte toutes les activités et utilisations de l'eau, est essentielle pour réduire les risques d'inondation à long terme (**Mitchell, 1990**).

Des pratiques agricoles durables, telles que l'amélioration de la rétention de l'eau dans le sol, jouent également un rôle clé dans la réduction du ruissellement (**Posthumus et al., 2008**).

En parallèle, les systèmes d'alerte précoce et une planification urbaine réfléchie sont indispensables pour informer les populations à risque et éviter les constructions dans des zones inondables (**Parker, 2000; Burby, 1998**).

3. Gestion des Catastrophes d'inondation en Algérie

Selon le Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales en Algérie, la gestion des catastrophes d'inondation dans le pays nécessite une coordination étroite entre les différentes

instances gouvernementales, des initiatives préventives et d'intervention, ainsi qu'une coopération active avec les populations locales et les organisations internationales :

- **Évaluation des risques et prévention** : Les autorités algériennes mènent des évaluations régulières des zones à risque d'inondation et mettent en œuvre des mesures de prévention, telles que la construction de barrages, de digues et la réglementation de l'aménagement urbain pour réduire les dommages potentiels.
- **Alerte précoce et sensibilisation** : Les systèmes d'alerte précoce sont essentiels pour informer rapidement les populations des risques imminents d'inondation. Des campagnes de sensibilisation sont menées pour éduquer les populations sur les mesures à prendre en cas d'inondation, telles que l'évacuation sécurisée et la protection des biens.
- **Planification d'urgence et intervention** : Les autorités algériennes développent des plans d'urgence détaillés pour répondre rapidement aux inondations, y compris la mobilisation des ressources humaines et matérielles nécessaires pour les opérations de secours et de rétablissement.
- **Gestion post-inondation** : Après une inondation, les efforts se concentrent sur la fourniture d'une aide d'urgence aux populations touchées, la restauration des infrastructures endommagées et la mise en place de mesures de reconstruction et de préparation pour l'avenir.

Conclusion

L'analyse de la carte d'exposition de la ville d'El Bayadh, réalisée à l'aide d'ArcGIS, révèle des zones potentiellement vulnérables aux inondations. Les zones en bleu foncé, représentant des hauteurs d'inondation potentielles supérieures à 4 mètres, sont particulièrement préoccupantes, car elles coïncident souvent avec les dépressions naturelles et les cours d'eau. Cette situation nécessite une attention particulière pour les infrastructures critiques situées dans ces zones, telles que les routes, les systèmes d'eau et d'assainissement, ainsi que les installations électriques, afin de les renforcer contre les inondations.

Il est également essentiel d'intégrer ces informations dans la planification urbaine pour guider le développement futur de la ville, en identifiant des zones sûres pour l'expansion et en restreignant l'urbanisation dans les zones à haut risque. La mise en œuvre de stratégies de gestion des ressources en eau, telles que l'entretien des canaux de drainage et la création de zones de rétention, est cruciale pour réguler le flux d'eau et minimiser les impacts des fortes pluies. La sensibilisation de la communauté locale aux risques d'inondation et aux mesures de sécurité, ainsi que le développement de plans d'urgence communautaires, sont également des étapes importantes pour renforcer la résilience de la ville face aux inondations.

Les cartes fournies par ArcGIS sont des outils puissants pour comprendre les risques d'inondation et pour planifier des mesures d'atténuation appropriées. En prenant des mesures proactives et en intégrant la gestion des risques d'inondation dans la planification urbaine, El Bayadh peut améliorer sa résilience face aux inondations et protéger ses habitants et ses infrastructures contre les futurs événements climatiques extrêmes.

En conclusion, en prenant des mesures proactives et en intégrant la gestion des risques d'inondation dans la planification urbaine, El Bayadh peut améliorer sa résilience face aux inondations, protégeant ainsi ses habitants et ses infrastructures contre les événements climatiques extrêmes futurs.

Résumé

Résumé

L'eau, essentielle à la vie, peut causer des problèmes majeurs comme les pénuries et les inondations, responsables de 20 000 décès annuels. Ces catastrophes, ayant des effets dévastateurs sur les vies humaines et les biens, soulignent l'importance de la gestion des inondations. Des mesures telles que la construction de digues et de barrages, et la promotion de l'infiltration des eaux, ont été prises pour se protéger des crues. Cependant, les inondations exceptionnelles demeurent inévitables, d'où la nécessité d'améliorer les systèmes de prévision et de sensibilisation des populations. L'utilisation de techniques avancées comme la modélisation hydrologique et les données satellitaires permet de réduire l'impact des inondations. Diverses mesures de protection, y compris l'aménagement du territoire et la gestion des bassins versants, renforcent la résilience des communautés face à ces catastrophes. L'analyse de la carte d'exposition d'El Bayadh réalisée avec ArcGIS montre des zones vulnérables aux inondations, notamment celles avec des hauteurs d'inondation potentielles supérieures à 4 mètres. Cette situation exige une attention particulière pour renforcer les infrastructures critiques et intégrer ces informations dans la planification urbaine afin de guider le développement futur de la ville. Des stratégies de gestion des ressources en eau, la sensibilisation de la communauté et le développement de plans d'urgence sont essentiels pour améliorer la résilience d'El Bayadh face aux inondations et protéger ses habitants et infrastructures contre les événements climatiques extrêmes.

Mots clé : El Bayadh. ; ArcGIS ; inondations ; L'eau ; la carte

Summary

Water, essential for life, can cause major problems such as shortages and floods, responsible for 20,000 annual deaths. These disasters, having devastating effects on human lives and property, highlight the importance of flood management. Measures such as building dikes and dams, and promoting water infiltration, have been taken to protect against floods. However, exceptional floods remain inevitable, hence the need to improve forecasting systems and raise public awareness. The use of advanced techniques such as hydrological modeling and satellite data helps reduce the impact of floods. Various protective measures, including land use planning and watershed management, enhance community resilience to these disasters. The analysis of the exposure map of El Bayadh made with ArcGIS shows vulnerable areas to flooding, especially those with potential flood heights greater than 4 meters. This situation requires special attention to strengthen critical infrastructure and integrate this information into urban planning to guide the

city's future development. Water resource management strategies, community awareness, and the development of emergency plans are essential to improve El Bayadh's resilience to floods and protect its inhabitants and infrastructure against extreme weather events.

Keywords: El Bayadh; ArcGIS; floods; water; map

ملخص

الماء، الضروري للحياة، يمكن أن يسبب مشاكل كبيرة مثل نقص المياه والفيضانات، مما يؤدي إلى 20,000 وفاة سنويًا. هذه الكوارث، التي لها آثار مدمرة على الأرواح والممتلكات، تبرز أهمية إدارة الفيضانات. تم اتخاذ تدابير مثل بناء السدود والحواجز، وتعزيز تسرب المياه، للحماية من الفيضانات. ومع ذلك، تبقى الفيضانات الاستثنائية حتمية، مما يستدعي الحاجة إلى تحسين أنظمة التنبؤ وزيادة الوعي العام. يساعد استخدام التقنيات المتقدمة مثل النمذجة الهيدرولوجية وبيانات الأقمار الصناعية في تقليل تأثير الفيضانات. تعزز التدابير الوقائية المختلفة، بما في ذلك تخطيط استخدام الأراضي وإدارة أحواض الأنهار، مرونة المجتمعات في مواجهة هذه الكوارث. تظهر تحليل خريطة التعرض لمدينة البيض باستخدام ArcGIS المناطق المعرضة للفيضانات، خاصة تلك التي ترتفع فيها مستويات الفيضانات المحتملة أكثر من 4 أمتار. تتطلب هذه الوضعية اهتمامًا خاصًا لتعزيز البنية التحتية الحيوية ودمج هذه المعلومات في التخطيط الحضري لتوجيه التنمية المستقبلية للمدينة. تعتبر استراتيجيات إدارة الموارد المائية وزيادة الوعي المجتمعي وتطوير خطط الطوارئ أساسية لتحسين مرونة البيض في مواجهة الفيضانات وحماية سكانها وبنيتها التحتية من الأحداث المناخية المتطرفة. **كلمات مفتاحية:** البيض؛ ArcGIS؛ الفيضانات؛ الماء؛ الخريطة

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ✓ A.N.A.T., 2003 – Etude prospective et de développement de la wilaya d'El Bayadh. Ed. Agence nationale d'aménagement du territoire, Tlemcen, 35 p.
- ✓ Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire, Glossaire des termes relatifs à l'eau, 2020
- ✓ AIDOU-DLOUNIS F., 1984.- Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des hauts plateaux du sud Oranais. Étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse Doctorat 3e cycle, USTHB, Alger, 256 p.
- ✓ ANTEUR Djamel."« Intégration des données multi-sources dans un Système d'Informations Géographiques (SIG) pour le diagnostic du milieu et l'aménagement hydro- agricole de la Région steppique ouest-algérienne »."thèse de doctorat 2019. Université Abdelhamid Ibn Badis De Mostaganem,
- ✓ Arnold, J. G., & Gibbons, C. J. (1996). Implications of the use of agricultural models for policy making. *Agricultural Systems*, 52(3), 335-351.
- ✓ Ayachi, S., & Belghazali, Y. (2019 / 2020). Application du modèle Rusle et du Système d'Information Géographique (SIG) pour l'estimation de l'érosion hydrique : Cas du sous-bassin versant d'Oued Taria, Algérie. Mémoire de Master, Université "Dr. Tahar Moulay" de Saïda.
- ✓ Baran, E., et al. (2012). Environmental impact assessment of flood control measures in Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(7), 4447-4459.
- ✓ Batalla, R. J., & Gómez, C. M. (2012). *Fluvial Hydrosystems*. Springer Science & Business Media.
- ✓ Bates, P. D., & De Roo, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of hydrology*, 236(1-2), 54-77.
- ✓ Bates, P. D., & De Roo, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of hydrology*, 236(1-2), 54-77.
- ✓ Belhadeh, Hacene. (2014). "Système d'information pour l'aide à la décision spatiale basé sur une ontologie". Mémoire de fin d'études. Date de soutenance : 18/06/2014.

- ✓ Benstaali, Siham. (2023). Étude et analyse statistiques des précipitations annuelles et mensuelles dans le transect steppique de l'Algérie. Mémoire de Master, Abdelhamid Ben Badis University - Mostaganem (ABBUM), 2022-2023.
- ✓ Berdy J. (2005). - Bioactive microbial metabolites. J. Antibiot., 58 (1), 1-26.
- ✓ Bousseboua H., 2002. Elément de microbiologie générale. Edition de l'université Mentouri. Constantine. P: 183, 184, 185.
- ✓ Centre européen de prévention des risques d'inondation, Glossaire, 2019
- ✓ Chaabani, A., Boubaya, D., & Guettouche, M. S. (2016). Risk Assessment of Floods in the Case of Algiers Oueds (North of Algeria). European Scientific Journal, ESJ, 12(24).
- ✓ CHABANE Rabah, LABBAOUI Thanina, "ÉTUDE DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS DE LA VILLE D'EL BAYADH (OUED DEFFA)", Mémoire de Master en Hydraulique, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2015/2016.
- ✓ Chabane, et Labbaoui. (2016). Étude de protection contre les inondations de la ville d'El Bayadh (Oued Deffa). Mémoire de Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2015/2016.
- ✓ Chow, V. T., et al. (1988). Handbook of applied hydrology (2nd ed.). McGraw-Hill.
- ✓ Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). "Applied Hydrology." New York: McGraw-Hill.
- ✓ Chowdhury, P. K., & Chowdhury, S. P. (2013). GIS application in flood hazard mapping: A case study in Berti watershed, Assam, India. Applied Water Science, 3(1), 175-183.
- ✓ Church, J. A., et al. (2013). Sea Level Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- ✓ CORTES Amandine (2006) : « L'appropriation active du risque inondation : intérêts et limites de la réglementation. Etude de cas entre Seyssel et Bregnier Cordon (Haut Rhône) », Rapport de stage Ingénieur Maître-Institut de la Montagne.
- ✓ Cragg G.M., Newman D.J. and Snader K.M. (1997). - Natural products in drug discovery and development. J. Nat. Prod., 60, 52-60.

- ✓ Curry, R. B. (1998). Principles of Geographic Information Systems. John Wiley & Sons.
- ✓ D.P.A.T, 2010- Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
- ✓ De Gannes, V., Eudoxie, G., Hickey, W. J., & Balkaran, O. (2015). Variations in bacterial community structure of an untreated ultramafic hydrocarbon-contaminated soil associated with different tropical grasses. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104, 401-410.
- ✓ Dellaoui, Boualem. (2016). Cartographie et inventaire de l'herpétofaune du chott Chergui (Région d'El Bayadh : Sud-ouest algérien). Mémoire de magister, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbés, 2015-2016.
- ✓ DeMers, M. N. (2014). Fundamentals of Geographic Information Systems. John Wiley & Sons.
- ✓ Dilley, M., et al. (2005). Natural disaster hotspots: a global risk analysis. World Bank Publications.
- ✓ Djamel, Anteur., Abdelkrim, B., Youcef, F., Djillali, B. 2021. Zakour Forest fire risk map assessment in the commune of Mamounia (Mascara, Algeria) *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, Vol. 63 (1), 21–35.
- ✓ Djebali, S. (2015). Analyse des facteurs de l'aléa inondation et évaluation des risques à l'échelle du bassin versant: cas de l'Oued Mina, Nord-Ouest algérien. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen.
- ✓ Dommergues, Y. R., & Mangenot, F. (1970). Nitrogen Fixation in Tropical Soils. Paris: UNESCO.
- ✓ ESRI. (2004). SIG : Système d'information géographique.
- ✓ Esri. (s.d.). ArcSDE. Récupéré sur <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/manage-data/gdbs-in-oracle/what-is-arcscde.htm>
- ✓ Euronews. (2018). Natural disasters: how are they increasing worldwide? Retrieved from: <https://www.euronews.com/2018/06/26/natural-disasters-how-are-they-increasing-worldwide>.
- ✓ Ferguson, R. I. (2010). Streamflow generation processes, fluvial sediment, and river morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(1), 51-64.

- ✓ Few, R., et al. (2003). Flood hazards and health: responding to present and future risks. Earthscan.
- ✓ Gaume, E., et al. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), 70-78.
- ✓ George M., Anjumol A., Mohamed Halta A.A. 2012. Distribution and bioactive potential of soil actinomycetes from different ecological habitats. *African Journal of Microbiology Research* 6 (10) :2265-2271.
- ✓ Goodfellow M., Williams S.T. and Mordarski M. (1984). - Introduction to and importance of the actinomycetes. In: « The biology of the actinomycetes », Goodfellow M., Williams S. and Mordarski M. (Eds.). London: Academic Press, pp. 1-6.
- ✓ Graf, W. L. (2006). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications.
- ✓ Gupta, S., Jain, M. K., & Jain, M. K. (2008). *Hydrology and water resources of India*. Springer Science & Business Media.
- ✓ Gupte M., Kulkarni P., and Ganguli B.N. (2002). - Antifungal antibiotics. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 58, 46-57.
- ✓ Gurnell, A. M., et al. (2016). River dynamics and the influence of riparian vegetation. *Water Resources Research*, 52(9), 7229-7254.
- ✓ H.C.D.S , 2007-haut commencerait de développement des steppes.
- ✓ Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographic Information Systems*. Pearson Education.
- ✓ Hirschboeck, K. K., et al. (2005). Flash flood frequency and discharges in the Western United States related to the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Hydrology*, 316(1-4), 165-182.
- ✓ ICOLD (International Commission on Large Dams). (2018). World Register of Dams. Retrieved from: http://www.icold-cigb.org/GB/world_register/world_register.asp
- ✓ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press.

- ✓ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- ✓ Ishizawa, K., & Araragi, M. (1976). "Effects of Soil Acidity and Nitrogen Fertilization on Nitrification and Microbial Biomass Carbon in Andosols". *Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 423-431.
- ✓ Islam, M.R., Jeong, Y.T., Ryu, Y.J., Song, C.H., Lee, Y.S. (2009). Isolation, Identification and Optimal Culture Conditions of *Streptomyces albidoflavus* C247 Producing Antifungal Agents against *Rhizoctonia solani* AG2-2. *Mycobiology*. 37(2) : 114- 20.
- ✓ Itim, A., & Khellaf, M. (2020-2021). Production de métabolites bioactifs par des actinomycètes : Étude de Synthèse ,Mémoire de master, Université de Saida-Dr. Moulay Tahar, Faculté de Biologie.
- ✓ Jonkman, S. N., et al. (2005). Flood risk assessment in the Netherlands: a case study for the Rhine Delta. *Risk Analysis*, 25(2), 407-418.
- ✓ Jonkman, S. N., et al. (2005). Flood risk assessment in the Netherlands: a case study for the Rhine Delta. *Risk Analysis*, 25(2), 407-418.
- ✓ Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective.* Arnold Publishers.
- ✓ Kundzewicz, Z. W., & Kaczmarek, Z. (2000). "Urban Floods: Damage Mitigation." Southampton, UK: WIT Press.
- ✓ Kundzewicz, Z. W., et al. (2017). *Flood Risk and Climate Change: Global and Regional Perspectives.* Springer.
- ✓ Laurini, R., & Thompson, D. (1992). *Fundamentals of Spatial Information Systems.* Academic Press.
- ✓ Leopold, L. B., et al. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology.* W.H. Freeman and Company.
- ✓ Li, S., & Dragicevic, S. (2015). *Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics.* Springer.

- ✓ Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. John Wiley & Sons.
- ✓ Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.
- ✓ Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.
- ✓ Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.
- ✓ Luis Berardo Borda (2003) : « Apports des systèmes d'information géographique et l'évaluation de la qualité des eaux côtières. Une contribution à la gestion intégrée de la zone côtière Colombienne », Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences techniques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- ✓ Mason, P. J. (2004). *Floods in a changing climate: risk management*. Cambridge University Press.
- ✓ MERABET Abbés (2006) : «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations», Mémoire de Magister, Université de Djilali Liabes-Sidi Bel Abbés.
- ✓ Merz, B., Thielen, A. H., & Kreibich, H. (2005). Assessment of economic flood damage. In *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures* (pp. 173-194). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ✓ Merz, B., Thielen, A. H., & Kreibich, H. (2005). Assessment of economic flood damage. In *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures* (pp. 173-194). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ✓ Merz, R., & Blöschl, G. (2009). A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria. *Water Resources Research*, 45(12), W12422.
- ✓ Miller, H. J., & Shaw, S. L. (2001). *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications*. Oxford University Press.
- ✓ Missoumi Et Tadjerouni, 2003 Pdf Généralités Sur Le Système D'informations Géographiques.

- ✓ Mostefaoui, T., et Benkhedda, F. (2020). Apport de la télédétection et des SIG pour le suivi spatio-temporel d'une zone humide (cas de la sebkha de Naama). Mémoire de l'Université "Dr. Tahar Moulay" de Saïda.
- ✓ Mouaz S. et Saidi A., "Contrôle des risques de crues à distance par système d'information géographique et propositions de techniques de protection contre les inondations: Cas de la wilaya de Tiaret", Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2020.
- ✓ Mseguem, A. 2017. Study of the germination, regeneration and geo-localization by remote sensing of the Atlantic Pistachio settlements in Ain Ben Khelil region - (Naama province). Master thesis. Naama University Center. 104 p.
- ✓ MySQL. (s.d.). MySQL. Récupéré sur <https://www.mysql.com/>
- ✓ Nicholls, R. J., et al. (2008). Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- ✓ Okami Y., Hott A., K., (1988). Search and discovery of new antibiotics. In "Goodfellow M., Williams S.T., Mordarski M. (eds.) Actinomycetes in biotechnology. Academic Press. London. Pp 33-67.
- ✓ Oracle Corporation. (s.d.). Oracle Database. <https://www.oracle.com/database/>
- ✓ Organisation météorologique mondiale, Glossaire de la météorologie, 2017
- ✓ Parker, D. J., et al. (2003). Floods. In Applied Hydrology (pp. 14-1). McGraw-Hill.
- ✓ Parker, D. J., et al. (2011). Floods. In D. J. Parker (Ed.), Floods (pp. 3-19). John Wiley & Sons, Ltd.
- ✓ Parker, D., et al. (2011). Impact of climate change on developing countries. Environmental Research Letters, 6(3), 034009.
- ✓ Paton, D., et al. (2008). Developing and managing resilient communities. Australian Journal of Emergency Management, 23(1), 6.
- ✓ Peignen P. (1995). - A la recherche de nouveaux antibiotiques. La recherche, 26, 444-447.
- ✓ Peng, Z., & Tsou, M.H. (2003). Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks. John Wiley & Sons.

- ✓ Perrier Bruslé, Lætitia. "Construction d'un SIG et champs d'application : De la mise en forme des données géographiques aux divers champs de la géomatique". Mémoire de Master 1 Géographie U70, Université de Nancy.
- ✓ PostGIS. (s.d.). PostGIS. <https://postgis.net>
- ✓ POUGET M., 1980- Les relations sol-végétation dans les steppes sud- algéroises .Edition ORSTOM.,Paris, 569p.
- ✓ Sailia, Omar, & Belarbi, Abdelghani. (2018). Contribution à l'étude de la diversité floristique des parcours mise en défens "Cas de Stitten-Wilaya d'El Bayadh". Mémoire du Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2017-2018.
- ✓ Saouli, A. (2020). Problématique du risque inondation en milieu urbain : Cas de la ville d'El-Bayadh. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider – Biskra, 2019-2020.
- ✓ Sivapalan, M., et al. (2012). IAHS decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. Hydrological Sciences Journal, 57(6), 1059-1066.
- ✓ Smaoui S. (2010).Génie de Procédés et Environnement : Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés.Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse. 182p
- ✓ Smith, M. W., et al. (2010). Floodplain delineation: GIS and remote sensing approaches. Journal of Water Resources Planning and Management, 136(5), 611-614.
- ✓ Smith, M. W., et al. (2016). Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. Routledge.
- ✓ Smith, M., Goodchild, M. F., & Longley, P. (2018). Geospatial analysis: A comprehensive guide to principles, techniques, and software tools. Trouver.
- ✓ Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (2005). "Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment." Hoboken, NJ: Wiley.
- ✓ Touaibia, K. (2015). Gestion intégrée des ressources en eau et des risques naturels dans le bassin versant de l'Oued Fodda: Étude de cas de la plaine de Sidi Bel-Abbès. Thèse de doctorat, Université de Sidi Bel Abbès.
- ✓ touaibia.b ; Manuel pratique d'hydrologie, ENSH, Blida, Algérie. 2004.
- ✓ TRICART J., 1978.- Géomorphologie applicable, Masson, Paris, 1978, 204p.

- ✓ Umezawa, H. (1988). *Antibiotics: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- ✓ Viglione, A., et al. (2010). Overland flow generation processes and hydrograph characteristics in a small alpine catchment. *Hydrological Processes*, 24(13), 1671-1685.
- ✓ Walling, D. E., & Fang, D. (2003). *Recent Trends in the Hydrology of the River Severn and Its Tributaries*. Wiley.
- ✓ Ward, R. C., & Trimble, S. W. (2004). "Environmental Hydrology." Boca Raton, FL: CRC Press.
- ✓ WMO (World Meteorological Organization). (2019). *WMO Guidelines on Multi-Hazard Impact-Based Forecast and Warning Services*. WMO-No. 1150.
- ✓ YEMEFACK (2005) ; in BICO.M 2012 Modelling and monitoring soil and landuse dynamics within shifting agricultural landscape mosaic systems in Southern Cameroon. ITC Dissertation 121, ITC Enschede and Utrecht University, the Netherlands. 213 pages.