



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre et l'Univers

Département de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

En Géographie et Aménagement du territoire

Spécialité : Géomatique



Utilisation de l'algorithme Random Forest et la
plateforme Google Earth Engine dans l'analyse et la
prédiction de l'expansion urbaine de la ville de chlef

Présenté par :

Dahou Abderahim

Melha Aicha

Devant le jury composé de :

BENDIB Abdelhalim	MCA	Encadreur
BOUTRID Mohamed Lamine	MCB	Président
KHELFAOUI Houria	MAA	Examinatrice

Année Universitaire 2023-2024

REMERCIEMENTS

C'est avec une immense joie et une profonde gratitude que je présente ce mémoire. Ce travail est l'aboutissement de plusieurs années d'études et de recherches, et je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à son succès.

Tout d'abord, j'exprime ma profonde reconnaissance à Dieu le Tout-Puissant, pour sa bonté infinie, sa guidance et sa force qui m'ont permis de surmonter les obstacles et de persévérer dans mes études.

J'adresse ensuite mes plus sincères remerciements à mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants. Ils ont été ma source de motivation et de courage tout au long de mon parcours universitaire.

Je remercie également l'ensemble du corps professoral du département, pour leur expertise, leur passion du savoir et leur dévouement à l'enseignement.

Je tiens remercier en premier lieu mon directeur de mémoire, Monsieur BENDIB Abdelhalim, pour sa confiance, son encadrement précieux et ses conseils avisés. Sa patience, sa rigueur et sa disponibilité ont été déterminantes dans la réussite de mon projet de fin d'études.

Enfin, je remercie chaleureusement les membres du jury, qui ont accepté de présider ma soutenance de mémoire et de m'honorer de leurs remarques constructives et enrichissantes. Leur expertise et leur bienveillance ont contribué à rendre cette expérience mémorable.

Je suis infiniment reconnaissant envers toutes les personnes qui ont contribué à mon succès. Je n'aurais pu atteindre ce diplôme sans votre soutien, vos encouragements et votre bienveillance.

Merci du fond du cœur à tous.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à mes parents bien-aimés, dont le soutien indéfectible et les encouragements constants ont été ma plus grande source de force. À mes frères et ma sœur, pour leur amour inconditionnel et leur compréhension infinie, qui m'ont toujours inspiré à donner le meilleur de moi-même. À mes amies ‘Fatima Zahra, Amel, Chaima, Amani, Ikram’ pour leur présence réconfortante et leurs conseils avisés tout au long de ce parcours.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers mes professeurs et mentors. Leur sagesse, leur expertise et leur dévouement à l'enseignement ont été des guides inestimables dans la réalisation de ce travail. Sans leur précieuse aide et leurs encouragements, ce mémoire n'aurait pas vu le jour.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à mon cheminement académique et personnel, je vous adresse mes remerciements les plus sincères. Ce travail est le reflet de votre confiance en moi et de votre soutien inlassable.

Aicha

DÉDICACES

Je dédie ce travail à mes parents, pour leur amour, leur soutien constant et leurs encouragements sans faille tout au long de mon parcours académique.

À mon frère Amar et sœurs, pour leurs encouragements qui m'ont motivé à persévérer même dans les moments difficiles.

À mes amis et camarades de classe, pour leur camaraderie, leur aide précieuse et les moments partagés, qui ont rendu ce voyage académique agréable et mémorable.

Enfin, à tous ceux qui croient en l'importance de la géomatique et son potentiel pour améliorer notre compréhension et gestion de l'espace géographique.

Abderahim

Résumé

Cette étude utilise l'algorithme Random Forest et la plateforme Google Earth Engine pour analyser et prédire l'expansion urbaine de la ville de Chlef, en Algérie. En exploitant des images satellitaires de Landsat et Sentinel, les données spatio-temporelles ont été traitées pour corriger les effets atmosphériques et calibrer les images. Une classification supervisée a permis de cartographier les changements dans l'occupation des sols sur plusieurs décennies. L'algorithme Random Forest a été utilisé pour identifier les principaux facteurs influençant l'expansion urbaine, tels que la croissance démographique et la proximité des infrastructures de transport. Les résultats révèlent une croissance urbaine significative vers les périphéries, particulièrement dans les zones à faible contrainte topographique. Les prédictions suggèrent une poursuite de cette expansion, soulignant l'importance d'une planification proactive. Cette approche innovante offre aux décideurs et urbanistes une méthodologie précise et fiable pour anticiper les dynamiques urbaines et promouvoir un développement durable à Chlef.

ABSTRACT

This study employs the Random Forest algorithm and the Google Earth Engine platform to analyze and predict urban expansion in the city of Chlef, Algeria. Using Landsat and Sentinel satellite imagery, spatio-temporal data were processed to correct atmospheric effects and calibrate the images. Through supervised classification, changes in land use over several decades were mapped. The Random Forest algorithm was utilized to identify key factors influencing urban expansion, such as population growth and proximity to transportation infrastructure.

The findings indicate significant urban growth towards the peripheries, particularly in areas with low topographic constraints. Predictions suggest this expansion will continue, underscoring the importance of proactive planning. This innovative approach provides policymakers and urban planners with a precise and reliable methodology to anticipate urban dynamics and promote sustainable development in Chlef.

Sommaire

Contenu :

Chapitre Introductif

Introduction Générale	1
Problématique.....	2
Le motif du choix du Thème.....	2
L'objectif	3
Méthodologie de recherche	3
Structure du mémoire	4

Chapitre 01: Concepts généraux sur l'expansion urbaine

1- Introduction.....	5
2- Concepts généraux sur l'expansion urbaine	5
2-1 La ville	6
2-2 L'urbanisme	6
2-3 Densification urbaine	6
2-4 L'étalement urbain.....	7
2-5 L'expansion urbaine.....	7
2-5-1 Les types de L'expansion urbaine.....	8
2-5-2 Les Facteurs de l'expansion urbaine	10
2-5.3 Les Obstacles de l'expansion urbaine	11
3. La plateforme Google Earth Engine	13

4. Le puissant Algorithm Random Forest	16
5. La relation entre Les SIG, La plateforme GEE et le puissant RF pour faire une prédiction de l'expansion urbaine	18
6. Conclusion.....	19

Chapitre 02: La ville de Chlef : Analyse des capacités

1- Introduction.....	21
2- Aperçue historique de la ville de Chlef	21
3- Dénomination de la ville	22
4- Présentation de la ville	22
4-1 Importance du site	22
4-2 La situation géographique.....	23
4-3 Les caractéristiques physiques de la ville de Chlef	24
4-3-1 Les reliefs	24
4-3-2 Les pentes.....	25
4-3-3 Les altitudes.....	27
4-3-4 Hydrographie	28
5- Les caractéristiques climatiques.....	29
5-1 Les précipitations.....	30
5-2 Les températures	31
6- Les caractéristiques démographiques	32
6-1 La population	33
6-1-1 La répartition spatiale de la population	34

6-1-2 Densité de population.....	36
6-1-3 Structure de la population par âge	37
6-1-4 Prévision de la population pour les horizons 2025 et 2030	39
6-2 Aménagement de l'habitat à Chlef.....	40
6-2-1 Développement du secteur du logement	40
6-2-2 Prévision des besoins en logements pour les horizons 2025, 2030 et 2040.....	42
7- Economie de la Ville	42
7-1 Répartition du travail	43
7-2 Répartition du travail par secteur	43
8- Industrie	44
9- Les activités commerciales	45
10- L'agriculture	45
11- Les infrastructures de base existantes.....	47
11-1 Le réseau routier.....	48
11-2 Le réseau ferroviaire	49
11-3 Les infrastructures aéroportuaires.....	49
12- Perspectives et opportunités de développement	50
13- Les grands projets réalisés	50
14- Les contraintes au développement.....	51
15- Conclusion	52

Chapitre 03: Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

1- Introduction.....	53
2- Description de la Méthodologie Utilisée.....	53
3- Création des cartes de l'occupation de sol.....	56
3-1. L'utilité des images satellitaires SENTINEL02-LANDCOVER-ESRI.....	56
3-2 Les étapes.....	57
3-3 Résultats de la classification.....	58
4- Prédiction à partir de Google Earth Engine.....	59
4-1 Importation des données.....	59
4-2 Les forces motrices.....	60
4.3. Définition des Classes d'Occupation du Sol.....	64
4-4 Affichage des cartes d'occupation des sols.....	64
4-5 Création et Affichage de la Carte des Changements.....	64
4-6 Création des Variables pour la Prédiction.....	65
4.7. Échantillonnage et Entraînement du Modèle.....	65
4.8. La validation.....	67
4.8.1 Matrice de confusion.....	67
4.8.2. Calcul la qualité de la classification.....	68
Indice de KAPPA.....	68
4-9 Prédiction de l'occupation des sols en 2028.....	69
4-10 Exportation des Résultats.....	70

5- Discussions des Résultats	71
5-1 Résultats de classification	71
5-2 Occupation du sol 2018	71
5.3. Occupation du sol 2023	74
5.4. Analyse des changements	75
6- Prédiction	77
6-1 Prédiction de l'occupation du sol 2028.....	78
6.2. Analyse des changements.....	80
7- Echanges et suggestions	83
7-1 Echanges.....	83
7-2 Suggestions.....	86
8- Conclusion.....	88
Conclusion Générale.....	90
Références Bibliographiques	92

Liste des Figures

Figure 1 : L'expansion extérieure	9
Figure 2: La plateforme GEE.....	15
Figure 1.3: Schéma de principe des forêts d'arbres décisionnels aléatoires.....	17
Figure 4: Carte de localisation de la commune de Chlef	24
Figure 5: Carte des pentes de la commune de Chlef	26
Figure 6: Carte hypsométrique de la commune de Chlef	28
Figure 7: Carte de réseau hydrographique de la commune de Chlef.....	29
Figure 8: Variation mensuelles des précipitations de la commune de Chlef.....	31
Figure 9: Diagramme de Températures de la commune de Chlef.....	32
Figure 10: Diagramme de l'évolution démographique de la commune de Chlef.....	34
Figure 11 : répartition de population de la Ville de Chlef par dispersion 2018	35
Figure 12: Carte de densité de la Wilaya de Chlef.....	37
Figure 13: Carte de l'NDVI de la commune de Chlef.....	46
Figure 14: Carte de l'occupation du sol de la commune de Chlef	47
Figure 15: Carte des routes de la commune de Chlef	49
Figure 16: Organigramme de la méthodologie adoptée.....	55
Figure 17: Carte d'occupation du sol en 2018.....	58
Figure 18: Carte d'occupation du sol en 2023.....	59
Figure 19: Distance aux routes	61
Figure 20: Carte des pentes	62
Figure 21: Densité de la population de la ville de Chlef.....	63
Figure 22: Carte des changements	65
Figure 23: Entraînement du modèle.....	66
Figure 24: Calcule de la précision et du KAPPA	69

Figure 25: Prédiction de l'occupation du sol 2028	70
Figure 26 : Répartition d'occupation du sol 2018.....	73
Figure 27: Répartition d'occupation du sol 2023	75
Figure 28: Prédiction de l'occupation du sol 2028 'Répartition'	80
Figure 29: Organigramme d'évolution spatiotemporelle d'occupation du sol.....	84

Liste des Tableaux

Tableau 1: Évolution démographique de la ville de Chlef (Source : ONS et Wilaya de Chlef)	34
Tableau 2: Répartition de population de la Ville de Chlef par dispersion 2018(Source : ONS et Wilaya de Chlef)	35
Tableau 3: Tranches d'âge de la ville de Chlef 2008 (Source : RGPH 2008)	38
Tableau 4: Prévision de la population pour l'horizon 2030.....	39
Tableau 5: Répartition du parc logement total des MOC selon la commune de résidence, le statut d'occupation du logement, et le taux d'occupation du logement TOL (Source : ONS)	41
Tableau 6: Répartition du parc logement total des MOC selon la commune de résidence et la dispersion (Source : ONS)	41
Tableau 7: Besoins en logements pour les horizons 2025, 2030 et 2040	42
Tableau 8: répartition du travail dans la ville de Chlef 2018 (Source : ONS wilaya de Chlef)	43
Tableau 9: Répartition du travail par secteur dans la ville de Chlef 2018 (Source : ONS wilaya de Chlef)	44
Tableau 10 : Zones industrielles existantes (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef).....	44
Tableau 11: Nouvelles zones industrielles (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)	45
Tableau 12: Zones d'activités existantes (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)	45
Tableau 13: Le réseau routier (Source : DPSB).....	48
Tableau 14 : Caractéristiques des images satellitaires Sentinel-2 Landcover d'ESRI.....	57
Tableau 15: Matrice de confusion	67
Tableau 16: Analyse des changements de la zone d'étude	76
Tableau 17: Analyse des changements de la zone d'étude	81

Chapitre Introductif

Introduction Générale

L'évolution rapide des espaces urbains constitue un défi majeur dans le contexte contemporain, marquée par une urbanisation croissante et une complexification des dynamiques socio-économiques. La ville de Chlef, témoin de ces métamorphoses, devient le terrain d'investigation privilégié de notre étude qui se situe à l'intersection de l'innovation technologique et de l'urbanisme prédictif.

L'utilisation conjointe de l'algorithme Random Forest et de la plateforme Google Earth Engine représente une approche novatrice dans l'analyse et la prédiction de l'expansion urbaine. L'algorithme Random Forest, reconnu pour sa capacité à gérer des ensembles de données complexes, offre une méthode robuste pour modéliser les schémas évolutifs de l'urbanisation. En parallèle, Google Earth Engine, en tant que puissante plateforme dédiée à l'analyse géospatiale à grande échelle, confère une dimension inédite à notre démarche, permettant une exploration approfondie des changements urbains à Chlef.

Cette recherche s'inscrit dans une dynamique d'anticipation des mutations urbaines en utilisant ces outils technologiques avancés. Notre objectif est de transcender les frontières traditionnelles de l'analyse urbaine en offrant une compréhension approfondie et prospective des dynamiques spécifiques à Chlef. Au-delà de la simple observation, nous ambitionnons de contribuer de manière substantielle à la planification urbaine durable en mettant à disposition des outils prédictifs précis et des perspectives éclairées.

Ainsi, cette étude ne se contente pas d'observer l'urbanisation de Chlef ; elle se positionne comme une initiative pionnière visant à exploiter pleinement le potentiel de l'apprentissage automatique et de l'analyse géospatiale pour mieux comprendre, prédire et influencer l'évolution urbaine dans cette région en pleine transformation.

Problématique

Suite aux transformations socioéconomiques et l'évolution du nombre des populations urbaines, la ville de Chlef a connu et continu à connaître des étalements urbains au détriment des terrains agricoles les plus fertiles. L'objectif de cette étude est d'utiliser des données satellitaires et le puissant algorithme Random Forest (RF) dans l'analyse spatiotemporelle de l'évolution de l'espace urbain pour les dernières décennies. En utilisant une plateforme Google Earth Engine et de nombreuses variables pondérant (densité des populations, la topographie, le réseau routier, etc.) il est faisable de prédire l'extension spatiale pour l'année 2028. Les résultats à viser devront permettre de tracer des politiques et des stratégies d'aménagement plus adéquates pour la planification de l'occupation des sols dans un espace en extension continue.

A partir de cet endroit, nous pouvons formuler la question qui suit :

De quelle manière l'utilisation combinée de la géomatique, de l'analyse spatiotemporelle "RF" et de la plateforme "GEE" peut-elle enrichir notre compréhension de la prédiction de l'expansion urbaine dans la Wilaya de Chlef, en considérant les variations au fil des années?

Le motif du choix du Thème

Nous analysons l'expansion urbaine à Chlef en adoptant une approche locale et pragmatique. Notre objectif est de contribuer aux défis de notre communauté en utilisant des méthodologies novatrices comme l'algorithme **RF** et **GEE**. En tant que binôme, nous intégrons des compétences variées pour comprendre de manière holistique les complexités de l'expansion urbaine, démontrant ainsi notre engagement envers un impact positif local et une recherche appliquée.

L'objectif

Le but essentiel de cette recherche est d'appréhender, anticiper et guider l'expansion urbaine à Chlef en utilisant l'algorithme Random Forest et Google Earth Engine. En se concentrant sur l'analyse des données géospatiales, l'objectif est de comprendre les tendances passées et actuelles de l'urbanisation, tout en développant des modèles prédictifs robustes pour anticiper les évolutions futures. Cette approche novatrice vise à fournir des informations cruciales pour une planification urbaine durable en identifiant les facteurs clés influençant l'expansion urbaine. En synthétisant l'expertise en apprentissage automatique et en télédétection, la recherche aspire à offrir des outils pratiques pour les décideurs locaux et à contribuer de manière significative à la compréhension des dynamiques urbaines à Chlef, favorisant ainsi un développement urbain équilibré et respectueux de l'environnement.

Méthodologie de recherche

Ce mémoire est divisé en deux parties :

- **Dans la première phase théorique** de notre recherche, nous établissons un cadre conceptuel solide en définissant clairement les objectifs de notre étude sur l'expansion urbaine à Chlef. Nous justifions notre choix méthodologique en explorant la littérature existante, identifiant les lacunes de recherche et formulons des hypothèses pour guider notre analyse. Ces bases théoriques nous fournissent une orientation solide pour comprendre les complexités de l'urbanisation à Chlef.
- **Dans la seconde phase pratique**, nous mettons en œuvre concrètement notre méthodologie en collectant des données géospatiales locales, dont l'accès facilité en tant que résidents de Chlef simplifie la collecte. Nous détaillons les sources de données, telles que les images satellites et les données démographiques, et expliquons les étapes

de prétraitement pour garantir la qualité des informations utilisées. En parallèle, nous décrivons comment le modèle Random Forest est formé et validé, ainsi que son application sur des images temporelles pour analyser les changements dans l'expansion urbaine. Cette intégration étroite entre la théorie et la pratique vise à fournir des résultats concrets et applicables pour la planification urbaine à Chlef.

Structure du mémoire

Le sujet de recherche étant cerné sur l'utilisation de l'algorithme Random Forest et la plateforme Google Earth Engine dans l'analyse et la prédiction de l'expansion urbaine dans la ville de Chlef pour atteindre notre objectif prenant, d'identifier le processus de l'expansion, afin de ressortir les paramètres qui ont guidé l'urbanisation dans la ville de Chlef,

Le plan de travail de cette recherche peut être organisé comme suit :

- **Le chapitre Introductif** : Dans lequel nous exposons notre introduction problématique et les éléments qui la composent à savoir, les objectifs de la recherche, et aussi la structure du mémoire.
- **Le premier chapitre** : Aspect Théorique.
- **Le deuxième chapitre** : Présentation de la zone d'étude (milieu physique, climat, démographie, économie, contraintes)
- **Le troisième chapitre** : La méthodologie et l'application sur la zone d'étude avec la validation des résultats.

On se termine par une **conclusion générale**

Chapitre 01 :

Concepts généraux sur l'expansion urbaine

1- Introduction

Dans ce premier chapitre, nous ouvrons les pages de la littérature existante et des recherches préalables, plongeant ainsi dans l'océan des connaissances déjà acquises dans notre domaine d'étude. En parallèle, nous explorons également les fondements conceptuels qui servent de socle à notre exploration. L'objectif de cette revue de la littérature est de sonder les idées maîtresses, les méthodes préalablement éprouvées, et les résultats significatifs qui éclairent notre champ spécifique. En embrassant cette exploration, nous cherchons à assimiler les enseignements précédents pour mieux définir notre propre chemin de recherche, en quête d'une compréhension plus approfondie et d'une contribution significative.

2- Concepts généraux sur l'expansion urbaine

Au sein de la Ville de Chlef en Algérie, on peut observer une combinaison d'expansion urbaine et d'étalement urbain. L'expansion urbaine se manifeste par le développement de nouvelles zones résidentielles, l'ajout d'infrastructures et de services urbains, contribuant ainsi à l'augmentation de la superficie urbaine. Parallèlement, l'étalement urbain se caractérise par la dispersion de la population à travers la région, entraînant une utilisation moins dense de certaines zones. Ces phénomènes peuvent être influencés par la croissance démographique, l'urbanisation croissante et les besoins en logement. La gestion efficace de ces dynamiques est essentielle pour assurer un développement urbain durable et équilibré dans la wilaya de Chlef.

Pour mieux comprendre, nous discuterons des concepts suivants:

Chapitre 01 : Concepts généraux sur l'expansion urbaine

2-1 La ville

Avant d'analyser l'évolution de la ville de Chlef, il semble utile dans ce chapitre de définir quelques notions relatives à son objet qui est la ville selon plusieurs angles et points de vue : statistique et démographique, fonctionnelle, social, géographique, idéologique, etc. La ville, objet polysémique par excellence (Weber, 1995), supporte en effet de nombreuses définitions selon le point de vue que l'on s'intéresse à ses habitants, à sa matérialité, à ses fonctions ou encore à ses productions.

Pour Pelletier et Delfante (1997), il existe par conséquent trois principaux critères pour définir la ville : le critère statistique par le comptage du nombre d'habitants, le critère physique par le type et la densité de l'occupation de l'espace et le critère fonctionnel par le recensement des fonctions typiquement urbaines. En effet, ces auteurs définissent la ville comme un lieu d'échange de toute nature, un lieu de services rendus, soit à la population, soit à celle de l'extérieur.

2-2 L'urbanisme

Ensembles des mesures techniques administratives économiques et sociales qui doivent permettre un développement harmonieux, rationnel et humain des agglomérations (https://www.researchgate.net/publication/367205334_Genaralites_portant_sur_l'urbanisme_et_la_ville).

2-3 Densification urbaine

La densification urbaine est un processus d'aménagement du territoire qui vise à augmenter la quantité de la population et d'activités dans les zones urbaines existantes. Le but de la densification est de répondre aux défis posés par la croissance démographique, comme la demande croissante en logements, et également, de réduire la pression sur les terres agricoles, les habitats et les écosystèmes (LAD1).

2-4 L'étalement urbain

Est la propension des agglomérations urbaines à croître et se développer sur de beaucoup plus larges périmètres. Si certains utilisent indifféremment ce terme et celui de périurbanisation, d'autres font la distinction : l'étalement urbain est une extension urbaine en continuité avec la ville compacte, la périurbanisation une extension urbaine en discontinuité (WIEL, 2010).

2-5 L'expansion urbaine

C'est le processus d'exploitation de l'immobilier urbain de manière continue vers la périphérie de la ville, mais aussi le processus d'extraction rationnelle du tissu urbain hors de la ville, que ce soit horizontalement ou verticalement (Amine, 2018). Il s'agit du processus de production d'un domaine urbain lié à la recherche des formes physiques incarnées souhaitées pour de nouvelles applications pour les espaces de travail, les logements, les équipements publics et les infrastructures, en tenant compte de la programmation, de la construction et de la conception (Leshayb, 2021).

Selon (Leshayb, 2021), l'expansion urbaine est l'évolution d'une ville en dehors de son environnement urbain ou de l'exploitation de l'occupation interne d'espaces vacants en raison de l'augmentation de la population et de son incapacité à contenir davantage de bâtiments. Cela se fait par la construction de nouvelles unités résidentielles, qu'elles soient organisées et planifiées par les organismes concernés et mis en œuvre selon les plans d'ingénierie, c'est-à-dire en répondant à toutes les exigences qui servent la population, y compris les installations industrielles et de services, les infrastructures, les logements et les équipements, ou les rassemblements non organisés et aléatoires qui expriment une augmentation de la superficie de la ville au détriment de diverses terres, y compris les terres agricoles

Chapitre 01 : Concepts généraux sur l'expansion urbaine

Il est à noter que l'expansion urbaine et l'étalement urbain sont deux concepts liés au développement et à la croissance des zones urbaines, mais ils se réfèrent à des aspects différents. L'expansion urbaine se réfère généralement à l'augmentation de la superficie totale occupée par une ville, souvent par le biais de nouvelles constructions ou du développement de zones périphériques. En revanche, l'étalement urbain se concentre davantage sur la manière dont la population urbaine s'étend géographiquement, généralement caractérisée par une dispersion plus large et une utilisation moins dense du territoire. Ainsi, l'expansion urbaine met l'accent sur la croissance physique de la ville, tandis que l'étalement urbain se concentre sur la dispersion spatiale de la population urbaine. Ces deux phénomènes peuvent avoir des implications significatives en termes d'utilisation des terres, de mobilité urbaine et d'environnement.

2-5-1 Les types de L'expansion urbaine

Selon (Raounek, 2018), l'expansion urbaine est multiple, car on retrouve en général une expansion urbaine continue et discontinue, et elle peut être résumée comme suit :

A- Pour une expansion interne (Verticale)

Surtout dans les quartiers anciens, les espaces se condensent successivement à travers les équipements publics ou les logements. C'est à ce moment-là que la population locale et les afflux en provenance des zones rurales augmentent. L'extension interne contient sous d'autres formes également : comme l'expansion verticale, lorsque les terrains vacants disparaissent, il est nécessaire de créer de nouveaux logements, répondre aux besoins de la population en augmentant le nombre d'étages en raison de la rareté ou de l'indisponibilité de l'immobilier urbain.

Chapitre 01 : Concepts généraux sur l'expansion urbaine

B- Pour une expansion externe (Horizontale)

C'est ce qu'on appelle l'expansion horizontale et elle s'incarne dans l'expansion horizontale centrale, qui est une expansion urbaine continue telle que le tissu urbain s'exfiltrait hors de la ville, ce qui conduit à l'émergence de groupes de type linéaire, en damier ou radiatif. Sur le réseau routier et de transport comme leurs directions et est également contrôlé par plusieurs causes et obstacles. Il est également divisé en deux formes : (1) extension du tissu urbain qui est un processus qui se déroule en périphérie des villes et se caractérise par la continuité du tissu urbain. (2) villes nouvelles où ce processus consiste à créer de nouvelles villes au niveau de la région métropolitaine en répondant à tous les besoins nécessaires en matière de repos, de logement, de travail et de transport.

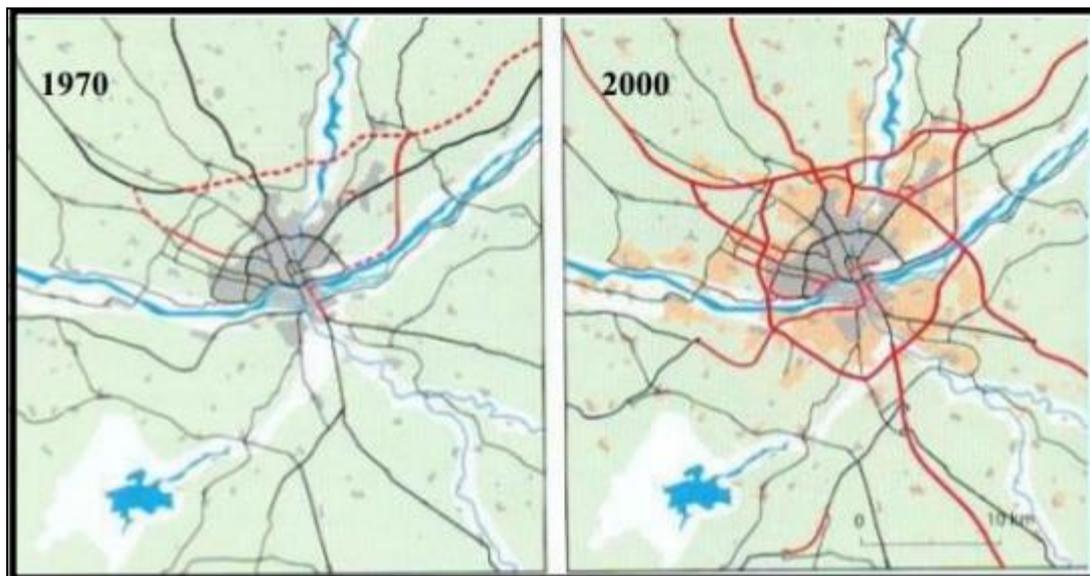


Figure 1 : L'expansion extérieure

(Source : <http://fr.slideshare.net/Saamysaami/etalement-urbain-et-peri-urbanisation>)

2-5-2 Les Facteurs de l'expansion urbaine

A) Facteurs politiques : cela passe par l'émission de décisions politiques dans la construction des villes avec toutes leurs composantes (logements, équipements, routes, réseaux divers), ce qui contribue à l'expansion des villes, comme la création de pôles de développement, la demande de biens immobiliers augmente, et les poches vides du tissu urbain sont intensifiées et comblées, ce qui conduit à l'expansion des villes et à leur croissance.

B) Facteurs économiques : La présence de certaines installations industrielles, commerciales et administratives entraîne la disponibilité de postes d'emploi et la concentration des services dans la ville. Tout cela entraîne une expansion et un déplacement de la périphérie vers la ville.

C) Facteurs sociaux : L'amélioration sociale de certaines villes en a fait un centre d'attraction pour les résidents d'autres communautés, qu'elles soient urbaines ou rurales. Il existe deux autres éléments qui sont tout aussi importants dans les facteurs sociaux d'expansion, qui sont :

- **Croissance démographique :** La croissance démographique est étroitement liée à l'expansion de la ville, et la taille des logements et des équipements tels que les services est liée à la taille des logements qu'ils desservent, ce qui signifie une plus grande consommation d'espace.

- **Migration interne :** De nombreux pays du monde ont connu une migration rurale et régionale vers des villes qui ont amélioré leur niveau économique et social, ce qui a conduit à une augmentation de la population et à l'installation d'immigrants dans leurs banlieues urbaines, ce qui a conduit à l'obstruction de l'expansion de la future ville. Cette migration augmente également l'intensité de la consommation du domaine.

D) Facteurs technologiques : Parmi les facteurs importants et principaux sous lesquels les villes naissent et se développent, il y a le développement technologique. Après l'émergence de l'industrie, de nombreuses villes ont émergé et l'intensité de leur expansion a augmenté avec l'augmentation du progrès technologique. (Soufiane, 2016)

2-5.3 Les Obstacles de l'expansion urbaine

A) Obstacles naturels : Ils varient en fonction de la localisation et des capacités de chaque ville. Parmi ces obstacles, on retrouve :

- **Montagnes :** Les montagnes sont considérées comme un obstacle naturel à l'expansion urbaine dans toute ville en raison de leur forte pente, qui conduit à changer la direction de l'expansion, que ce soit par expansion ou par processus de densification.

- **Mers et voies navigables :** Ce type d'obstacle est particulièrement présent dans les villes côtières, et il est préférable de laisser des accords entre les mers et le tissu urbain. Les voies navigables travaillent à séparer le tissu urbain en laissant des espaces à éviter des inondations et des catastrophes surviennent.

- **Zones agricoles fertiles :** Bien qu'elle constitue un obstacle naturel, l'expansion urbaine se fait au détriment des terres agricoles fertiles est un problème dont souffrent toutes les villes situées dans les plaines, car les terres agricoles ont été excessivement consommées, en raison de la facilité de reconstruction et des faibles coûts de construction.

- **Zones à risque :** La présence de zones exposées à des dangers, comme les catastrophes naturelles, comme les zones exposées aux inondations, comme les glissements de terrain ou des zones à caractère sismique actif. Ces zones ne peuvent pas être étendues et sont considérées comme des obstacles. Par conséquent, avant tout processus d'expansion, il faut connaître avec précision les obstacles les plus importants, tels que les dangers existants et potentiels des zones d'expansion urbaine.

B) Obstacles physiques et industriels :

- **Zones industrielles** : Elles sont considérées comme un obstacle à l'expansion en raison des dangers qu'elles entraînent, comme la pollution, le bruit, etc.
- **Lignes électriques à haute tension** : elles sont considérées comme l'un des obstacles physiques. À mesure que la ville se développe de manière dirigée, elle se trouve confrontée à l'obstacle des lignes électriques, ce qui conduit à abandonner les connexions entre elles et le tissu urbain, ce qui conduit à la séparation et à l'interruption du tissu.
- **Zones archéologiques** : qui doivent être exploitées comme attraction touristique, en plus de la présence d'autres obstacles tels que les autoroutes et les propriétés de dotation.

C) Obstacles fonciers : Le foncier est un véritable obstacle devant les extensions urbaines. Les terrains de propriété privée sont considérés comme des contraintes majeures de l'extension des villes notamment le problème de discontinuité de tissu urbain. Souvent cette contrainte est marquée par une différence topologique entre deux territoires, où se superpose une différence administrative (limite de propriété, de commune ou de département, etc.).

Par exemple en Algérie, les terrains de propriété « Wakf » sont des terrains non vendus, et non constructible. Pour éviter ces contraintes il faut établir une carte foncière au préalable, pour quantifier les terrains favorables juridiquement à l'extension urbaine à court, moyen et long terme, et finaliser les procédures de l'expropriation, et de l'indemnisation, pour raison d'utilité public.

Propriété immobilière : elle est considérée comme l'un des obstacles les plus fondamentaux à l'expansion de toute ville. Avant de commencer la réalisation de tout projet

urbain, il faut étudier la nature de la propriété immobilière des terrains sur lesquels ce projet sera réalisé. (Leshayb, 2021)

3. La plateforme Google Earth Engine

Earth Engine est une plateforme puissante pour l'analyse scientifique et la visualisation de données géo-spatiales. Elle est conçue pour être utilisée par des universitaires, des organismes à but non lucratif, des entreprises et des organismes gouvernementaux. La plateforme héberge une vaste collection d'images satellite et d'autres données géo-spatiales, stockées dans une archive de données publiques. Cette archive comprend des images historiques de la Terre datant de plus de quarante ans, et de nouvelles images y sont ajoutées quotidiennement, ce qui en fait une ressource précieuse pour l'exploration et l'analyse de données à l'échelle mondiale.

Contrairement à Google Earth, dont l'objectif principal est de fournir un globe virtuel pour l'exploration et l'apprentissage, Earth Engine est spécifiquement conçu pour l'analyse d'informations géo-spatiales. Avec Earth Engine, vous pouvez effectuer diverses analyses, telles que l'évaluation de la couverture forestière et aquatique, le suivi des changements d'utilisation des terres, l'évaluation de la santé des champs agricoles, et bien plus encore.

Bien que Google Earth et Earth Engine utilisent certains des mêmes données, il est important de noter que toutes les images et données de Google Earth ne sont pas disponibles pour l'analyse dans Earth Engine. Earth Engine dispose de son propre catalogue de données et d'API pour permettre l'analyse de grands ensembles de données.

De plus, Earth Engine a collaboré étroitement avec Google Cloud pour rendre les collections Landsat et Sentinel-2 disponibles dans Google Cloud Storage, dans le cadre du programme de données publiques de Google Cloud. Cette collaboration facilite l'accès direct

Chapitre 01 : Concepts généraux sur l'expansion urbaine

aux données à partir de services Cloud tels que Google Compute Engine ou Google Cloud Machine Learning. Cependant, il convient de mentionner que l'Éditeur de code Earth Engine et l'API utilisent directement le catalogue de données Earth Engine.

Google développe Earth Engine dans le cadre de sa mission d'organiser les informations mondiales et de les rendre universellement accessibles et utiles. Earth Engine joue un rôle crucial en organisant les informations géo-spatiales et en les rendant disponibles pour l'analyse, soutenant ainsi des initiatives humanitaires, scientifiques et environnementales.

Pour les individus et les organisations, Earth Engine offre un accès facile via le web à un vaste catalogue d'images satellite et de données géo-spatiales dans un format prêt pour l'analyse. La plateforme propose également une puissance de calcul évolutive, soutenue par les centres de données de Google, ainsi que des API flexibles qui permettent de mettre en œuvre facilement des flux de travail géo-spatiaux existants. Cela permet des analyses et des visualisations à grande échelle et de pointe.

Earth Engine est utilisé par divers acteurs, tels que des chercheurs, des organisations à but non lucratif, des éducateurs et des organismes gouvernementaux. Il leur permet d'analyser des données géo-spatiales à grande échelle pour une multitude de finalités.

Pour accéder à Earth Engine, vous devez remplir un formulaire sur la page d'inscription (signup.earthengine.google.com). Une fois inscrit, vous recevrez un e-mail intitulé "Bienvenue dans Google Earth Engine" avec des instructions pour commencer.

Earth Engine est compatible avec les outils existants, car les images et les données provenant de tiers peuvent être importées dans la plateforme pour l'analyse. De même, toute analyse effectuée dans Earth Engine peut être téléchargée pour être utilisée avec des outils tiers.

Chapitre 01 : Concepts généraux sur l'expansion urbaine

La plateforme propose une large gamme de jeux de données dans son catalogue, notamment l'ensemble du catalogue Landsat de l'EROS (USGS/NASA), des ensembles de données MODIS, des données Sentinel-1, des données NAIP, des données de précipitations, des données de température de surface des océans, des données climatiques CHIRPS et des données d'élévation. Les utilisateurs ont également la possibilité de télécharger leurs propres données pour les analyser dans Earth Engine, avec un contrôle total sur les autorisations d'accès.

Google earth engine permet entre autres de :

- Trouver des données dans le catalogue de données.
- Ajouter des données à l'espace de travail.
- Comprendre les fonctionnalités de l'interface.
- Personnaliser la visualisation des données. (SBAISS Karim, 2020)

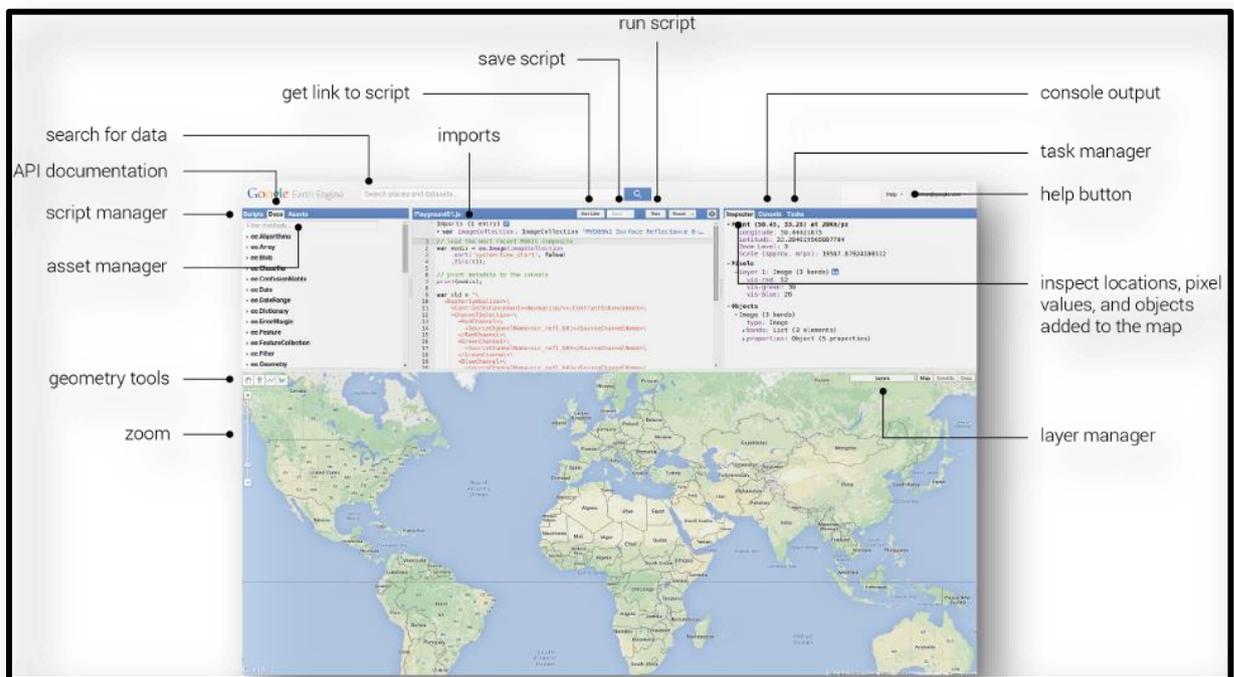


Figure 2: La plateforme GEE

[\(https://earthengine.google.com/platform/\)](https://earthengine.google.com/platform/)

4. Le puissant Algorithm Random Forest

Grâce à une collection d'arbres de classification et de régression (CART®), le moteur de modélisation Random Forests® calcule la somme des prévisions issues de chaque arbre CART afin de déterminer la prévision globale réalisée par la forêt, tout en veillant à ce que les arbres de décision ne s'influencent pas les uns les autres.

Pour ceux qui ne connaissent pas Random Forests, il s'agit d'une technique puissante mise au point par Leo Breiman et Adele Cutler de l'Université de Californie, Berkeley, plébiscitée par bon nombre d'utilisateurs d'outils de modélisation prédictive. A première vue très simple, l'algorithme est pourtant capable de générer des centaines d'arbres indépendants et utilise des échantillonnages tirés d'observations et de variables.

Grâce à sa capacité unique d'évaluation des performances non biaisées du modèle à partir de données prêtes à l'emploi, plus besoin d'échantillon de test ou de validation distinct. Ce qui fait de Random Forests l'outil de modélisation prédictive le plus efficace pour les applications de données à grande échelle, où le nombre de variables dépasse souvent largement le total des observations disponibles.

- **Responsabilité**

Random Forests est le seul outil capable de tirer parti de chaque enregistrement de votre ensemble de données sans risque de surajustement. Il s'agit d'un point particulièrement important pour les ensembles de données limités, en matière d'observations, où chaque enregistrement a son importance. Random Forests s'assure de la prise en compte de tous les enregistrements dans vos modèles afin d'éviter toute perte d'information.

- **Importance des variables robustes**

Random Forests mise sur des techniques novatrices pour classer les prédicteurs par ordre d'importance. Cette stratégie s'avère particulièrement utile lorsque les données comportent des milliers, des dizaines de milliers, voire même des centaines de milliers de variables ou de prédicteurs, ce qui dépasse largement la portée des outils de classification et de régression traditionnels. Random Forests est en mesure de gérer ce type de situation extrême et de déterminer quelles variables utiliser lors des recherches associées. Plus les étapes d'échantillonnage se multiplieront, plus les informations qui en découleront seront fiables et pertinentes. (www.minitab.com)

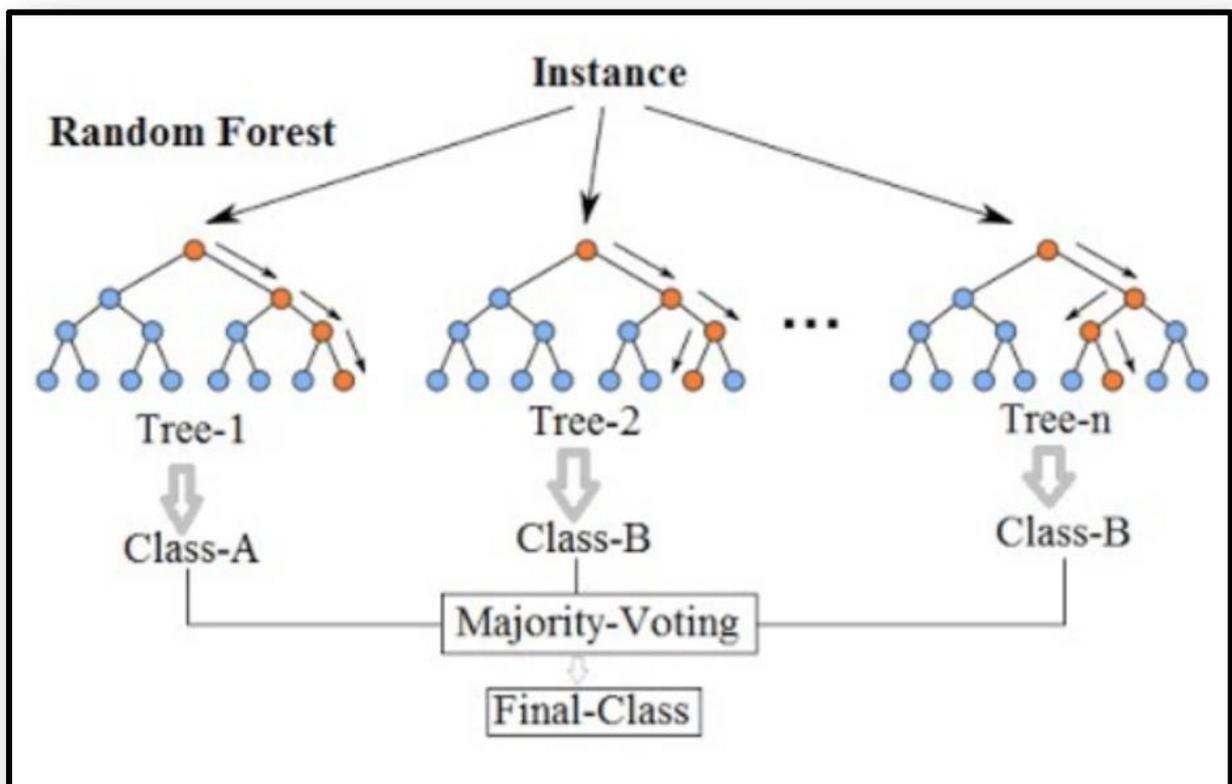


Figure 1.3: Schéma de principe des forêts d'arbres décisionnels aléatoires

(Source : <https://larevueia.fr/wp-content/uploads/2019/10/random-forest-2.png>)

5. La relation entre Les SIG, La plateforme GEE et le puissant RF pour faire une prédiction de l'expansion urbaine

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) jouent un rôle essentiel dans l'analyse spatiale des données, permettant la cartographie et la visualisation des tendances géographiques. En intégrant les données géospatiales dans la plateforme Google Earth Engine (GEE), qui offre une puissante infrastructure cloud pour l'analyse de données terrestres à grande échelle, on peut exploiter la richesse des informations disponibles. En combinaison avec le puissant algorithme Random Forest (RF), utilisé pour la classification et la prédiction, cette approche permet de modéliser et de prédire de manière précise l'expansion urbaine. Les SIG fournissent les données géographiques, la plateforme GEE offre une infrastructure pour l'analyse à grande échelle, et le RF apporte la puissance prédictive nécessaire, créant ainsi une synergie robuste pour comprendre et anticiper les dynamiques complexes de l'urbanisation.

6. Conclusion

Cette étude approfondie examine les aspects fondamentaux de l'expansion urbaine, mettant en lumière ses diverses composantes, ses motifs et les défis qui entravent son développement. Elle vise à faciliter les recherches appliquées dans ce domaine en offrant une synthèse détaillée des concepts clés. De plus, elle propose une vue d'ensemble des avancées en géomatique, en Systèmes d'Information Géographique (SIG), ainsi que des méthodes telles que Random Forest (RF) et la plateforme Google Earth Engine (GEE), utilisées pour prédire l'expansion urbaine. Cette revue de littérature offre ainsi un aperçu approfondi de l'état actuel des connaissances dans l'évaluation des projections d'expansion urbaine.

Chapitre 02 :

La ville de Chlef :

Analyse des capacités

1- Introduction

La ville de Chlef, située au nord de l'Algérie, est un centre urbain dynamique et diversifié. En tant que chef-lieu de la wilaya éponyme, Chlef joue un rôle important sur le plan économique, culturel et administratif. Son histoire riche, marquée par diverses influences culturelles, se reflète dans son patrimoine architectural varié, allant des vestiges romains aux monuments plus récents. La ville bénéficie également d'une position géographique stratégique, entre les montagnes de l'Atlas et la côte méditerranéenne, ce qui contribue à son dynamisme économique.

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné de manière analytique la ville de Chlef, en mettant en lumière ses divers aspects tels que son histoire, sa géographie, sa démographie, son économie et son urbanisme. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans l'influence de la croissance de la ville.

2- Aperçue historique de la ville de Chlef

Depuis le temps le plus reculés, la ville de Chlef a évolué par superposition et juxtaposition des différentes traces appartenant aux différentes civilisations de la méditerranée. Les romains, les ottomans puis les français ont marqué non seulement l'espace urbain de Chlef mais aussi son système défensif. La période française reste la période la plus marquante de l'histoire de la ville de Chlef. Cependant, durant la période française, Chlef représentait une place primordiale dans différents plans et stratégies de fortification globale vue sa position stratégique.

C'est pour cela, la présentation de la ville de Chlef et son évolution sont nécessaires pour pouvoir connaître ses fortifications coloniales voire son système défensif (Yassin, 2018).

3- Dénomination de la ville

La ville de Chlef, qui tire son nom du nom de la capitale de la wilaya, porte plusieurs noms, notamment :

Castellium Tangitanium : à l'époque romaine La signification du château de Tanger parce que Chlef à cette époque peut appartenir à la Mauritanie Tanger. **Al Asnam** : Ce nom a été donné par les conquérants arabes quand ils ont vu les bâtiments romains et les grandes colonnes de la ville.

ORLEANVILLE : c'est la ville du duc d'Orléans (roi français) qu'a été nommé par Marshall Peugeot a l'époque coloniale.

CHLEF : Il tire son nom de la vallée de Chlef qui passe dans son sol et il a été dit que la vallée est dérivée de son nom et que le mot est dérivé du mot Chlefan ou Chillimath du phénicien (un dieu phénicien spécialisé dans la fertilité), sachant que le Valley Chlef est composé du plus grand et du plus fertile fleuve d'Afrique du Nord. (CHEBOUB)

4- Présentation de la ville

4-1 Importance du site

La localisation est une description relative qui découle de la répartition des terres, de la population et de la production, et qui influe sur les relations démographiques associées. Elle regroupe diverses variables déterminant la position générale de la ville par rapport aux zones géographiques et aux groupes physiques dominants. En d'autres termes, il s'agit d'un concept régional, et la localisation de la ville à un impact direct sur la stabilité humaine. Les aspects géographiques et administratifs de la localisation de la ville de Chlef seront ensuite abordés.

4-2 La situation géographique

La ville de Chlef, située dans la région nord-ouest de l'Algérie, se distingue par son orientation agricole. Elle occupe une position centrale au sein de la wilaya du même nom et joue le rôle de chef-lieu. Stratégiquement placée à égale distance des grandes métropoles d'Alger (228 km à l'ouest) et d'Oran (233 km à l'est), Chlef revêt une importance économique notable en tant que carrefour commercial majeur. La ville de Chlef s'étend sur une superficie de 124 km², située à une altitude de 140 mètres, avec une population totale de 178 616 habitants (CHEBOUB). La ville de Chlef se trouve au centre de la Wilaya, Elle est limitée au nord par les communes de Labiad Medjadja, Ouled farés. Au sud par la commune de Sendjas, à l'ouest : par la commune d'Oued sly et la Commune de Chattia, et à l'est : par la commune de Oum droue.

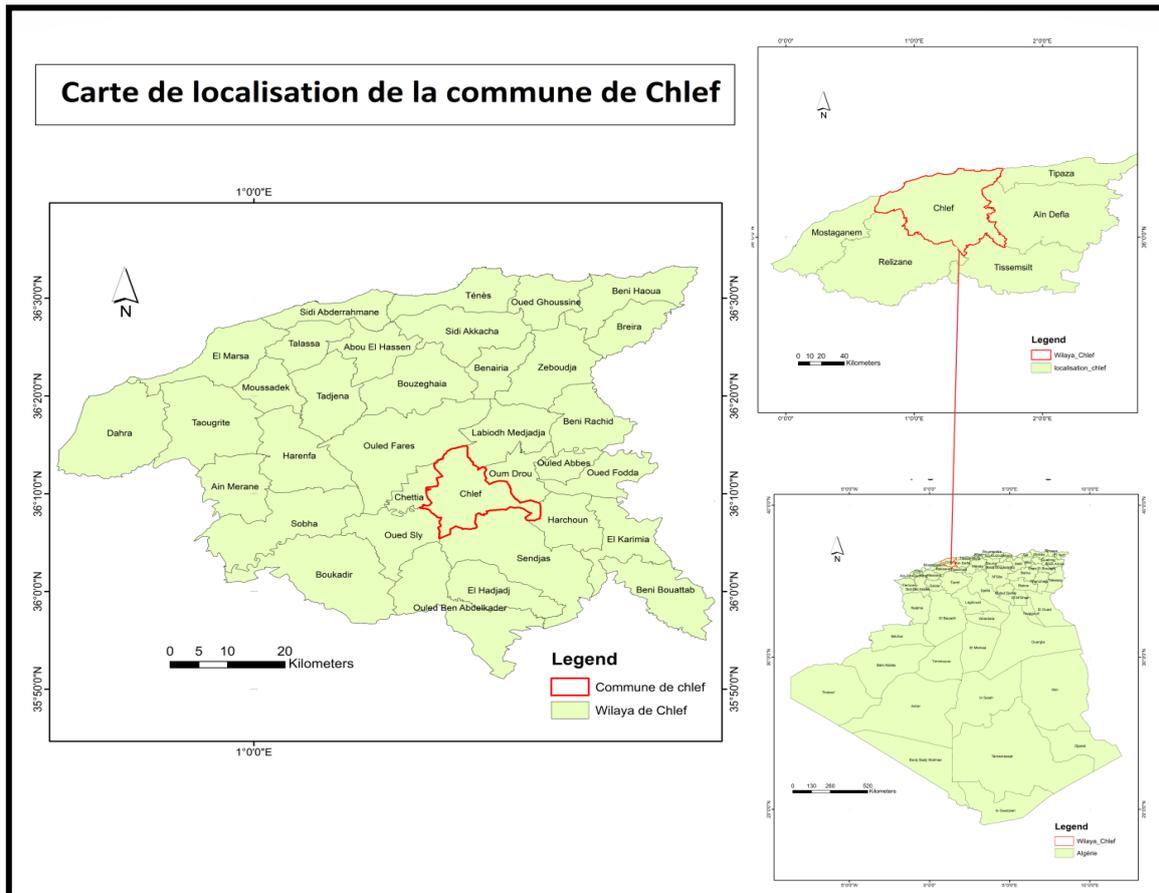


Figure 4: Carte de localisation de la commune de Chlef

4-3 Les caractéristiques physiques de la ville de Chlef

4-3-1 Les reliefs

On y trouve deux types de régions :

Les régions montagneuses ;

Au nord on observe les collines des monts du Dahra et du Zaccar.

Au sud on trouve les monts de l'Ouarsenis.

Les plaines de la vallée du Cheliff au centre. (MONOGRAPHIE Wilaya Chlef)

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

On peut distinguer que le centre-ville est niché dans la plaine de Chlef, une dépression enclavée dans l'Atlas tellien. Cette zone est bordée par les monts de l'Ouarsenis au sud, les monts de la Medjadja au nord, et les monts du Dahra à l'ouest.

4-3-2 Les pentes

Les pentes sont le résultat d'une longue histoire morphologique, elles peuvent constituer une contrainte spécifique d'une part pour l'aménagement et d'autres parts pour l'utilisation agronomique (Djebiri Safaa Ikram, 2019).

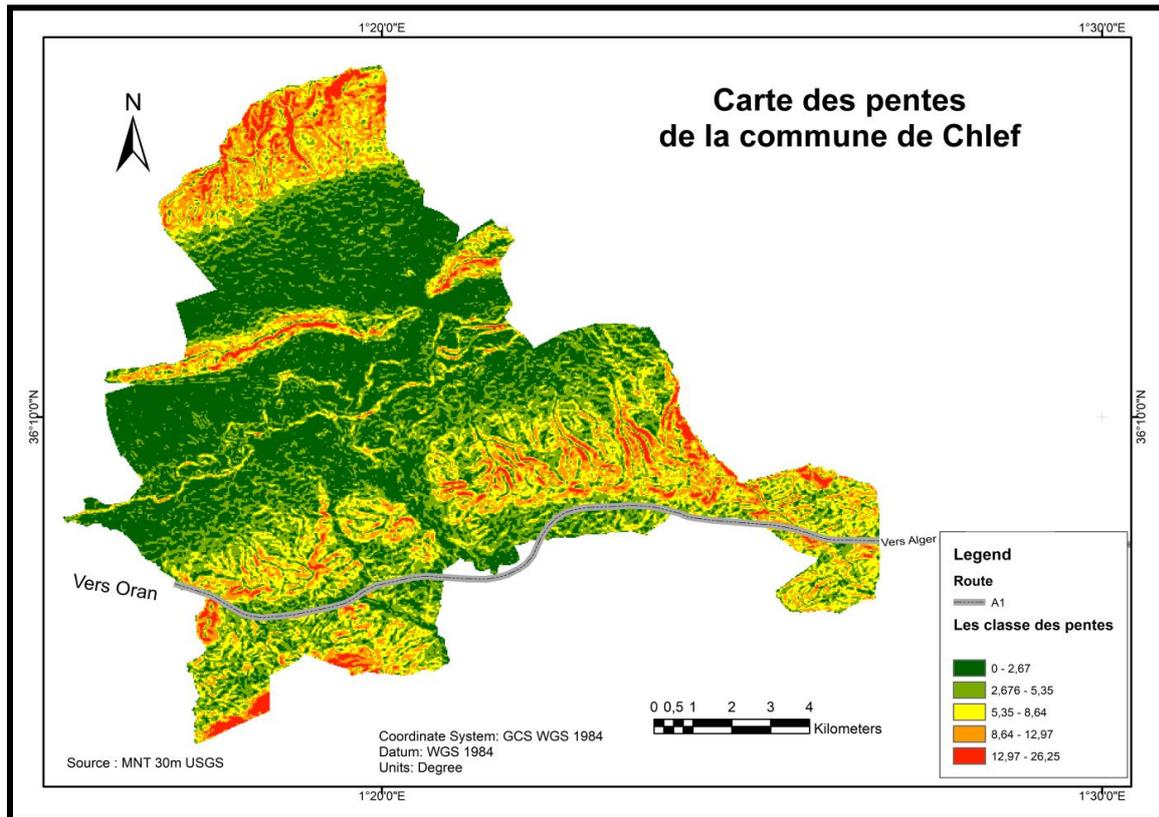


Figure 5: Carte des pentes de la commune de Chlef

La carte des pentes de la commune de Chlef révèle une répartition inégale des pentes sur le territoire. On distingue deux zones principales :

Zone nord : Cette zone est caractérisée par des pentes fortes, allant de 10 à plus de 26 degrés. Elle occupe environ 60 % de la superficie de la commune. Elle correspond aux reliefs montagneux du Djebel Amour.

Les zones à fortes pentes sont sujettes à l'érosion et aux glissements de terrain. Elles sont donc peu propices à la construction de bâtiments et de routes. Cependant, elles peuvent être utilisées pour des activités telles que le pâturage et la sylviculture

Zone sud : Cette zone est caractérisée par des pentes faibles, allant de 0 à 10 degrés. Elle occupe environ 40 % de la superficie de la commune. Elle correspond aux plaines et

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

plateaux qui s'étendent au sud du Djebel Amour. Cette répartition des pentes a des implications importantes pour l'aménagement du territoire de la commune de Chlef.

Les zones à faibles pentes sont plus stables et moins sujettes à l'érosion. Elles sont donc plus adaptées à la construction de bâtiments et de routes. Elles peuvent également être utilisées pour l'agriculture et l'élevage

4-3-3 Les altitudes

La carte hypsométrique de la commune de Chlef montre une région avec une variation significative d'altitudes, influençant fortement l'utilisation des terres, l'agriculture, l'urbanisation et les opportunités touristiques. On distingue deux zones principales :

- Le nord de la commune présente les altitudes les plus élevées, avec des zones allant jusqu'à 513 mètres.
- Les altitudes diminuent progressivement vers le sud, atteignant les valeurs les plus basses autour de 75 mètres.

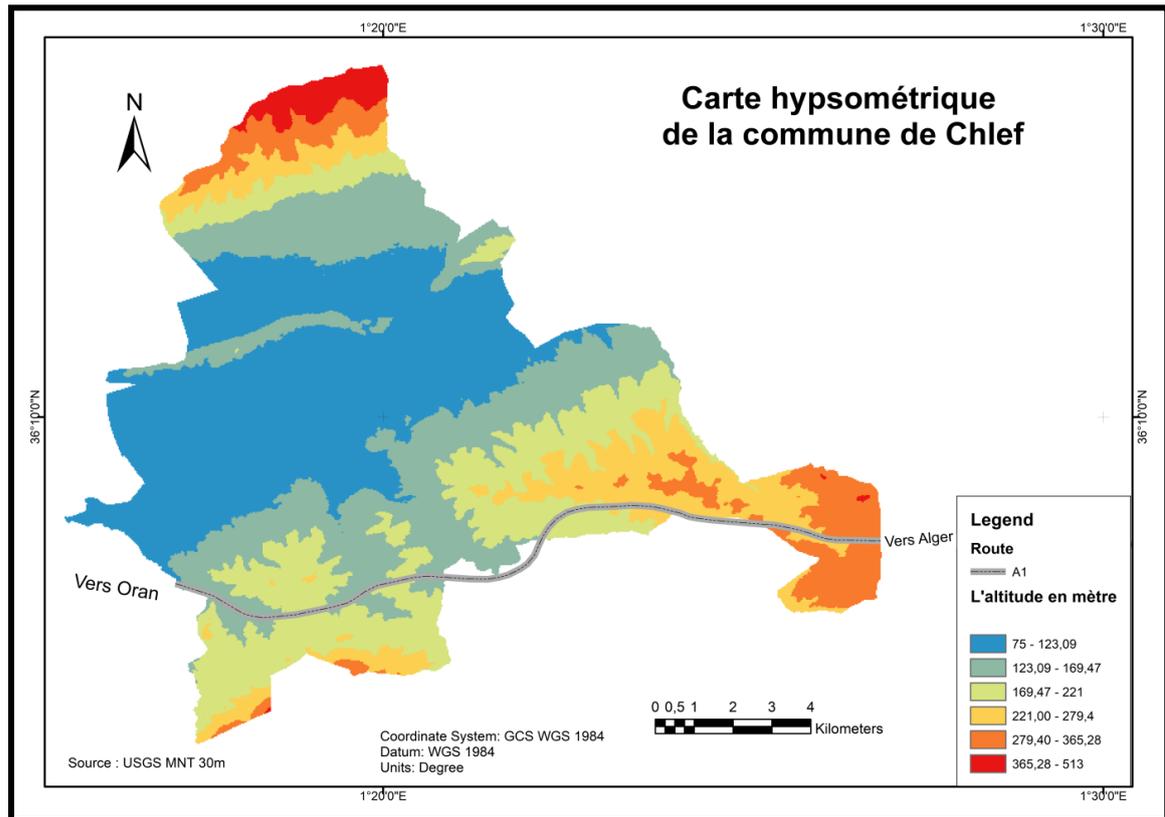


Figure 6: Carte hypsométrique de la commune de Chlef

4-3-4 Hydrographie

Les ressources hydriques d'une région sont reconnues comme étant un pilier essentiel du développement. Les sources d'eau constituent un élément vital de la vie et une ressource indispensable pour toute activité économique, agricole ou urbaine.

À l'intérieur de la ville de Chlef, plusieurs cours d'eau traversent le territoire. Parmi eux, le Chelif est le plus significatif et le plus long d'Algérie, avec ses 700 kilomètres. Il prend sa source près de Djebel Amour et se jette dans la mer Méditerranée à quelques kilomètres de Mostaganem. D'autres cours d'eau incluent l'Oued Tsighaout, l'Oued Nessissa, l'Oued Hamech, l'Oued Taghbiret, et l'Oued Si Driss (CHEBOUB).

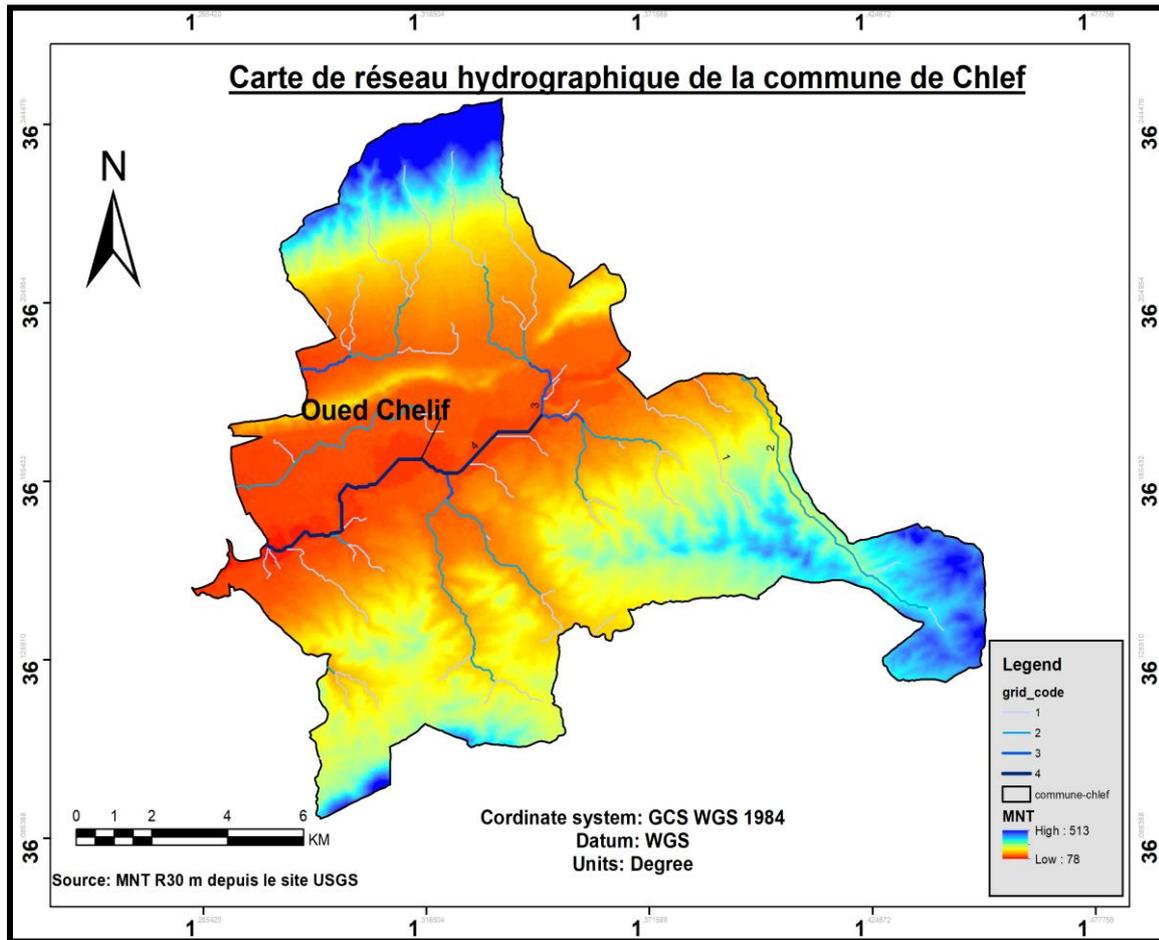


Figure 7: Carte de réseau hydrographique de la commune de Chlef

5- Les caractéristiques climatiques

La ville de Chlef bénéficie d'un climat tempéré chaud. Les précipitations sont plus abondantes pendant la saison hivernale que pendant les mois d'été. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type Csa. La température moyenne annuelle à Chlef est de 18,4 °C, avec des précipitations annuelles d'environ 458 mm (<https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/chlef/chlef-3688/>).

5-1 Les précipitations

La région est réputée pour ses variations notables dans les précipitations, et l'analyse du graphique des données pluviométriques révèle une segmentation nette sur les deux années examinées :

Les précipitations moyennes mensuelles à Chlef sont de l'ordre de 40mm. On note cependant une forte variabilité saisonnière, avec des précipitations plus abondantes en hiver et au printemps, et plus faibles en été. En hiver, les précipitations sont fréquentes et peuvent être abondantes, avec des cumuls mensuels dépassant souvent les 100mm. Les mois de décembre et de janvier sont généralement les plus pluvieux, avec des cumuls moyens de l'ordre de 120mm. Au printemps, les précipitations sont également fréquentes, mais moins abondantes qu'en hiver. Les mois de mars et d'avril sont généralement les plus pluvieux, avec des cumuls moyens de l'ordre de 60mm. En été, les précipitations sont rares et faibles. Les mois de juin, juillet et août sont généralement les plus secs, avec des cumuls mensuels de l'ordre de 10mm. En automne, les précipitations sont plus fréquentes et abondantes qu'en été, mais moins qu'en hiver et au printemps. Les mois d'octobre et de novembre sont généralement les plus pluvieux, avec des cumuls moyens de l'ordre de 40mm.

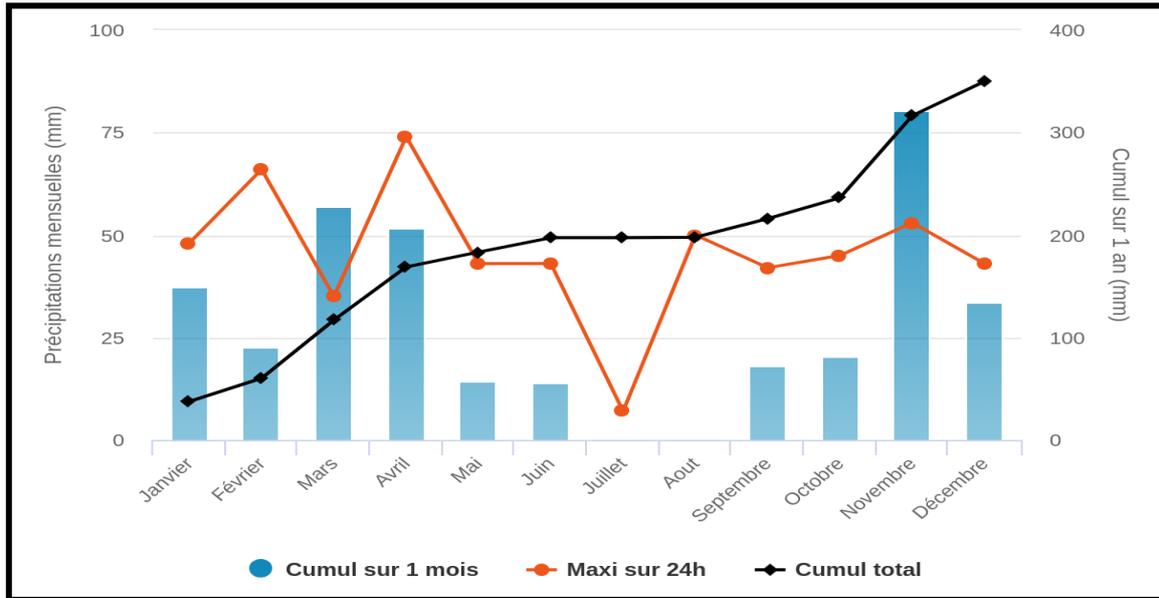


Figure 8: Variation mensuelles des précipitations de la commune de Chlef

(Source : www.infoclimat.fr)

5-2 Les températures

Le graphique illustre les fluctuations thermiques sur deux années distinctes, 2018 et 2022, pour la ville de Chlef. Il met en évidence que : Les températures les plus élevées sont enregistrées en juillet et août, avec des moyennes dépassant 28°C. Par ailleurs, les températures les plus basses sont enregistrées en janvier, avec une moyenne d'environ 10.5°C. Concernant les températures extrêmes, la plus haute température enregistrée 45.8°C en juillet.

Chlef connaît une amplitude thermique annuelle relativement faible, avec une différence d'environ 18 °C entre les températures moyennes les plus élevées et les plus basses. Les nuits sont généralement plus fraîches que les journées, en particulier pendant les mois d'été. La température de la mer Méditerranée a un effet modérateur sur les températures de Chlef, contribuant à maintenir des températures plus fraîches pendant l'été et plus douces pendant l'hiver.

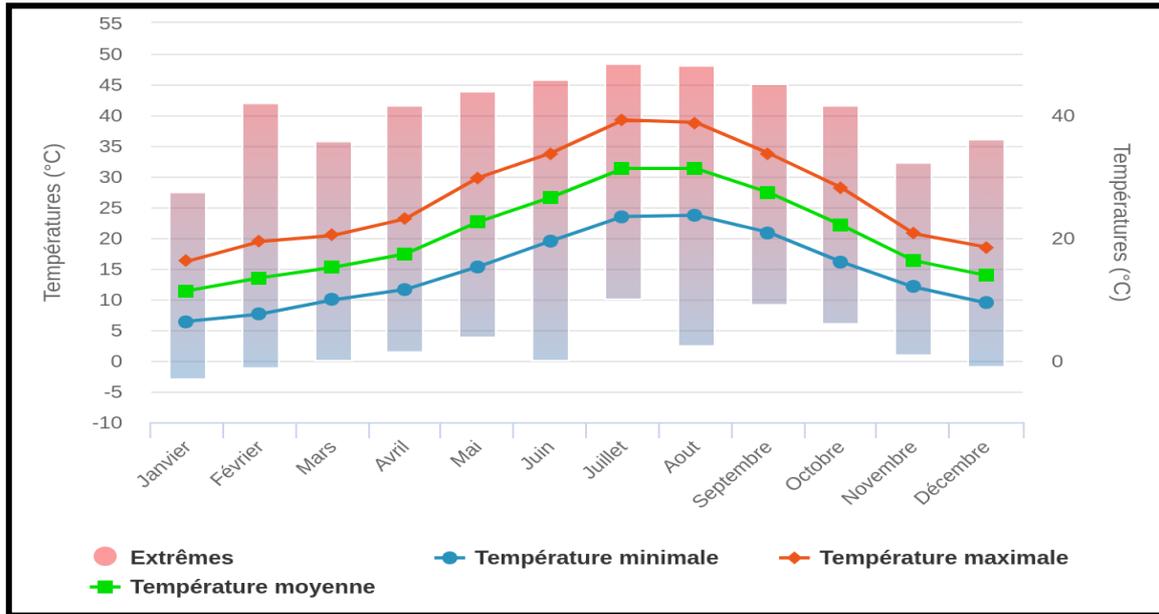


Figure 9: Diagramme de Températures de la commune de Chlef

(Source : www.infoclimat.fr)

6- Les caractéristiques démographiques

Nous entreprendrons dans cette étude une analyse démographique revêt une grande importance en raison de sa relation étroite avec les différentes composantes de l'environnement naturel. La question démographique constitue une matière première pour les études économiques et sociales, ainsi qu'une base fondamentale pour divers projets de développement. En comprenant les caractéristiques de la population et de l'habitat, ainsi que leurs phases de croissance, il devient possible d'estimer les lacunes et les déficits en termes d'infrastructures publiques, de logements et d'équipements, tout en anticipant les besoins futurs.

6-1 La population

La population totale de la wilaya est estimée à 1 268 212 habitants en 2018, soit une densité de 303 habitants par Km². (ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)

La population de la commune de Chlef a connu une évolution significative au fil des différents recensements, avec des variations d'une période à l'autre. Cette évolution est retracée à travers le Diagramme, qui couvre l'évolution démographique sur un siècle et demi, de 1853 à 2018. On remarque une accélération de la croissance démographique au fil du temps. Par exemple, lors du recensement de 1853, la population était estimée à 1 286 habitants, puis à 2 108 en 1859. La ville était alors un petit noyau où la population continuait d'augmenter à un rythme soutenu, bien que relativement lent par rapport à l'accélération ultérieure. Entre 1901 et 1911, la population a augmenté de 3 300 à 12 000 habitants, et cette croissance s'est poursuivie, atteignant 40 000 habitants en 1954 et 69 700 en 1966. Cette tendance ascendante s'est maintenue, avec 125 200 habitants en 1998 et 178 616 en 2008, pour atteindre son apogée lors du dernier recensement en 2018, avec une population estimée à 215 049 habitants. Cette croissance démographique est attribuable à plusieurs facteurs, notamment la position stratégique de la ville en tant que support pour les villes environnantes, l'amélioration du niveau de vie, l'accès amélioré aux services de santé et la disponibilité de la sécurité. (CHEBOUB).

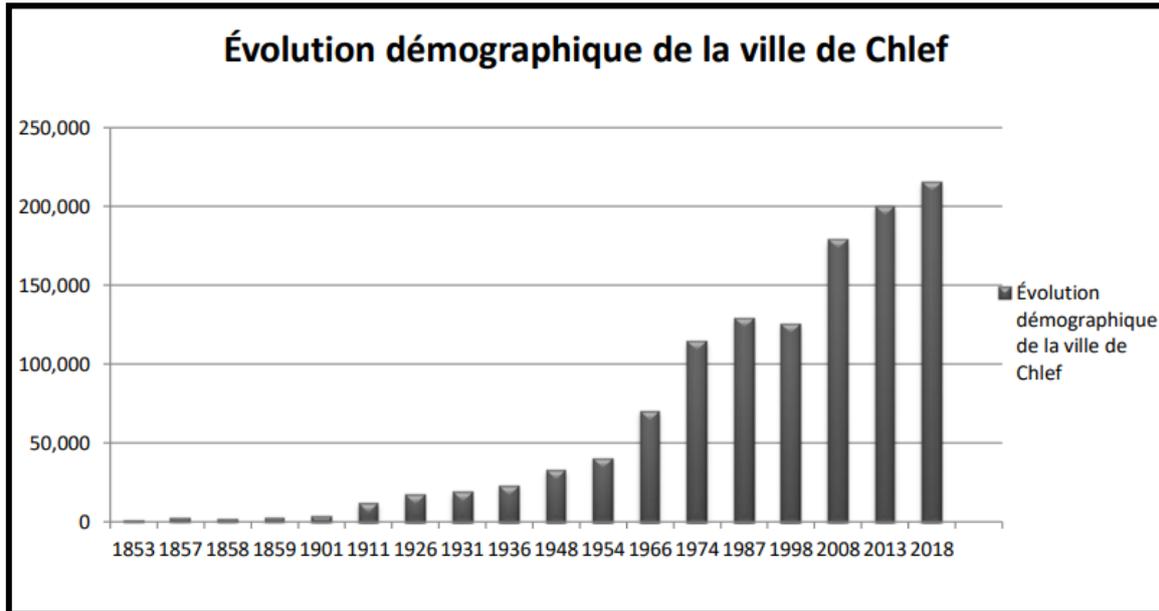


Figure 10: Diagramme de l'évolution démographique de la commune de Chlef
(Source : ONS et Wilaya de Chlef)

Tableau 1: Évolution démographique de la ville de Chlef (Source : ONS et Wilaya de Chlef)

Les années	1901	1931	1954	1998	2008	2013	2018
Nombre de population	3300	18500	40000	125200	178616	200104	215049

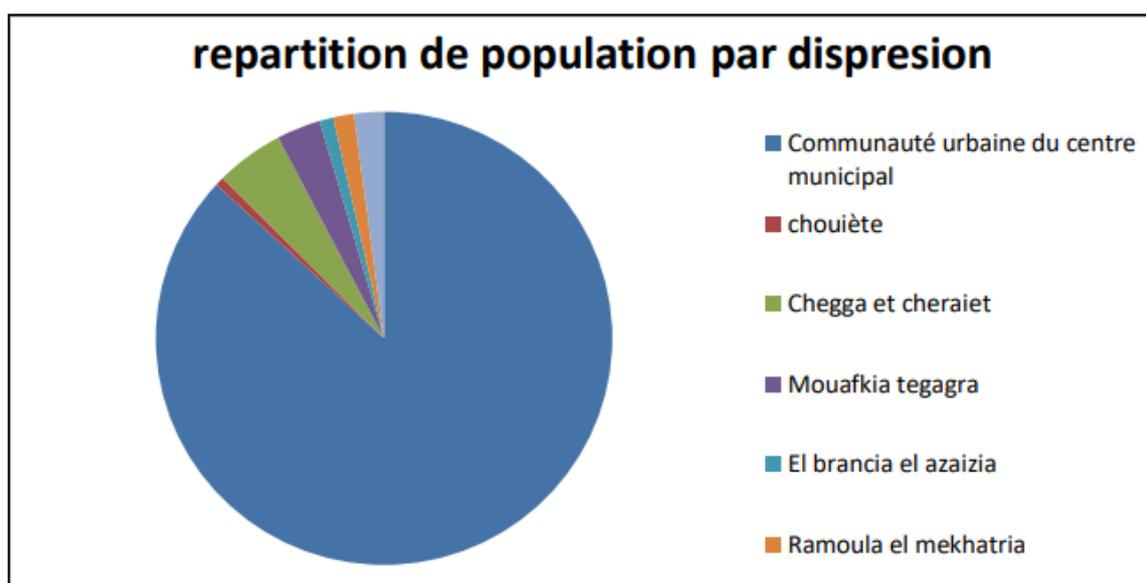
6-1-1 La répartition spatiale de la population

L'analyse démographique a révélé des caractéristiques uniques du paysage urbain, notamment l'influence de la présence humaine, des flux migratoires et des ressources financières sur l'expansion urbaine en termes de vitesse et de direction. Cette étude, basée sur le recensement de 2018, a permis de comprendre la répartition de la population dans la ville de Chlef. Les données du tableau et du graphique ont été cruciales dans cette analyse.

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

Tableau 2: Répartition de population de la Ville de Chlef par dispersion 2018(Source : ONS et Wilaya de Chlef)

Type de communauté urbaine		Nombre de population
Communauté urbaine du centre municipal		196328
Communauté urbaine secondaire	Chouiète	1459
	Chegga et cheraiet	10874
	Mouafkia tegagra	7058
	El brancia el azaizia	2209
	Ramoula et mekhatria	3340
Autres communautés		4757
Total		226025



**Figure 11 : répartition de population de la Ville de Chlef par dispersion 2018
(Source : ONS et Wilaya de Chlef)**

6-1-2 Densité de population

L'un des indicateurs les plus cruciaux pour évaluer le niveau de densité de population dans une zone est la répartition démographique sur le territoire. Dans le cas de la ville de Chlef, comme illustré dans le tableau 08, la densité de population a connu plusieurs phases évolutives. Initialement, entre 1901 et 1931, elle ne dépassait pas les 200 habitants par kilomètre carré. Cependant, entre 1954 et 1998, cette densité a augmenté pour atteindre plus de 500 habitants par kilomètre carré. Cette tendance à la croissance s'est poursuivie jusqu'au début des années 2000, où elle a dépassé les 1400 habitants par kilomètre carré en 2008, et les 1700 habitants par kilomètre carré en 2018. Cette évolution met en lumière l'importance de surveiller la densité de population pour évaluer le degré de surpeuplement dans une région donnée.

Tableau 2.3 : la Densité de population de la ville de Chlef (Source : ONS et Wilaya de Chlef)

Les années	1901	1931	1954	1998	2008	2013	2018
Densité (ha/Km ²)	26,22	147,02	317,88	994,99	1419,5	1590,27	1715,17

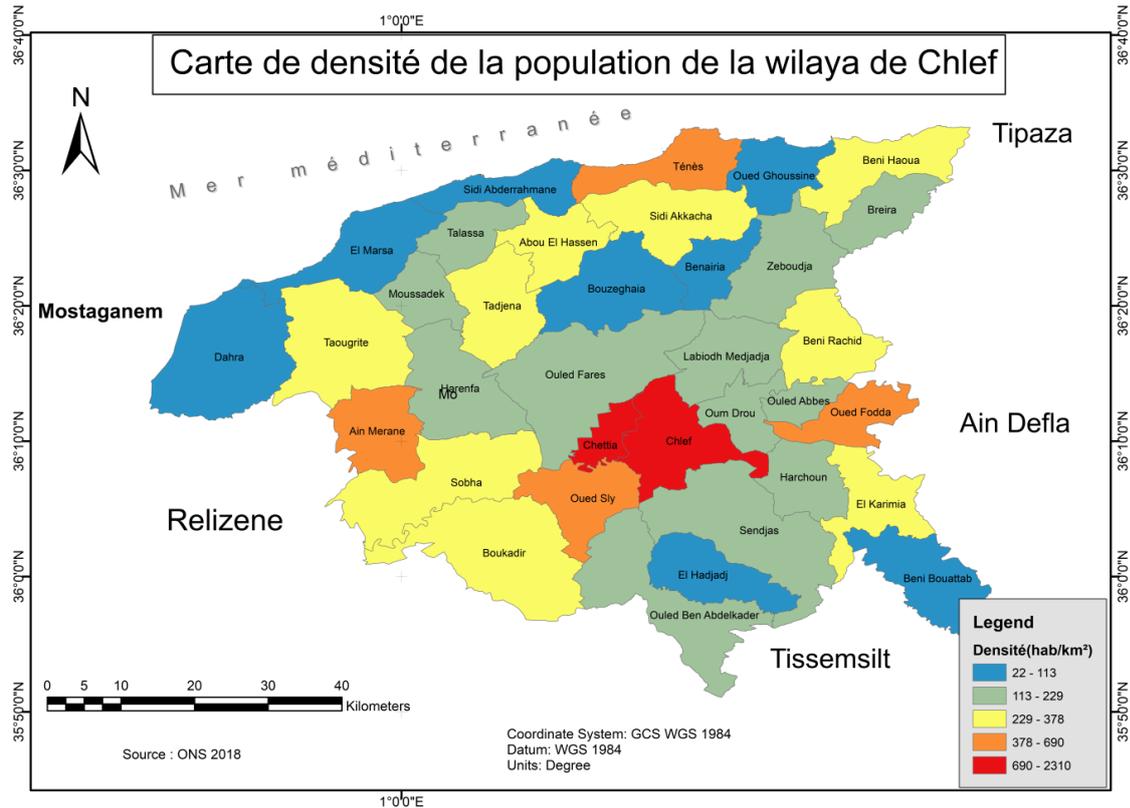


Figure 12: Carte de densité de la Wilaya de Chlef

La carte montre que la population de la wilaya de Chlef est répartie de manière inégale. Les zones les plus densément peuplées se trouvent dans le nord de la wilaya, notamment dans les villes de Chlef, de Ténès et de Beni Haoua. Les zones les moins densément peuplées se trouvent dans le sud de la wilaya, notamment dans les communes de Boukadir, de Sobha et d'Oued Sly.

6-1-3 Structure de la population par âge

La démographie d'une ville, notamment la répartition par âge de sa population, est fondamentale pour sa planification urbaine. Cette structure guide les choix en matière d'éducation, de santé et d'économie. Par exemple, une population jeune nécessite des investissements éducatifs, tandis qu'une population vieillissante demande des services de santé adaptés. Analyser ces données permet de prévoir les défis futurs et d'exploiter les opportunités

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

pour un développement urbain durable, et l'analyse a été faite à travers les tranches d'âge suivantes :

1- Catégorie (0-15 ans) : Il s'agit du segment de la population qui est soit consommateur, soit dépendant de la communauté, représentant 28,5 % de la population totale de la ville de Chlef, comme indiqué dans le tableau 07. Cette situation découle de divers facteurs, notamment la réduction du taux de mortalité et l'amélioration des conditions de vie.

2- Catégorie : (15 - 59 ans) : Cette catégorie constitue la force productive ou le soutien des familles au sein de la communauté, représentant 64,82 % de la population totale de la ville, le pourcentage le plus élevé. Elle joue un rôle crucial dans le développement économique de la région.

3- Catégorie : (plus de 60 ans) : Il représente ma catégorie des personnes âgées, car leur pourcentage s'élevait à 6,68 pour cent de la population totale, et il est classé dans le groupe des consommateurs avec le groupe d'âge jeune.

Tableau 3: Tranches d'âge de la ville de Chlef 2008 (Source : RGPH 2008)

Tranches d'âge	RGPH 2008					
	Masculin		Féminin		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Total	Pourcentage
Moins de 15ans	26011	51,08%	24903	48 ,92%	50914	28,5%
De 15 ans jusqu'à 59 ans	57068	49,28%	58728	50,72%	115796	64,82%
60 ans et plus	5686	47,75%	6221	52,25%	11907	6,68%
Total	88764	49,69%	89852	50,31%	178,616	100%

6-1-4 Prévision de la population pour les horizons 2025 et 2030

La prévision de la population à diverses échéances (court, moyen et long terme) donne un aperçu de la relation entre la croissance démographique et l'évolution de la demande en logements. Ces projections, fondées sur un taux d'accroissement de 1,6 (RGPH 2008) correspondant à la moyenne nationale, éclairent sur les besoins futurs en logements. (Abdelhalim, 2017)

Veillez calculer le nombre de nouveaux habitants en utilisant l'équation suivante : (Leshayb, 2021)

$$P_x = P_y (T/100 + 1)^n.$$

P_x= Nombre d'habitants lors du dernier recensement.

P_y= Population lors du recensement précédent.

T= Le coefficient de croissance 1.6 (constante).

n= La variation du nombre d'habitants entre les recensements.

Tableau 4: Prévision de la population pour l'horizon 2030

Années	2008	2018	2025	2030
Population	178 616	215 049	240321	260172

6-2 Aménagement de l'habitat à Chlef

6-2-1 Développement du secteur du logement

L'évolution du parc de logement dans la commune de Chlef au fil des années reflète une dynamique complexe, façonnée par une multitude de facteurs socio-économiques, démographiques, et politiques. (Abdelhalim, 2017)

Dans les décennies précédentes, Chlef a connu une croissance urbaine significative, alimentée par l'exode rural, l'industrialisation, et les politiques de développement urbain. Cette croissance a engendré une demande croissante en logements, conduisant à une expansion rapide du parc immobilier.

Dans les années 1960 et 1970, Chlef a vu l'émergence de nombreux lotissements et de nouveaux quartiers résidentiels pour répondre à la demande croissante en logements. Ces quartiers étaient souvent caractérisés par des constructions relativement simples, principalement des habitations individuelles ou des petits immeubles à taille humaine.

Dans les années 1980 et 1990, la croissance urbaine s'est accélérée avec l'augmentation de la population et l'urbanisation continue. Cela a conduit à une diversification du parc immobilier, avec l'émergence de grands ensembles résidentiels, de complexes d'appartements et de lotissements de plus en plus vastes. Ces nouvelles constructions ont souvent intégré des équipements collectifs tels que des écoles, des centres de santé, et des espaces verts pour répondre aux besoins croissants des habitants.

Au tournant du XXI^e siècle, Chlef a fait face à des défis liés à l'urbanisation rapide, notamment la saturation des infrastructures existantes, la pression sur les services publics, et les problèmes de planification urbaine. Cela a conduit à une réflexion sur les politiques

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

d'aménagement du territoire et à une prise de conscience de la nécessité de promouvoir un développement urbain plus durable et équilibré.

Dans les années récentes, on observe une tendance à la densification urbaine et à la réhabilitation des quartiers anciens, ainsi qu'à la construction de logements sociaux pour répondre aux besoins des populations défavorisées. Parallèlement, des initiatives de développement durable et d'urbanisme participatif émergent, visant à impliquer les citoyens dans la conception et la gestion de leur cadre de vie.

En somme, l'évolution du parc de logement dans la commune de Chlef est le reflet des transformations profondes qu'a connues la ville au cours des dernières décennies, marquées par une croissance urbaine rapide, des enjeux de planification et de gestion urbaine, et des aspirations croissantes en matière de qualité de vie et de développement durable.

Tableau 5: Répartition du parc logement total des MOC selon la commune de résidence, le statut d'occupation du logement, et le taux d'occupation du logement TOL (Source : ONS)

Commune	Habité	Logement secondaire	Inhabité	A usage professionnel	Total	TOL
Chlef	26291	2250	3532	484	32557	6,8

Tableau 6: Répartition du parc logement total des MOC selon la commune de résidence et la dispersion (Source : ONS)

Commune	ACL	AS	ZE	Total
Chlef	29025	2978	554	32557

6-2-2 Prévision des besoins en logements pour les horizons 2025, 2030 et 2040

Il est bien reconnu que toute politique d'aménagement future repose sur des visions prospectives fondées sur les statistiques actuelles. La prévision des besoins en logements est une étape cruciale pour assurer le succès de toute politique ou action dans ce domaine. Elle a pour objectif d'exprimer les besoins en logements en tenant compte des insuffisances déjà constatées et de la demande anticipée dans un avenir proche ou lointain. Les prévisions obtenues (tableau 08) montrent clairement une demande croissante en logements pour les horizons 2025, 2030 et 2040, avec un besoin estimé à 399 313 logements pour 2025, 520 898 logements pour 2030 et 886 402 logements pour 2040 (Abdelhalim, 2017).

Tableau 7: Besoins en logements pour les horizons 2025, 2030 et 2040

Années	2011	2021	2025	2030	2040
TOL	5,46				
Besoins en logements	189.708	248.159	399.313	520.898	886.402

7- Economie de la Ville

L'activité économique représente un pilier fondamental pour évaluer les relations complexes entre la population et son environnement. En effet, elle offre une fenêtre privilégiée sur la santé économique d'une communauté, révélant l'étendue de son impact sur la planification et la mise en œuvre de projets à long terme. En scrutant de près ces interactions, il est possible de saisir les dynamiques socio-économiques sous-jacentes qui façonnent le développement urbain et rural. De ce fait, l'activité économique se positionne au cœur même des efforts visant à améliorer les conditions de vie, à renforcer les infrastructures et à promouvoir le progrès

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

global. Elle agit comme un catalyseur, stimulant la croissance et favorisant l'émergence de nouvelles opportunités. En somme, elle représente une véritable colonne vertébrale du développement, unissant les aspirations collectives et les aspirations individuelles dans une quête commune de prospérité et d'épanouissement. (CHEBOUB)

7-1 Répartition du travail

La répartition du travail est bien représentée dans le tableau, où la part la plus importante revient à la population active, comptant 102 961 individus, soit un taux de 69,44 %. Ensuite, nous observons la part de la population occupée, totalisant 24 295 personnes, avec un taux de 42,76 %. Enfin, la population sans emploi est estimée à 8 666 individus, représentant un taux de chômage de 8,42 %. Ces données montrent un faible taux de chômage dans la ville par rapport à la population active et occupée.

Tableau 8: répartition du travail dans la ville de Chlef 2018 (Source : ONS wilaya de Chlef)

Population active	Activité	Population en fonctionnement	Taux de fonctionnements	Population en chômage	Taux de chômage
102961	69,44%	94295	42,76%	8666	8,42%

7-2 Répartition du travail par secteur

D'après le tableau, la main-d'œuvre se concentre principalement dans le secteur administratif, avec 31 308 employés, suivi par le secteur du commerce et des services, où l'on compte 29 187 travailleurs. Ensuite, vient le secteur de l'agriculture, avec 13 244 agriculteurs, suivi de près par le secteur de la construction et de l'irrigation, qui emploie 8155 travailleurs. Dans l'industrie, on dénombre 3968 travailleurs, et les autres secteurs totalisent 8439 travailleurs. En conclusion, l'activité administrative domine clairement dans la ville.

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

Tableau 9: Répartition du travail par secteur dans la ville de Chlef 2018 (Source : ONS wilaya de Chlef)

Administrative	Agriculture	Commerce et services	Industrie	Construction et irrigation	Autres secteurs	Total
31308	13244	29187	3968	8155	8439	94301

8- Industrie

L'industrie de la commune de Chlef joue un rôle significatif dans son économie locale. Avec une diversité de secteurs représentés, elle contribue à la création d'emplois et à la croissance économique de la région. Parmi les secteurs industriels les plus importants, on retrouve celui de la construction, qui participe activement au développement urbain de la commune en fournissant des infrastructures essentielles telles que des logements, des routes et des installations publiques. De plus, l'industrie agroalimentaire occupe une place prépondérante, profitant des ressources agricoles abondantes de la région pour produire une variété de produits alimentaires transformés. Parallèlement, le secteur manufacturier connaît également une expansion, avec des entreprises spécialisées dans la production de biens de consommation et de produits industriels. Ensemble, ces industries contribuent à la dynamique économique de la commune de Chlef, favorisant son développement et son progrès continu (ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef).

Tableau 10 : Zones industrielles existantes (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)

Zones industrielles existantes						
Communes	Superficie totale (ha)	Superficies cessibles/ concessibles (ha)	Nombre de lots	Lots attribués	Superficies attribuées (ha)	Superficies disponibles (ha)
OUED SLY	215	170	86	86	170	0

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

Tableau 11: Nouvelles zones industrielles (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)

Désignation	Superficie totale (ha)	Superficies concessibles (ha)	Superficie attribuée (ha)	Nombre de lots	Lots disponibles
OUED SLY	110	78,8	62	110	20

Tableau 12: Zones d'activités existantes (Source : ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef)

Communes	Superficie totale (ha)	Superficies cessibles/concessibles (ha)	Nombre de lots	Lots attribuées	Superficies attribuées (m ²)	Superficies disponibles (m ²)
Oued Sly	1,02	0,29	22	22	0,29	0
Chlef	11,68	7,66	170	170	7,66	0

9- Les activités commerciales

Chlef est une ville qui abrite une économie dynamique et diversifiée. Le commerce local y joue un rôle essentiel, avec de nombreux marchés, boutiques et entreprises qui contribuent à la vitalité économique de la région. Les secteurs clés incluent l'agriculture, l'industrie légère et les services. Les marchés locaux offrent une variété de produits, reflétant la richesse culturelle et la diversité de la région. Les habitants de Chlef bénéficient d'une vie économique animée, soutenue par un tissu commercial actif qui contribue au développement continu de la ville.

10- L'agriculture

La ville de Chlef se distingue par son caractère profondément ancré dans l'agriculture, une orientation qui tire avantage de sa position géographique privilégiée au sein de la fertile plaine du Moyen Cheliff. Cette situation stratégique, combinée à la présence de ressources hydriques abondantes telles que les barrages d'Oued Fodda et de Sidi Yakoub, confère à la ville un potentiel agricole considérable. Ces ressources en eau, essentielles pour l'irrigation des terres

Chapitre 02 : La ville de Chlef : Analyse des capacités

arables, jouent un rôle crucial dans la prospérité de l'agriculture locale en garantissant un approvisionnement régulier en eau pour les cultures tout au long de l'année. En outre, elles favorisent la diversification des cultures et la croissance économique de la région en soutenant la production agricole à grande échelle. Ainsi, la ville de Chlef se positionne comme un centre agricole majeur, contribuant de manière significative à la sécurité alimentaire et au développement socio-économique de la région.

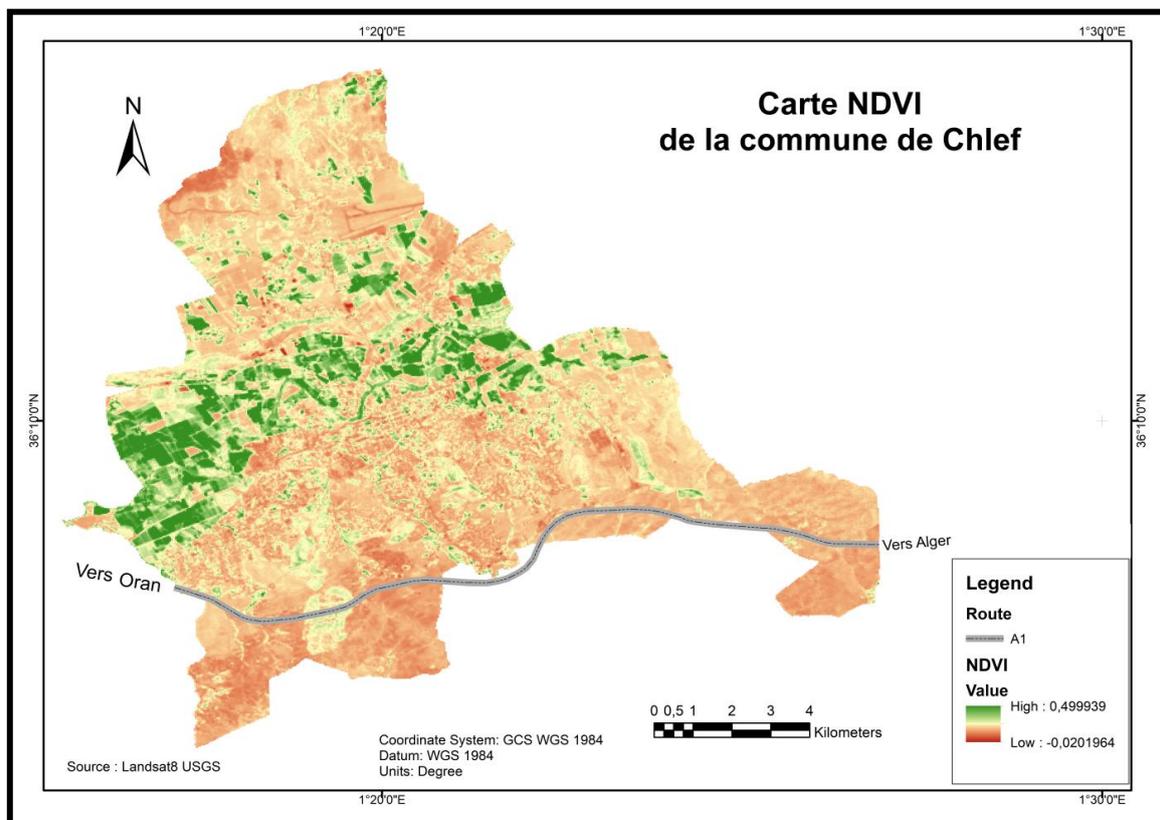


Figure 13: Carte de l'NDVI de la commune de Chlef

La carte NDVI de la commune de Chlef montre que les zones vertes correspondent aux zones où il y a beaucoup de végétation. Cela inclut les zones irriguées, les berges des cours d'eau et les oasis. Les zones rouges correspondent aux zones où il y a peu de végétation. Cela inclut les zones montagneuses, les steppes et les zones urbanisées. La ville de Chlef et ses environs ont peu de végétation. Cela est dû à l'étalement urbain et aux activités industrielles.

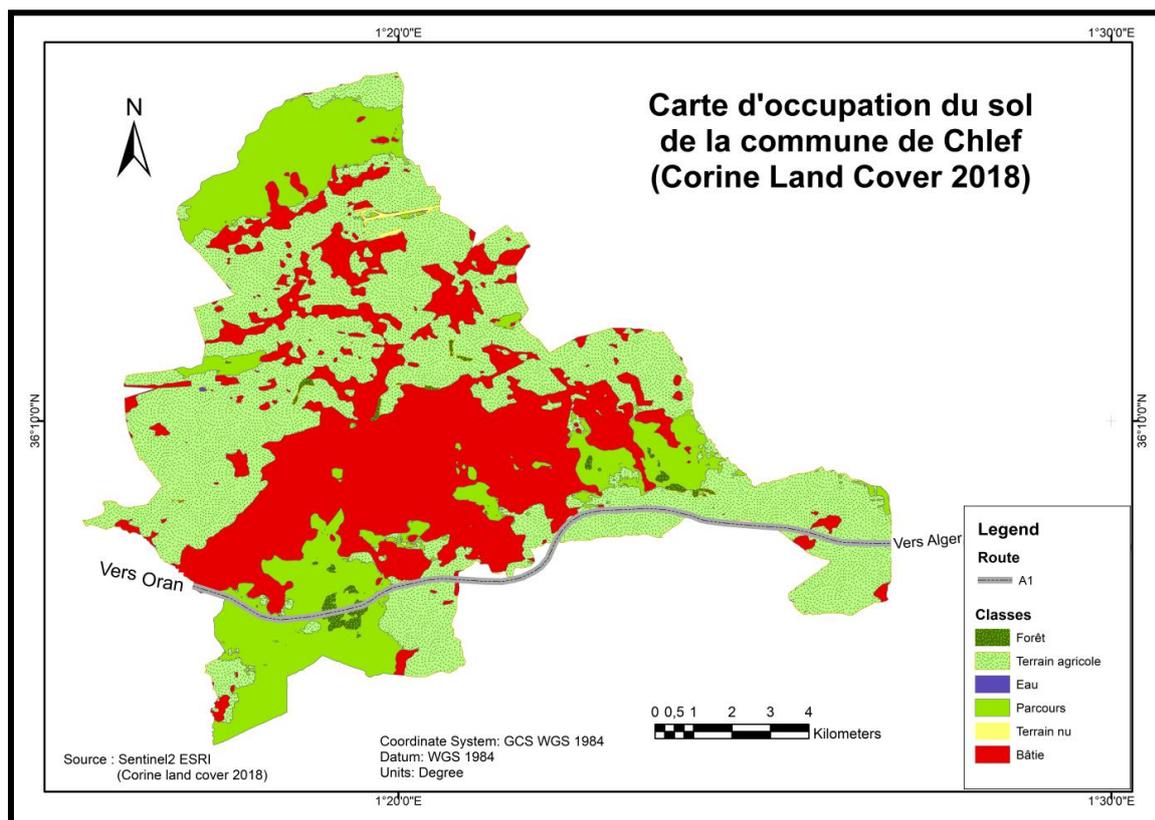


Figure 14: Carte de l'occupation du sol de la commune de Chlef

La carte d'occupation du sol de la commune de Chef montre que la commune est majoritairement occupée par des terres agricoles (58%). Les forêts et les autres terres boisées représentent 22% de la superficie de la commune, tandis que les zones urbaines et les infrastructures occupent 11%. Les terres nues et les rochers occupent 9% de la superficie de la commune.

11- Les infrastructures de base existantes

Dans la ville de Chlef, les voies sont différenciées en fonction de divers critères, notamment : l'intensité du trafic routier, leur usage urbain spécifique, et le niveau de services et d'équipements disponibles (BOUTELDJA RADHIA, 2018).

11-1 Le réseau routier

La route nationale N4

Direction : Direction est-ouest, activités commercial, résidentiel, mixtes, services, forte activités le jour et faible les nuit, un bâti linéaire et un ponctuel tout au long la voie.

Boulevard Benbadis : C'est l'axe qui relie tous points d'accès au quartier au sud.

Direction : Double sens est-ouest, largeur convenable suffisante par rapport à la circulation.

La route national N19

Direction : Direction nord-sud, activités commercial, résidentiel, mixtes, services, etc.

Tableau 13: Le réseau routier (Source : DPSB)

Désignation	Longueur (km)
Autoroute Est-Ouest	52,713
Routes nationales	304
Chemins de wilaya	560
Chemins communaux	2688,8
TOTAL	3605,513

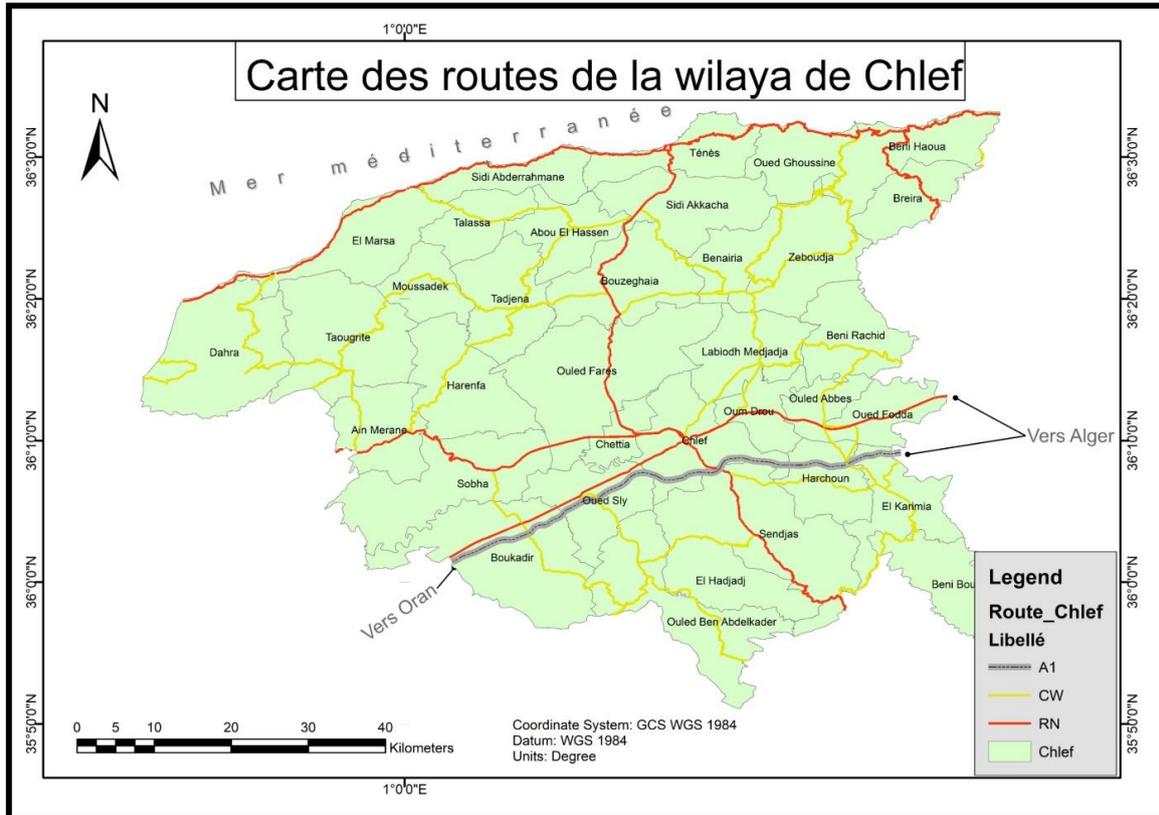


Figure 15: Carte des routes de la commune de Chlef

11-2 Le réseau ferroviaire

- La wilaya est traversée par une voie ferrée à l'Est, sur un linéaire de 67,8 km.
- Elle compte une gare principale : dans la commune de Chlef.

11-3 Les infrastructures aéroportuaires

- La wilaya dispose d'un aéroport international sis au chef-lieu de wilaya.

Superficie totale : 24 ha.

- Longueur de la piste d'atterrissage : 3 400 m.
- Postes de stationnement : 04 (pouvant accueillir des gros et moyens ✈ porteurs).
- Capacité d'accueil : 151 000 passagers.
- Capacité d'accueil du parking visiteurs : 160 véhicules.

12- Perspectives et opportunités de développement

La commune de Chlef offre un cadre propice à diverses perspectives et opportunités de développement. En tant que centre urbain important, elle dispose d'infrastructures solides et d'une main-d'œuvre qualifiée, ce qui en fait un pôle attractif pour les investissements. Ses secteurs clés tels que l'agriculture, l'industrie et le tourisme présentent un potentiel de croissance significatif. De plus, la localisation stratégique de Chlef, à proximité des grands axes routiers et des centres économiques, en fait un carrefour commercial régional. En investissant dans des projets d'infrastructure, de formation professionnelle et de promotion du tourisme durable, la commune de Chlef peut capitaliser sur ses atouts pour stimuler le développement économique, créer des emplois et améliorer la qualité de vie de ses habitants. (ANIREF/MONOGRAPHIE WILAYA DE CHLEF)

13- Les grands projets réalisés

La wilaya a réalisé plusieurs projets importants, à savoir :

- L'alimentation en eau potable du couloir Chlef -Ténès à El Guelta.
- L'alimentation en eau potable Taougrite -Ain Merane - Dahra à partir du périmètre de Chlef.
- La réalisation des réseaux secondaires d'AEP de la commune de Chlef (1 ère tranche).
- La réalisation de l'aéroport de Chlef.
- La réalisation d'une trémie au chef –lieu de wilaya.
- La réalisation d'une station d'épuration au chef –lieu de wilaya.
- La modernisation de la RN 19.
- Le renforcement de la RN 04.

- La réalisation et l'équipement de l'hôpital 240 lits à Chlef.
- La réalisation d'un débarcadère à sidi Abderrahmane.

14- Les contraintes au développement

La commune de Chlef est confrontée à plusieurs contraintes qui entravent son développement potentiel. Tout d'abord, les infrastructures de base, telles que les routes, l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement, nécessitent des investissements importants pour répondre aux besoins croissants de la population. De plus, le secteur de l'emploi fait face à des défis, avec un taux de chômage élevé et une offre d'emploi limitée, ce qui freine la croissance économique et accentue les disparités sociales.

La gestion des ressources naturelles constitue également un défi majeur pour la commune de Chlef. La dégradation de l'environnement, due à une urbanisation non planifiée, à la pollution et à la déforestation, menace la durabilité des écosystèmes locaux et compromet la qualité de vie des habitants. Parallèlement, les risques naturels tels que les inondations et les sécheresses nécessitent une gestion proactive et des mesures d'adaptation efficaces pour réduire leur impact sur la population et les infrastructures.

Enfin, la gouvernance locale et la transparence dans la gestion des affaires publiques sont des préoccupations importantes. Pour assurer un développement durable et inclusif, il est essentiel d'améliorer la participation citoyenne, de renforcer les institutions locales et de promouvoir la reddition de comptes dans la prise de décision et la gestion des ressources publiques. En surmontant ces contraintes et en adoptant des politiques et des stratégies appropriées, la commune de Chlef peut surmonter les défis actuels et créer un environnement propice à un développement économique, social et environnemental durable. (BOUTELDJA RADHIA, 2018)

15- Conclusion

A travers l'étude analytique de la ville de Chlef, nous avons constaté que l'orientation de l'expansion urbaine future est contrôlée par plusieurs facteurs, qu'ils soient naturels (les altitudes, les pentes, les terrains agricoles, etc.), économique ou artificiels, etc. Sans oublier le facteur démographique, car la croissance rapide de la population de la ville a eu un impact positif sur la ville, ce qui a augmenté la taille des projets de développement. Ceci va entraîner impérativement une forte attraction de la population vers la ville. En revanche, cela a eu un impact négatif.

Chapitre 03

Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

1- Introduction

Dans ce contexte, Google Earth Engine (GEE) se distingue comme un outil puissant et innovant pour l'analyse et la visualisation de données géospatiales à grande échelle. GEE permet de traiter de vastes quantités de données satellitaires et de les analyser grâce à des algorithmes de télédétection comme Random Forest (RF), reconnu pour sa précision et sa capacité à gérer de grandes quantités de données, ainsi qu'à des techniques de modélisation spatiotemporelle avancées. Cet outil offre une plateforme pour accéder à des images satellites historiques et en temps réel, ainsi que des capacités de calcul robustes pour dériver des tendances et réaliser des prédictions.

Ce chapitre explore l'utilisation de Google Earth Engine pour modéliser et prédire l'évolution spatiotemporelle de la ville de Chlef. En intégrant des images satellites multi-temporelles et en appliquant des techniques de télédétection, nous visons à identifier les dynamiques de changement de l'occupation des sols et à prévoir les futurs développements urbains. Cette approche permet non seulement de comprendre les transformations actuelles, mais aussi de guider les décisions de planification stratégique pour répondre aux besoins d'une population croissante tout en préservant l'environnement naturel.

2- Description de la Méthodologie Utilisée

Ce chapitre utilise Google Earth Engine (GEE) pour étudier l'évolution spatiotemporelle de la ville de Chlef, en se concentrant sur deux volets principaux.

La première partie est consacrée à la classification des images satellitaires pour les années 2018 et 2023 en utilisant Sentinel-2 LANDCOVER. Ces cartes fournissent une représentation précise des différents types d'utilisation des sols à ces moments spécifiques, incluant les zones urbaines, les terres agricoles, les forêts, et d'autres catégories. Cette étape

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

implique le prétraitement des images satellitaires et la génération des cartes d'occupation des sols validées par des données de référence.

La deuxième partie de l'étude porte sur l'analyse des changements d'occupation des sols entre 2018 et 2023. En comparant les cartes d'occupation des sols de ces deux années, cette analyse identifie les zones de conversion significatives. Les résultats mettent en évidence les tendances majeures, telles que l'expansion urbaine ou la déforestation, fournissant ainsi des informations cruciales sur les changements environnementaux et socio-économiques dans la région de Chlef.

Pour valider les résultats de la prédiction, des outils statistiques comme la matrice de confusion et l'indice de Kappa sont utilisés. La matrice de confusion compare les classes prédites avec les classes réelles pour évaluer la précision globale, la précision par classe et le taux de rappel. L'indice de Kappa mesure l'accord entre les prédictions et les observations en tenant compte de l'accord attendu par hasard, fournissant une évaluation robuste de la performance de la classification. Les résultats de validation montrent que les prédictions sont conformes aux données réelles, renforçant ainsi la crédibilité et la fiabilité des analyses. Si les résultats de validation sont satisfaisants, nous pouvons avoir confiance en notre modèle pour faire des prédictions futures, notamment pour l'année 2028.

Cette approche combinée de classification et d'analyse des changements d'occupation des sols, validée par des méthodes rigoureuses, offre une compréhension approfondie de l'évolution spatiotemporelle de l'occupation des sols à Chlef. Elle met en lumière des tendances et des dynamiques essentielles, telles que l'expansion urbaine rapide et la réduction des zones agricoles.

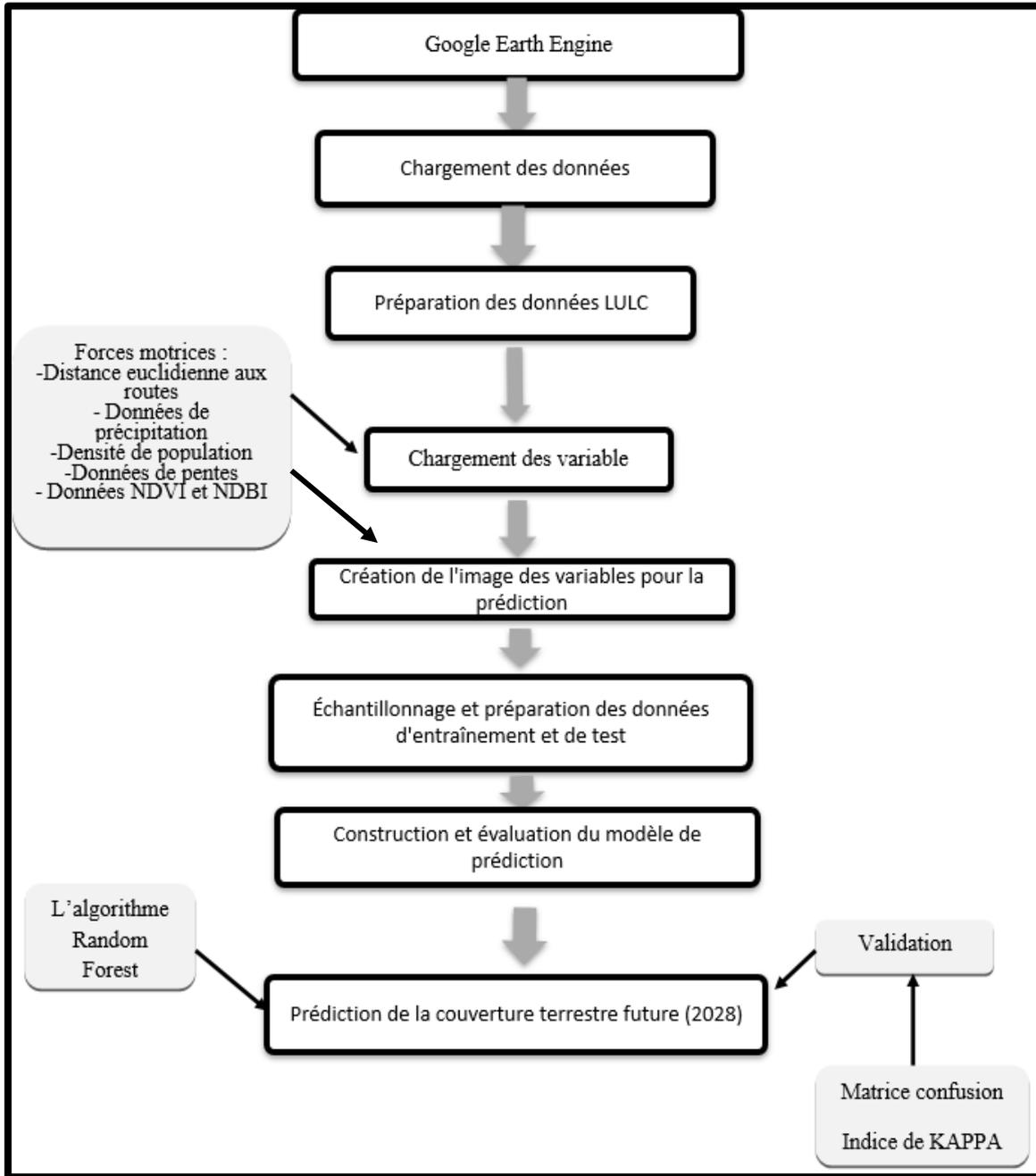


Figure 16: Organigramme de la méthodologie adoptée

3- Création des cartes de l'occupation de sol

3-1. L'utilité des images satellitaires SENTINEL02-LANDCOVER-ESRI

Les cartes d'utilisation des terres et de couverture des sols (LULC) ont été utilisées dans de nombreuses régions par des entreprises, des bureaux gouvernementaux, des municipalités et des ministères. Une classification précise des LULC à l'aide de données télédéteectées nécessite les méthodes de classification les plus avancées. Le logiciel gratuit SNAP et ArcGIS Desktop ont été utilisés pour l'analyse et le rapport. Dans cette étude, des images optiques Sentinel-2 ont été utilisées. (Cavur, 2019)

Les images Sentinel-2 LANDCOVER sont prétraitées et prêtes à être téléchargées à partir de différentes sources en ligne. Ces images sont généralement disponibles sous forme d'ensembles de données globales ou régionales, avec des classifications préétablies des types de couverture terrestre.

Pour accéder à ces images, nous pouvons utiliser des plateformes telles que le Hub de données Copernicus ou d'autres portails de données de l'Agence spatiale européenne (ESA) ou d'organisations régionales. Sur ces plateformes, nous avons la possibilité de spécifier la zone géographique et la période de temps qui nous intéressent, puis de télécharger les images classifiées Sentinel-2 LANDCOVER correspondantes.

En général, ces images sont disponibles dans des formats standardisés tels que GeoTIFF ou NetCDF, avec des métadonnées associées pour faciliter l'interprétation des données. Il est également courant de trouver des ensembles de données comprenant plusieurs bandes spectrales, ce qui permet une analyse approfondie des caractéristiques de la surface terrestre.

Tableau 14 : Caractéristiques des images satellitaires Sentinel-2 Landcover d'ESRI

Caractéristique	Description	Source
Type de données	Images satellitaires multispectrales	ESRI
Capteurs	Sentinel-2A et Sentinel-2B	ESRI
Résolution spatiale	10 mètres pour les bandes multispectrales et 20 mètres pour la bande panchromatique	ESRI
Bandes spectrales	13 bandes: B1 (Bleu), B2 (Vert), B3 (Rouge), B4 (Rouge NIR), B5 (Rouge profond), B6 (NIR), B7 (SWIR), B8 (NIR), B8A (NIR), B9 (Vapeur d'eau), B10 (Cirrus), B11 (SWIR), B12 (SWIR)	ESA (European Space Agency)
Périodicité de révision	Mises à jour mensuelles	ESRI
Format de distribution	GeoTIFF, services web ArcGIS	ESRI
Usage prévu	Cartographie des couverts terrestres, suivi des changements d'occupation des sols	ESRI
Plateforme d'accès	Plateforme ArcGIS	ESRI

3-2 Les étapes

Pour créer des cartes d'occupation des sols à partir des images classifiées Sentinel-2, effectuer un clip sous ArcMap 10.8, et classifier les données selon un gridcode, nous suivons ces étapes. Tout d'abord, nous accédons au site web de téléchargement, tel que (<https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>), et téléchargeons les images classifiées correspondant à notre zone d'intérêt (**la ville de Chlef**), pour les années **2018 et 2023**. Ensuite, nous lançons ArcMap 10.8 et ajoutons les images classifiées en allant dans le menu "File" et en sélectionnant "Add Data". Nous ajoutons également notre couche de polygone représentant la zone d'étude.

Nous utilisons ensuite l'outil "Clip" (accessible via "Geoprocessing" > "Clip") pour découper les images classifiées selon notre zone d'intérêt, en sélectionnant les images classifiées comme couche d'entrée et notre couche de la zone d'étude comme couche de découpe. Une fois le clip effectué, nous ouvrons la table attributaire de la couche découpée et vérifions que le

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

champ gridcode est présent. Si nécessaire, nous pouvons utiliser l'outil "Field Calculator" pour attribuer les valeurs appropriées au champ gridcode en fonction des classes d'occupation des sols. Enfin, nous validons visuellement les résultats pour nous assurer que le clip et la classification ont été effectués correctement, et exportons les résultats en utilisant l'outil "Data Export".

3-3 Résultats de la classification

Une fois les images Sentinel-2 Landcover d'ESRI téléchargées, deux cartes d'occupation des sols pour les années 2018 et 2023 sont obtenues. Ces cartes ont été découpées pour la ville de Chlef et cartographiées en utilisant ArcGIS. Ce processus fournit des représentations détaillées des changements dans l'occupation des sols au fil du temps.

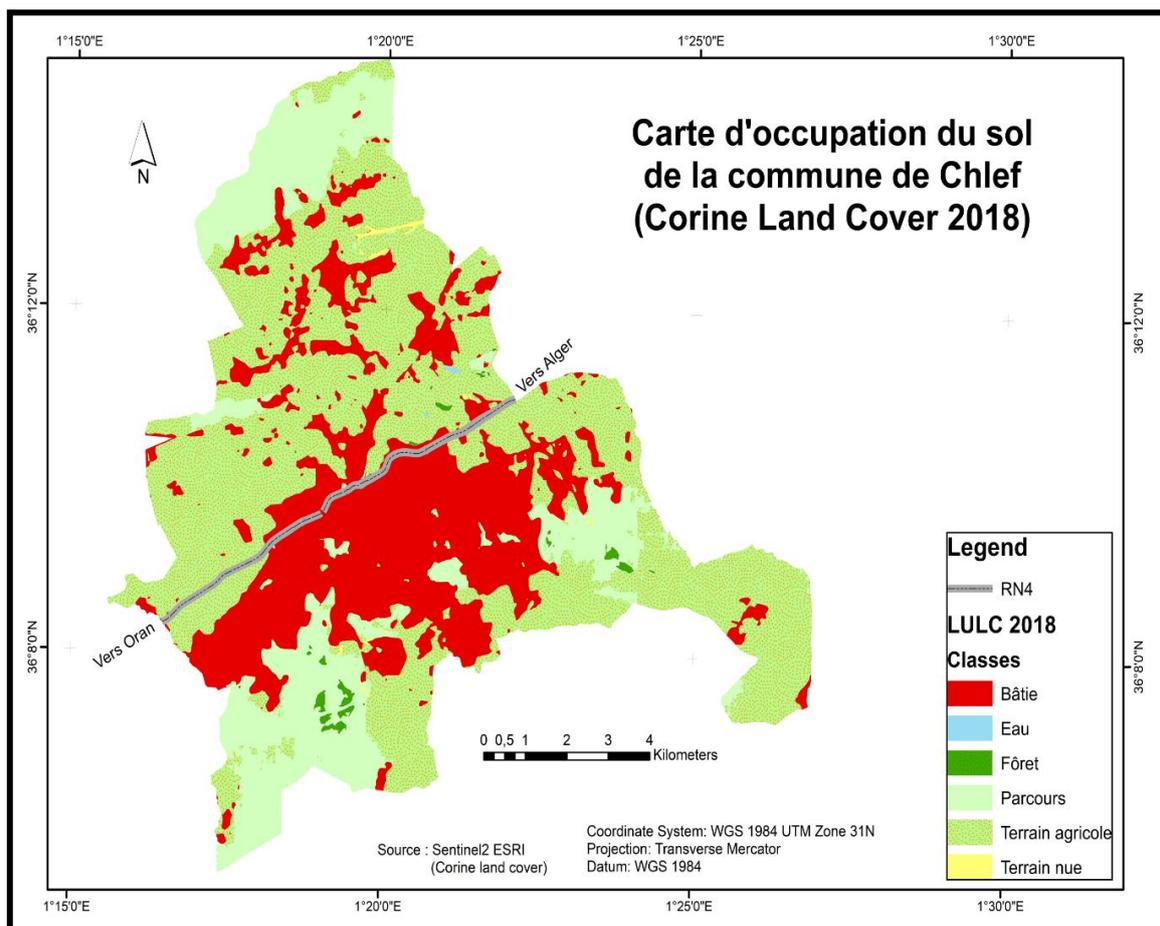


Figure 17: Carte d'occupation du sol en 2018

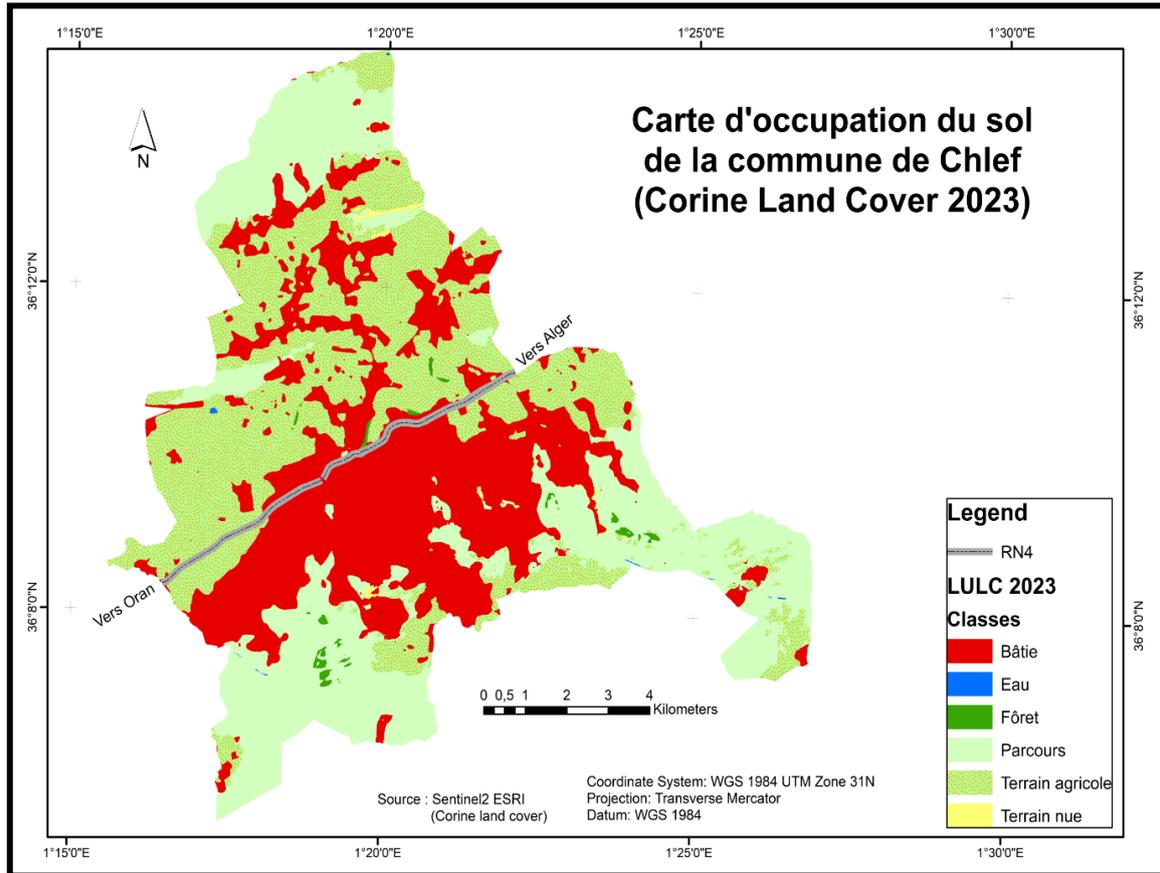


Figure 18: Carte d'occupation du sol en 2023

4- Prédiction à partir de Google Earth Engine

Dans cette étape nous utilisons l'algorithme Random Forest pour prédire l'occupation du sol 2028 en utilisant « LULC_2018 » et « LULC_2023 ».

4-1 Importation des données

Nous avons utilisé diverses sources de données pour notre analyse :

- **Données d'élévation** : Image SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA, offrant une résolution de 30 mètres. Ces données permettent de dériver la pente du terrain, essentielle pour comprendre les dynamiques d'occupation du sol sur des terrains variés.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

- **Population** : Données du projet WorldPop, qui estiment la population résidentielle. La densité de population est un facteur clé pour analyser l'urbanisation et l'expansion des zones bâties.
- **Routes et Géométrie** : Données spécifiques fournies par l'utilisateur, incluant les routes principales et la délimitation de la région d'intérêt (ROI).

4-2 Les forces motrices

Pour prédire l'occupation du sol en 2028, nous considérons plusieurs facteurs influents, parmi lesquels les précipitations, la proximité des routes, la topographie, la densité de population et les indices de végétation. Ces variables sont intégrées dans notre analyse afin de mieux comprendre les changements qui se produiront dans l'utilisation des terres.

➤ **Précipitations**

Les précipitations sont un facteur déterminant dans la croissance des plantes et la disponibilité en eau, exerçant une influence directe sur ces deux aspects.

(<https://openlandmap.org>.)

Earth Engine Snippet:

```
ee.Image("OpenLandMap/CLM/CLM_PRECIPITATION_SM2RAIN_M/v01")
```

➤ **Distance aux Routes**

La proximité des routes peut influencer le développement urbain et l'accessibilité aux ressources.

Nous appliquons une méthode qui utilise des données cartographiques des routes pour mesurer ces distances.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

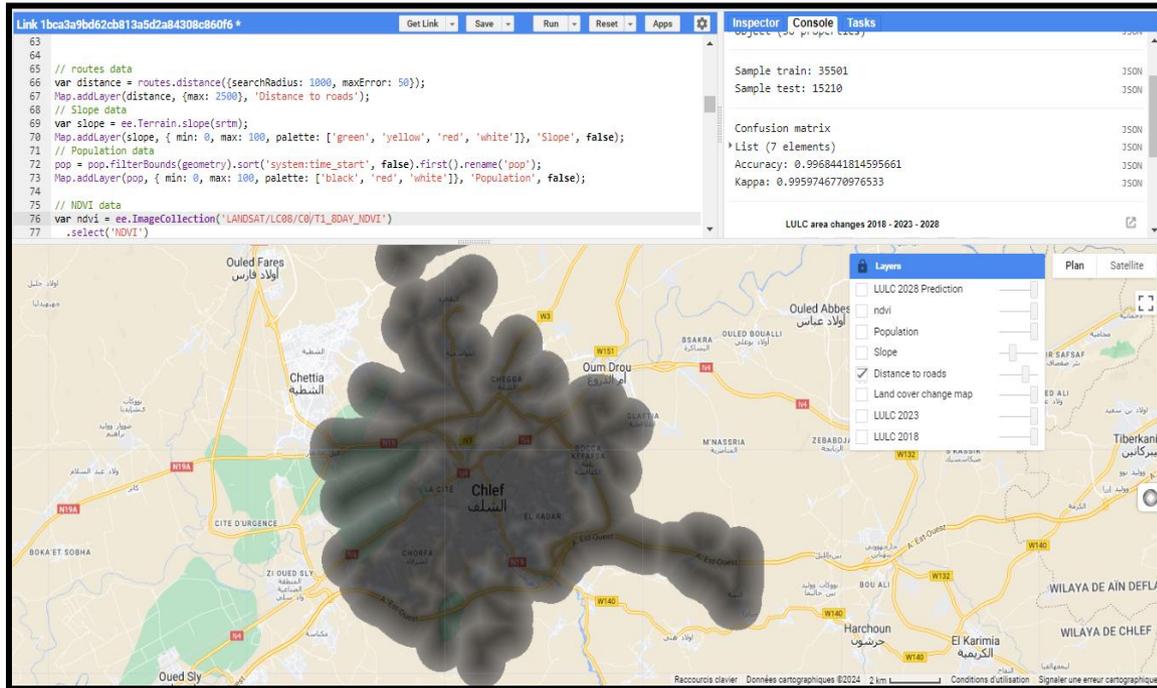


Figure 19: Distance aux routes

➤ Les pentes

La topographie du terrain joue un rôle crucial dans la répartition des activités humaines sur les terres, notamment dans les secteurs de l'agriculture et de l'urbanisation. Notre méthode repose sur l'utilisation des données SRTM pour cartographier précisément la pente du terrain

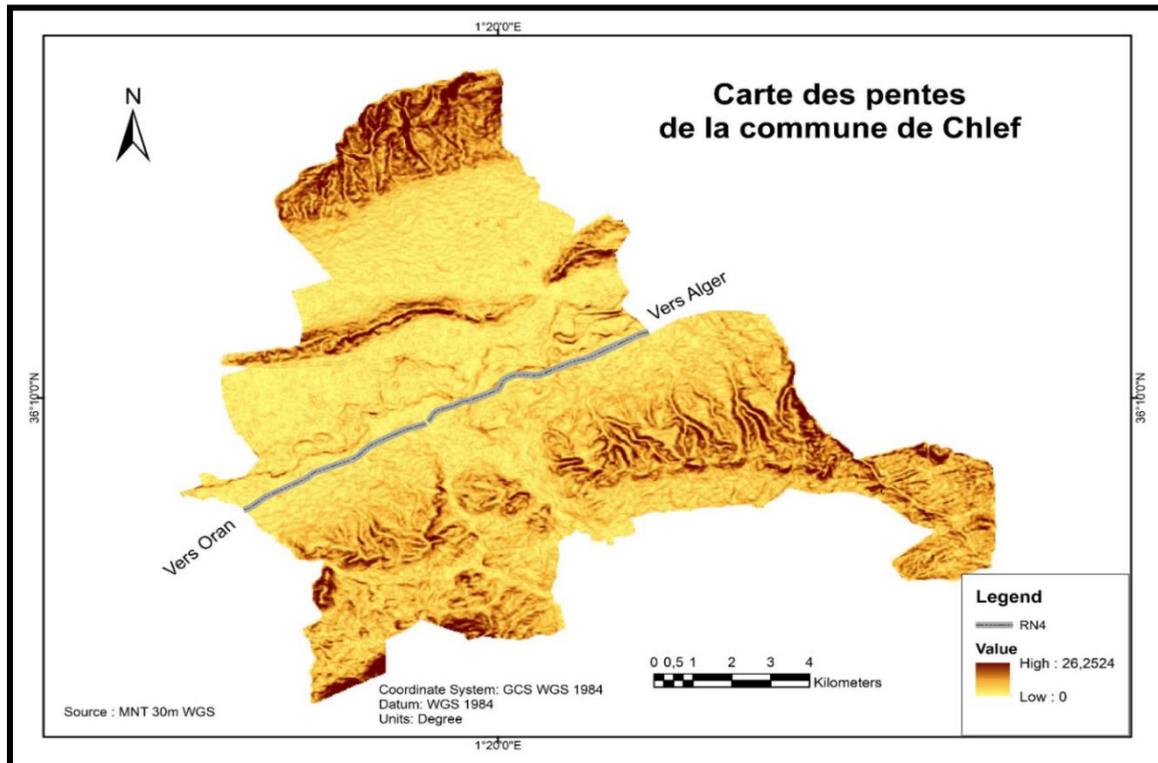


Figure 20: Carte des pentes

➤ Densité de la population

La densité de population détermine la pression exercée sur les terres pour répondre aux besoins de logement, d'agriculture et d'infrastructures. Cette variable clé influence les décisions d'aménagement du territoire et la gestion des ressources.

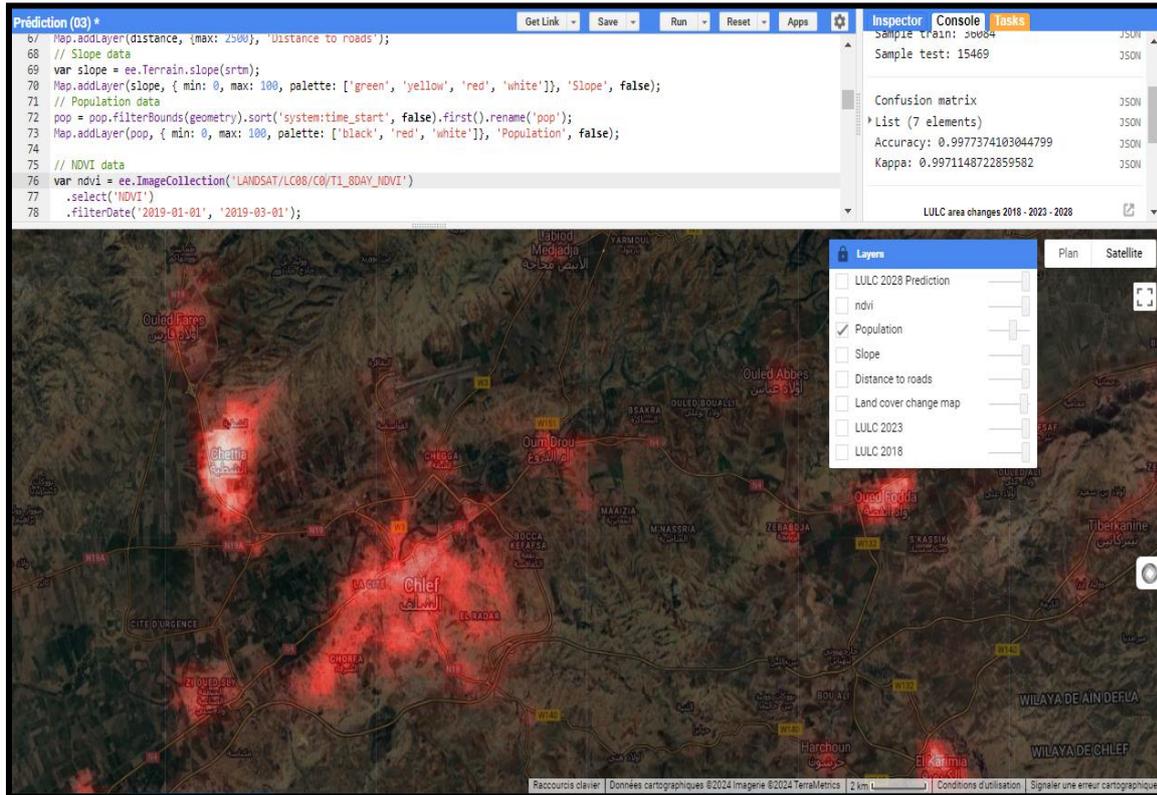


Figure 21: Densité de la population de la ville de Chlef

➤ Les indices de végétation et du bâti

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

L'NDVI est un indice utilisé pour évaluer la santé et la densité de la végétation. Il est calculé à partir des données satellites. LANDSAT/LC08/C01/T1_8DAY_NDVI fournit une image précise de la végétation pendant la période de 2023. Cet indicateur est crucial pour surveiller les changements dans les écosystèmes, notamment dans le contexte de la gestion des terres et de la biodiversité.

NDBI (Normalized Difference Built-up Index)

L’NDBI est un indice utilisé pour identifier les zones urbanisées ou bâties. Il est calculé à partir des données satellites LANDSAT/LC08/C02/T1_L2, fournissant une vue détaillée des zones construites pendant la période de 2023. Cet indicateur est essentiel pour surveiller l'expansion urbaine, la planification urbaine et la gestion des ressources dans les zones urbanisées.

4. 3. Définition des Classes d'Occupation du Sol

Pour faciliter la visualisation et l'interprétation des données, nous avons défini plusieurs classes d'occupation du sol avec des valeurs et des couleurs spécifiques : Eau, Forêt, Terrain agricole, Bâti, Terrain nu, et Parcours.

Ces classes permettent de différencier facilement les types d'occupation du sol sur les cartes.

4-4 Affichage des cartes d'occupation des sols

Les images d'occupation du sol pour les années 2018 et 2023 sont chargées et affichées sur la carte. Cela permet de visualiser les changements dans l'utilisation des terres au fil du temps, en identifiant les tendances telles que l'urbanisation, la déforestation ou l'expansion agricole.

4-5 Création et Affichage de la Carte des Changements

Une carte des changements est élaborée en comparant les classifications d'utilisation des terres entre les années 2018 et 2023. Cette représentation cartographique met en évidence les évolutions entre les diverses catégories d'occupation des sols, telles que la transformation de zones forestières en terres agricoles ou la conversion de terrains non exploités en zones urbanisées. Les différentes transitions sont codifiées par des couleurs distinctes pour faciliter

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

leur interprétation visuelle et permettre une analyse détaillée des changements survenus dans le paysage au fil du temps.

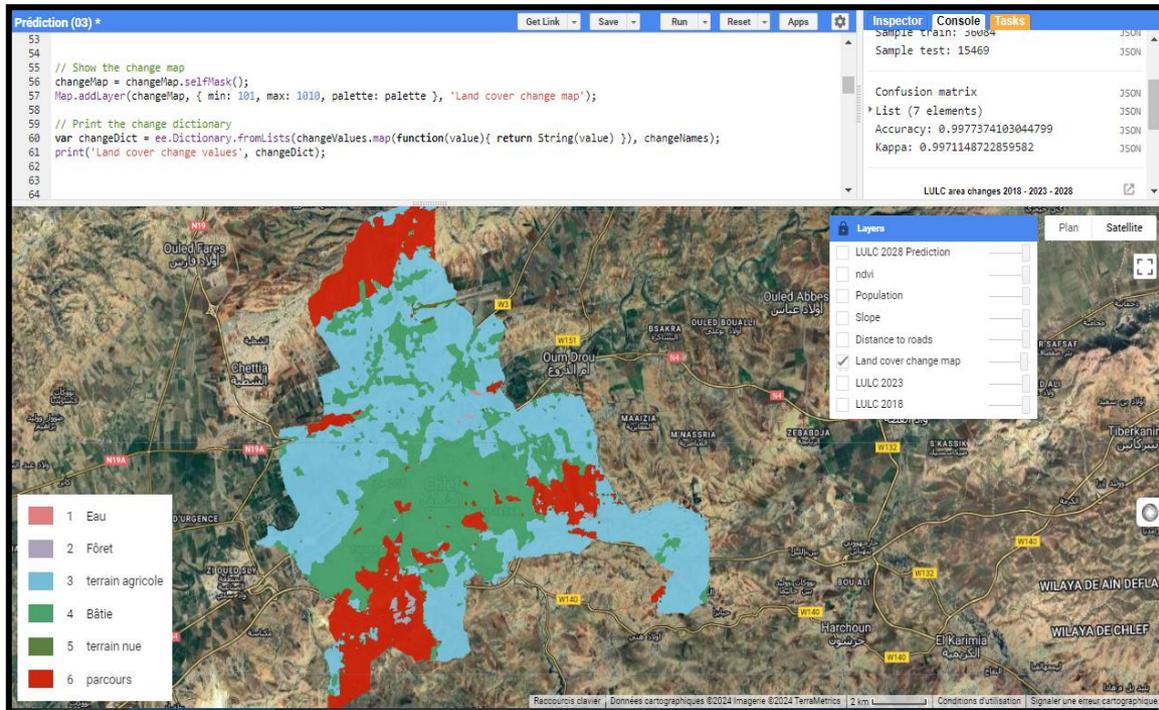


Figure 22: Carte des changements

4-6 Création des Variables pour la Prédiction

Les variables explicatives sont soigneusement préparées pour être utilisées dans la modélisation. Elles comprennent l'utilisation initiale des sols, les changements intervenus, l'élévation, la distance par rapport aux routes, la pente, la densité de population, ainsi que les indices NDVI et NDBI. Une image composite est créée pour regrouper toutes ces variables, permettant ainsi une analyse complète et cohérente des facteurs influençant les changements d'utilisation des terres.

4.7. Échantillonnage et Entraînement du Modèle

Un processus d'échantillonnage stratifié est mis en œuvre afin de constituer des ensembles de données distincts pour l'entraînement et le test. Ensuite, un modèle de forêt

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

aléatoire est entraîné en utilisant les variables explicatives pour prédire l'évolution future de l'occupation des sols.



Figure 23: Entraînement du modèle

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

4.8. La validation

L'efficacité du modèle est évaluée en utilisant une matrice de confusion, un outil qui quantifie la précision et l'indice de Kappa du modèle.

4.8.1 Matrice de confusion

La matrice de confusion est un tableau qui permet de visualiser les performances d'un modèle de classification en comparant ses prédictions avec les données de référence ou les observations réelles.

La somme des valeurs dans la matrice de confusion correspond au nombre total d'observations dans l'ensemble de données. En analysant ces valeurs, on peut évaluer la performance du modèle en termes de précision, de rappel et d'autres mesures de qualité de la classification (Ismahan, 2021).

Tableau 15: Matrice de confusion

	Eau	Forêt	Terrain Agricole	Bâti	Terrain Nue	Parcours	Total
Eau	110	1	0	0	0	1	112
Forêt	3	1573	0	1	0	2	1579
Terrain Agricole	0	2	3171	7	0	0	3180
Bâti	0	1	13	3295	2	4	3315
Terrain Nu	0	3	1	2	2584	4	2594
Parcours	0	0	1	0	0	4429	4430
Total	113	1580	3186	3305	2586	4440	15210

4.8.2. Calcul la qualité de la classification

Précision globale = (Nombre total d'échantillons/Nombre total de prédictions correctes)

Alors ; la qualité de la classification = $(15162/ 15210) *100= 99,6\%$

➤ **Pour chaque classe :**

Précision = diagonale/ totaux des colonnes

- Eau= 98,21%
- Forêt = 99,62%
- Terrain agricole = 99,71%
- Bâtie = 99,12%
- Terrain nue = 99,61%
- Parcours= 99,97%

➤ **Confusions (omissions/ commissions) :**

Pourcentage omissions = (Totale omissions/ Nombre total de prédictions correctes)

Alors : $48/15210= 0,31\%$

Pourcentage commissions = (Totale commissions/ Nombre total de prédictions correctes)

Alors : $48/15210= 0,31\%$

Indice de KAPPA

L'indice de Cohen's Kappa, souvent appelé simplement "Kappa", est une mesure de concordance inter-évaluateurs ou de fiabilité de la mesure utilisée pour évaluer l'accord entre deux évaluateurs ou juges.

Confusion matrix	JSON
► List (7 elements)	JSON
Accuracy: 0.9961190168175937	JSON
Kappa: 0.9950536444945729	JSON

Figure 24: Calcule de la précision et du KAPPA

Avec un indice de Kappa de 0,99 et une précision globale de 99,96%, il est évident que le modèle utilisé démontre une performance exceptionnelle. L'indice de Kappa, qui atteint presque la valeur maximale de 1, indique un accord quasi parfait entre les prédictions du modèle et la vérité terrain, bien au-delà de ce qui pourrait être attendu par le hasard. En parallèle, la précision globale, calculée à 99,96%, confirme que le modèle effectue des prédictions correctes dans presque toutes les instances, avec une marge d'erreur négligeable. Ces résultats conjoints suggèrent que le modèle est extrêmement fiable et précis, rendant ses prédictions quasiment infaillibles. Une telle performance est souvent indicative d'un modèle bien entraîné et d'un ensemble de données représentatif et bien équilibré, validant ainsi la robustesse et l'exactitude du processus de modélisation employé.

4-9 Prédiction de l'occupation des sols en 2028

Le modèle est appliqué aux données de 2023 pour prédire l'occupation du sol en 2028, offrant ainsi une visualisation des changements futurs potentiels sur une carte. En anticipant les tendances d'urbanisation et les modifications de l'occupation des terres, cette approche permet de disposer d'outils précieux pour la planification urbaine et environnementale. Les décideurs peuvent ainsi identifier les zones susceptibles de connaître une urbanisation rapide, évaluer les impacts environnementaux potentiels et élaborer des stratégies pour gérer de manière proactive la croissance urbaine. En outre, ces prédictions facilitent l'allocation des ressources, la

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

préservation des espaces verts et la planification des infrastructures nécessaires pour répondre aux besoins futurs de la population.

En somme, cette démarche analytique et prospective constitue un atout majeur pour le développement durable et la gestion équilibrée du territoire.

4-10 Exportation des Résultats

Les résultats de la prédiction d'occupation du sol pour 2028 sont exportés en format GeoTIFF pour une analyse ultérieure. Cela permet de conserver une copie des prédictions pour des usages futurs, tels que la planification urbaine et la gestion environnementale.

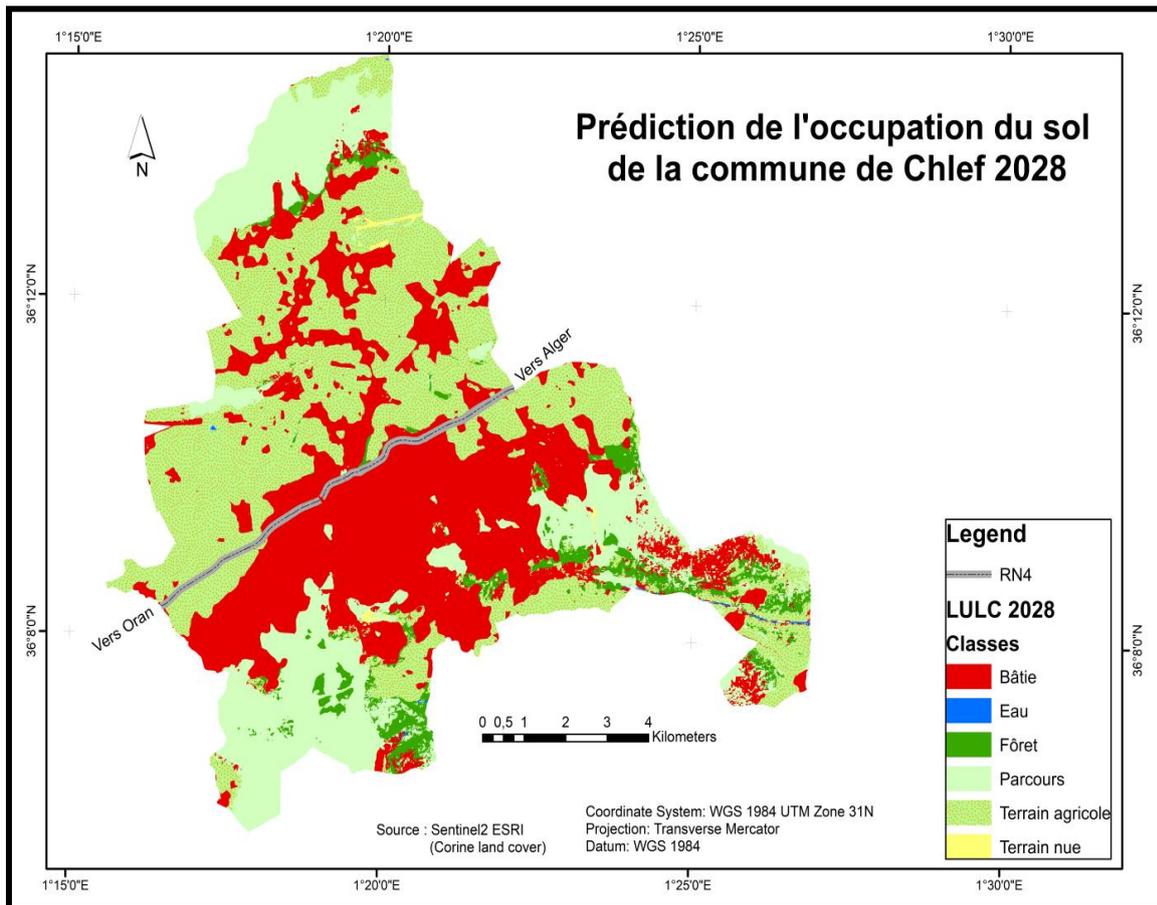


Figure 25: Prédiction de l'occupation du sol 2028

5- Discussions des Résultats

5-1 Résultats de classification

L'intégration des images satellitaires Sentinel-2 (2018 et 2023) déjà classifiées avec ArcGIS permet d'obtenir des informations précises et détaillées pour la prévision de l'occupation du sol. Ces images classifiées fournissent une représentation actuelle de l'utilisation des terres, comprenant des catégories telles que les zones urbaines, agricoles, forestières et aquatiques. En utilisant ArcGIS, ces données sont analysées pour identifier les tendances et les schémas d'évolution de l'occupation du sol. La visualisation des résultats sous forme de cartes permet de prévoir les changements futurs potentiels, offrant ainsi un outil précieux pour la planification urbaine et environnementale. Les résultats exportés en format GeoTIFF permettent de conserver une copie géoréférencée des prédictions, facilitant les analyses ultérieures et la comparaison avec les données futures. Cette approche permet aux urbanistes et aux gestionnaires environnementaux de prendre des décisions informées, de planifier les infrastructures, de gérer les ressources naturelles et de développer des politiques de conservation efficaces. En anticipant les tendances d'urbanisation et les changements d'occupation du sol, il est possible de mieux répondre aux défis liés à la croissance urbaine et à la protection de l'environnement.

5-2 Occupation du sol 2018

Dans l'analyse de la carte d'occupation du sol de 2018, plusieurs classes ont été définies et leur répartition spécifique dans la zone d'étude a été détaillée.

Classe du bâtie (en rouge)

Cette classe représente 25% des zones construites, comprenant les habitations, les infrastructures industrielles, commerciales et autres types de bâtiments. Sur la carte, on observe une concentration importante de zones bâties le long de la route principale RN4 et dans la partie

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

centrale de la commune, indiquant une urbanisation plus dense dans ces secteurs. Le centre-ville de Chlef comprend des bâtiments administratifs, des écoles, des hôpitaux, et des zones commerciales, ainsi que les quartiers résidentiels le long de la RN4.

Classe des surfaces d'eau (en bleu)

Représentant 1% de la superficie, cette classe couvre les plans d'eau, y compris les rivières, les lacs et les réservoirs. Bien que cette catégorie soit peu présente sur la carte, elle inclut des petits cours d'eau ou des réservoirs dispersés. La rivière Chélif, un cours d'eau majeur traversant la commune, et des petits réservoirs utilisés pour l'irrigation agricole en sont des exemples typiques.

Classe des forêts (en vert foncé)

Représentant 5% de la superficie, cette classe comprend les zones boisées, qu'elles soient des forêts naturelles ou des plantations forestières. Les taches vert foncé sur la carte montrent des zones forestières principalement localisées dans le sud et l'est de la commune, contribuant à la couverture forestière locale. Les forêts situées dans les zones montagneuses au sud et à l'est sont dominées par des espèces d'arbres comme les chênes et les pins.

Classe des parcours (en vert clair avec des pointillés)

Représentant 20% de la superficie, les parcours sont des zones de pâturage souvent utilisées pour l'élevage. Sur la carte, ces zones sont largement distribuées, notamment dans le nord de la commune, reflétant une activité agricole pastorale étendue. Les terres de pâturage utilisées pour l'élevage de bovins et de moutons dans le nord de la commune, où les éleveurs exploitent des zones de végétation clairsemée, illustrent bien cette classe.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

Classe des terrains agricoles (en orange)

Représentant 45% de la superficie, cette classe désigne les terres cultivées pour diverses cultures agricoles. La carte montre une vaste couverture de terrains agricoles, particulièrement dans les parties sud et nord-ouest de la commune, indiquant l'importance de l'agriculture dans ces zones. Les champs de blé et d'orge dans les parties sud et nord-ouest, ainsi que les vergers d'oliviers et de figuiers, sont des cultures typiques de la région.

Classe Terrain nu (en jaune)

Représentant 4% de la superficie, les terrains nus sont des zones sans végétation significative, peut-être des terrains en friche ou des sols dénudés. Ces zones, bien que peu nombreuses, apparaissent de manière sporadique sur la carte, probablement en transition vers d'autres utilisations du sol ou en attente de réaménagement. Les carrières abandonnées ou les zones industrielles non utilisées, ainsi que des terrains en attente de développement pour de futurs projets résidentiels ou commerciaux, entrent dans cette catégorie.

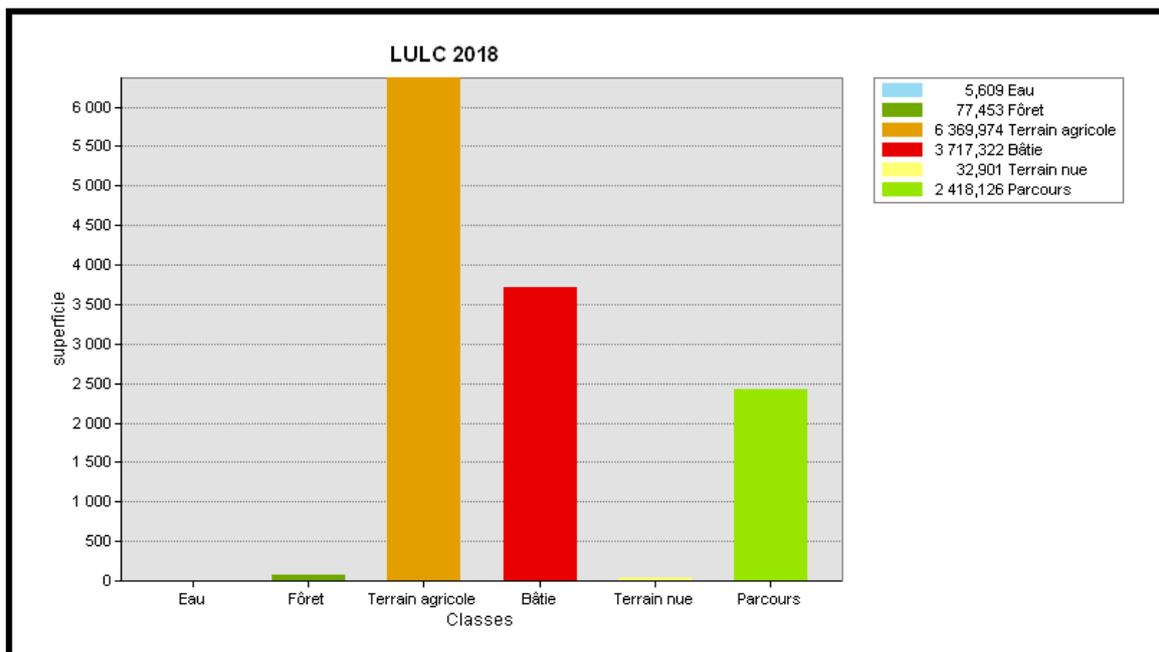


Figure 26 : Répartition d'occupation du sol 2018

5.3. Occupation du sol 2023

L'analyse de la carte d'occupation du sol de 2023 révèle des changements significatifs dans l'utilisation des terres par rapport à celle de 2018. Voici les observations relevées :

Classe du bâti : En 2023, les zones bâties représentent 30% de la superficie totale, marquant une augmentation de 5% par rapport à 2018. Cette expansion est particulièrement visible le long de la RN4 et dans les secteurs centraux, soulignant une augmentation démographique et un développement des infrastructures.

Classe des surfaces d'eau : Les plans d'eau couvrent 0,8% de la superficie en 2023, avec une légère diminution de 0,2% par rapport à 2018. Cette baisse modeste pourrait être attribuée à des variations naturelles ou à une gestion différente des ressources hydriques.

Classe des forêts : Les forêts représentent 4,75% de la superficie en 2023, enregistrant une réduction de 0,75% par rapport à 2018. Cette diminution est due à l'extension urbaine et agricole, entraînant une perte de biodiversité et de couvert forestier.

Classe des parcours : En 2023, les parcours couvrent 18% de la superficie, soit une baisse de 2% par rapport à 2018. Cette réduction est le résultat de leur conversion en terres bâties ou agricoles, réduisant ainsi les espaces de pâturage disponibles.

Classe des terrains agricoles : Les terres agricoles couvrent 47,25% de la superficie en 2023, marquant une augmentation de 2,25% par rapport à 2018. Cette hausse reflète une intensification des activités agricoles et l'extension des surfaces cultivées pour répondre aux besoins croissants.

Classe des terrains Nus : Les terrains nus représentent 4,2% de la superficie en 2023, avec une augmentation de 0,2% par rapport à 2018. Cette progression indique une expansion

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

des zones en transition ou en attente de développement, ainsi que des terrains affectés par l'érosion ou l'abandon industriel.

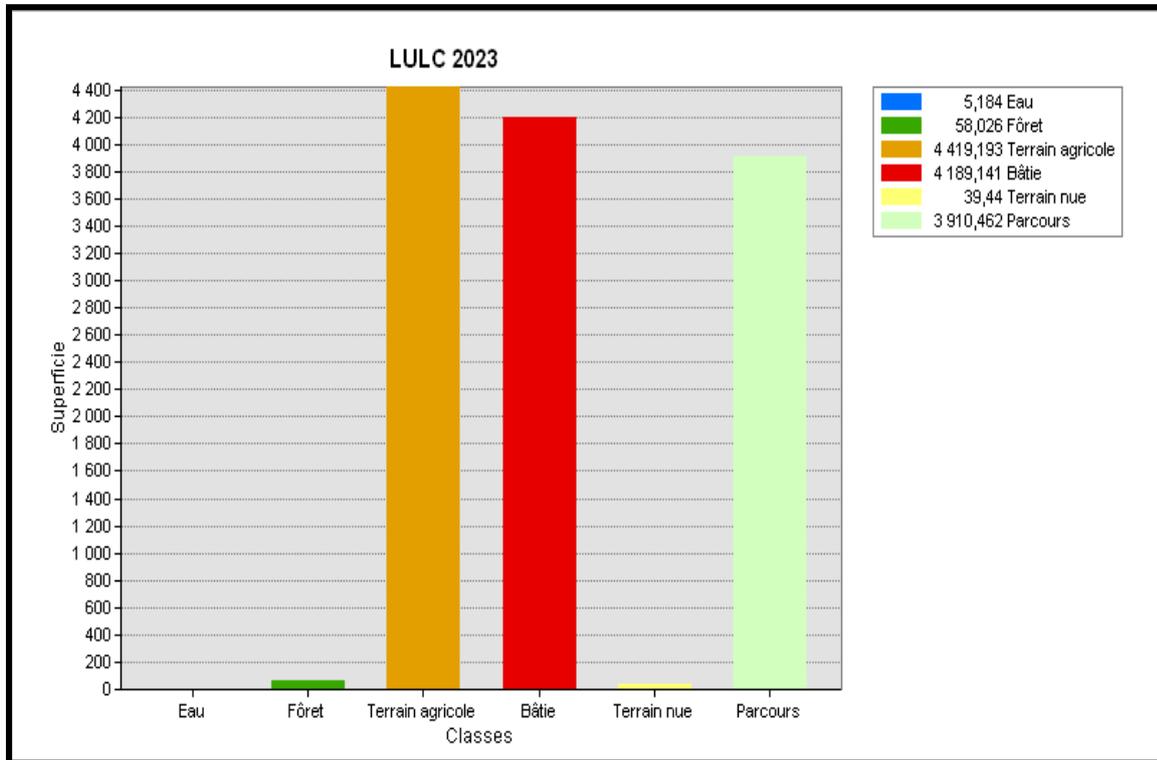


Figure 27: Répartition d'occupation du sol 2023

5.4. Analyse des changements

Les cartes d'occupation du sol de la zone d'étude pour les années 2018 et 2023 ont été utilisées comme référence pour évaluer les changements dans l'occupation du sol. Les observations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

Tableau 16: Analyse des changements de la zone d'étude

Classe d'occupation du sol	Superficie en 2018 (ha)	Superficie en 2023 (ha)	Variation absolue (ha)	Variation relative (%)
Zones Bâties	3717.322	4189.141	+471.819	+12.7%
Zones d'Eau	5.609	5.184	-0.425	-7.6%
Forêts	77.453	58.026	-19.427	-25.1%
Parcours	2418.126	3910.462	+1492.336	+61.7%
Terres Agricoles	6369.974	4419.193	-1950.781	-30.6%
Terrains Nus	32.901	39.440	+6.539	+19.9%

Les données du tableau fournissent un aperçu des changements notables dans l'occupation du sol à Chlef entre 2018 et 2023.

Premièrement, l'expansion urbaine, illustrée par une augmentation de 471.819 hectares dans les zones bâties, est le résultat direct de la croissance démographique et de la demande croissante de logements et d'infrastructures dans la ville de Chlef. Des quartiers résidentiels tels que **quartier des Frères Saadi** et **Hai Nasr** sont des exemples concrets de cette expansion, où des terres agricoles ont été converties en zones résidentielles et commerciales pour répondre aux besoins croissants de la population.

Cependant, cette urbanisation s'accompagne d'une diminution de la superficie des zones d'eau, réduite de 0,425 hectares. Par exemple, la construction du **barrage de SIDI YACOUB** dans les environs de Chlef a entraîné la transformation de zones humides en réservoirs d'eau, modifiant ainsi le paysage environnant et affectant les écosystèmes aquatiques locaux.

La déforestation, représentée par une diminution de 19,427 hectares de forêts, est une tendance préoccupante à Chlef. L'expansion des zones urbaines et agricoles entraîne la perte de couverture forestière, menaçant la biodiversité et accentuant les risques d'érosion et d'inondation. **La forêt d'Ouled Fareh**, située à proximité de la ville, a subi une réduction significative de sa couverture forestière au fil des années.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

En contraste, les parcours connaissent une augmentation remarquable de 1492.336 hectares. Cette augmentation est souvent due à la reconversion de terres agricoles abandonnées en pâturages pour le bétail. Un exemple serait la restauration de terres agricoles épuisées en pâturages dans les régions périurbaines de Chlef.

La diminution significative de 1950.781 hectares de terres agricoles indique une pression croissante sur ces zones à Chlef. Des terres autrefois cultivées sont converties en zones résidentielles ou commerciales, compromettant la sécurité alimentaire et l'agriculture locale. Par exemple, la conversion de terres agricoles fertiles en lotissements résidentiels dans la périphérie de la ville.

Enfin, l'augmentation de 6,539 hectares de terrains nus met en évidence les zones en transition ou en attente de développement à Chlef. Ces zones peuvent être le résultat de l'abandon des terres agricoles ou industrielles. Un exemple serait les anciens sites industriels abandonnés dans la ville, qui sont maintenant des terrains en attente de réaménagement pour de nouveaux usages.

Ces observations mettent en lumière les tendances d'urbanisation, de déforestation et de transformation des paysages agricoles à Chlef

6- Prédiction

Pour prévoir l'évolution de l'occupation du sol de la commune de Chlef en 2028, nous avons utilisé l'algorithme Random Forest, réputé pour sa précision en classification, et la plateforme Google Earth Engine (GEE). En combinant les données historiques de 2018 et 2023 avec la puissance de calcul et les vastes archives de données satellitaires de GEE, nous avons pu développer un modèle prédictif robuste. Cette approche nous permet d'anticiper les

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

changements futurs et de fournir des informations essentielles pour la planification urbaine et la gestion des ressources.

6-1 Prédiction de l'occupation du sol 2028

L'utilisation de Google Earth Engine (GEE) combinée à l'algorithme Random Forest (RF) et à l'analyse des forces motrices a permis de préparer la carte de prédiction de l'occupation du sol pour 2028. Ce modèle a créé une représentation spatiale détaillée de l'occupation future de la zone d'étude, offrant des informations précieuses pour la planification urbaine et la gestion des ressources.

La carte d'occupation du sol de la commune de Chlef pour l'année 2028, réalisée à partir des données Sentinel2 ESRI et du modèle Corine Land Cover, offre une prédiction détaillée des différentes classes d'utilisation des terres. En utilisant l'algorithme Random Forest combiné avec la plateforme Google Earth Engine, cette carte anticipe les évolutions futures de l'occupation du sol dans la région.

Les zones bâties occupent une part significative de la carte, particulièrement le long de la route nationale RN4 et dans les zones centrales de la commune. Cette concentration suggère une urbanisation linéaire, influencée par les infrastructures de transport. L'expansion urbaine indique une croissance démographique continue et un développement infrastructurel accru. La densité des zones bâties le long des principaux axes routiers reflète également une réponse aux besoins résidentiels et commerciaux croissants.

Les zones d'eau restent limitées en superficie sur la carte. Cette faible représentation peut indiquer une gestion stable des ressources en eau, mais elle souligne aussi la nécessité de surveiller l'impact de l'urbanisation sur ces ressources. Bien que restreintes, ces zones sont

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

cruciales pour l'écosystème local et nécessitent une attention particulière pour éviter leur dégradation.

Les forêts sont principalement situées dans les zones périphériques de la commune. Leur présence souligne l'importance de conserver des espaces naturels face à l'expansion urbaine. Cependant, leur localisation périphérique les rend vulnérables à la déforestation, que ce soit pour l'agriculture ou l'urbanisation future. La préservation de ces zones est essentielle pour maintenir la biodiversité et lutter contre les changements climatiques.

Les parcours couvrent une portion significative de la superficie. Utilisés souvent pour le pâturage, ils indiquent une activité pastorale encore présente. La conversion de ces parcours en terres agricoles ou en zones bâties pourrait affecter les pratiques traditionnelles et la biodiversité locale. Il est donc important de gérer ces transitions de manière à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et les moyens de subsistance des communautés locales.

Les terres agricoles couvrent une grande partie de la carte. Leur importance reflète une activité agricole intense, vitale pour l'économie locale. Cependant, l'expansion urbaine exercera une pression croissante sur ces terres, nécessitant des politiques de préservation pour garantir la sécurité alimentaire et la viabilité économique à long terme. La gestion durable de ces terres est cruciale pour éviter leur dégradation et pour soutenir l'agriculture locale.

Les terrains nus sont dispersés à travers la commune. Ils peuvent représenter des zones en transition, des friches industrielles ou des terres en attente de développement. Leur présence indique des opportunités de développement futur, mais aussi des défis liés à la gestion de l'érosion et de la dégradation des sols. Une planification stratégique est nécessaire pour convertir ces terrains en espaces productifs ou récréatifs tout en minimisant les impacts environnementaux.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

La carte prédictive de l'occupation du sol de Chlef pour 2028 offre une vision détaillée des dynamiques spatiales futures. L'urbanisation croissante, visible dans l'expansion des zones bâties, met en évidence la nécessité de planifier de manière durable pour équilibrer le développement urbain avec la conservation des ressources naturelles et agricoles. La préservation des forêts et la gestion des terrains nus seront cruciales pour maintenir la biodiversité et la santé des écosystèmes locaux. En anticipant ces changements, les décideurs peuvent mettre en place des stratégies efficaces pour un développement harmonieux et durable de la commune de Chlef.

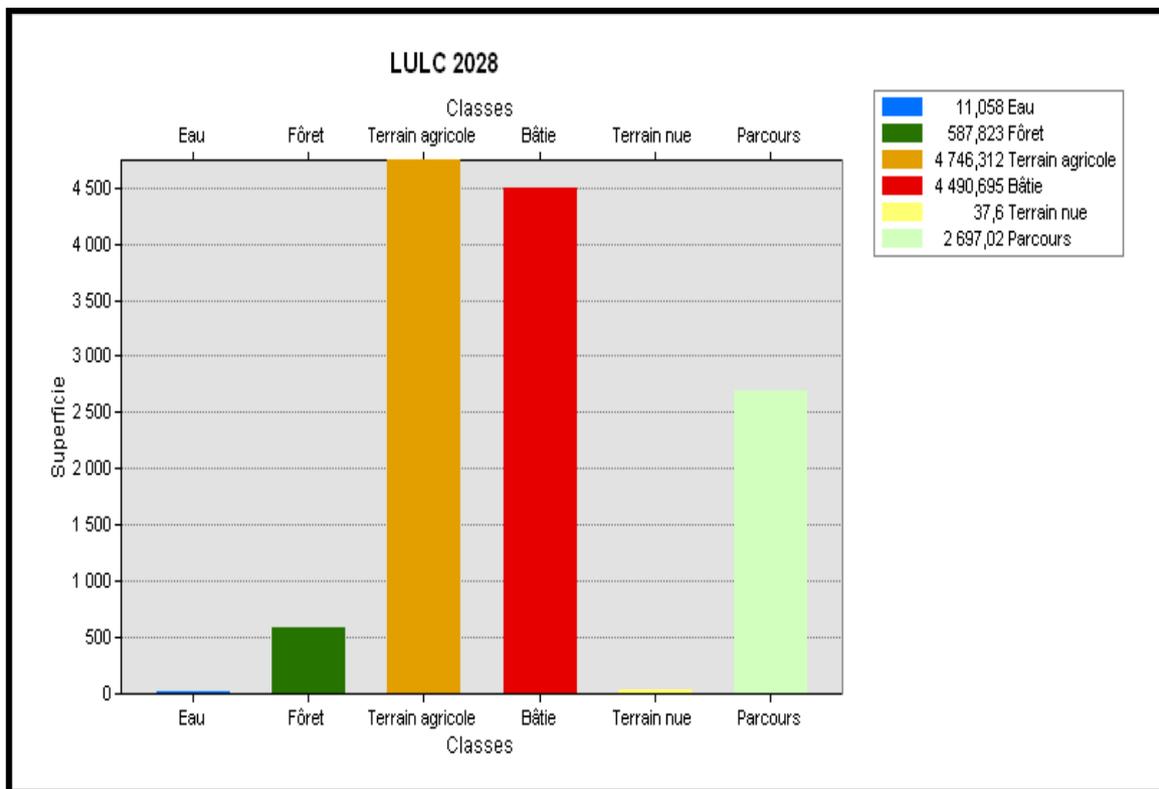


Figure 28: Prédiction de l'occupation du sol 2028 'Répartition'

6.2. Analyse des changements

La carte d'occupation du sol en 2023 et la carte de prédiction en 2028 de la zone d'étude ont été utilisées comme référence pour évaluer les changements dans l'occupation du sol. Les observations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

Tableau 17: Analyse des changements de la zone d'étude

Classe d'occupation du sol	S en 2023 (ha)	% en 2023	S en 2028 (ha)	% en 2028	Changement (ha)	Changement (%)
Eau	5.184	0.04	11.058	0.09	+5.874	+0.05
Forêt	58.026	0.46	587.823	4.68	+529.797	+4.22
Terrain agricole	4,419.193	35.00	4,746.312	37.76	+327.119	+2.76
Bâti	4,189.141	33.18	4,490.595	35.73	+301.454	+2.55
Terrain nu	39.44	0.31	37.6	0.30	-1.84	-0.01
Parcours	3,910.462	30.97	2,697.02	21.45	-1,213.442	-9.52

L'analyse comparative de l'occupation du sol pour la commune de Chlef entre 2023 et 2028 révèle des dynamiques importantes dans l'utilisation des terres.

En 2023, les zones d'eau couvraient 5,184 hectares, représentant 0.04 % de la surface totale. En 2028, cette superficie a augmenté à 11,058 hectares, représentant 0.09 %. L'augmentation de 5,874 hectares, pourrait être attribuée à une meilleure gestion des ressources en eau, à la création de nouvelles infrastructures hydrauliques, ou à des modifications des précipitations et de la gestion des eaux pluviales. Bien que modeste en termes de pourcentage, cette augmentation indique un effort pour améliorer l'approvisionnement en eau et la gestion environnementale.

Les surfaces forestières ont connu une augmentation spectaculaire, passant de 58,026 hectares en 2023 (0.46 %) à 587,823 hectares en 2028 (4.68 %). Cette croissance de 529,797 hectares, pourrait être le résultat de politiques agressives de reforestation et de conservation mises en place pour lutter contre le changement climatique, améliorer la biodiversité et prévenir l'érosion des sols. Une telle expansion souligne l'importance accordée à la préservation et à l'extension des forêts, essentielles pour la durabilité environnementale à long terme.

Les terres agricoles ont légèrement augmenté, passant de 4,419.193 hectares en 2023 (35.00 %) à 4,746.312 hectares en 2028 (37.76 %), soit une augmentation de 327.119 hectares

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

(7.4 %). Cette tendance pourrait refléter une réponse à la demande croissante de production alimentaire due à l'augmentation de la population, ainsi que des améliorations dans les pratiques agricoles, telles que l'intensification de l'agriculture ou une utilisation plus efficace des terres. La gestion durable de ces terres sera essentielle pour éviter la dégradation des sols et pour soutenir la sécurité alimentaire locale.

Les zones bâties ont également augmenté, passant de 4,189.141 hectares en 2023 (33.18 %) à 4,490.595 hectares en 2028 (35.73 %), soit une augmentation de 301.454 hectares. Cette croissance reflète une expansion urbaine continue due à l'augmentation de la population, au développement économique et à l'amélioration des infrastructures. L'expansion des zones bâties nécessite une planification urbaine stratégique pour éviter les problèmes de surpopulation, de congestion et de dégradation environnementale. Il est crucial d'intégrer des espaces verts et des infrastructures durables pour maintenir la qualité de vie.

Les terrains nus ont légèrement diminué, passant de 39.44 hectares en 2023 (0.31 %) à 37.6 hectares en 2028 (0.30 %), soit une diminution de 1.84 hectares. Cette légère diminution indique une stabilisation ou une conversion de ces terres en d'autres types d'utilisation. Les terrains nus peuvent représenter des zones en transition ou en attente de développement. Leur légère diminution suggère une gestion proactive pour les convertir en espaces productifs ou récréatifs, minimisant ainsi les impacts environnementaux.

Les parcours ont connu une réduction significative, passant de 3,910.462 hectares en 2023 (30.97 %) à 2,697.02 hectares en 2028 (21.45 %), soit une diminution de 1,213.442 hectares. Cette réduction pourrait indiquer une conversion de ces terres en terres agricoles ou zones bâties. Les parcours, souvent utilisés pour le pâturage, sont essentiels pour les pratiques pastorales et la biodiversité locale. La diminution de ces zones peut avoir des implications sur les moyens de subsistance des communautés locales et la conservation de la biodiversité. Il est

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

crucial de gérer cette transition de manière à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et les pratiques traditionnelles.

L'analyse des changements d'occupation du sol entre 2023 et 2028 pour la commune de Chlef montre des tendances marquées, notamment une augmentation significative des zones forestières et des zones bâties, ainsi qu'une diminution notable des parcours. Ces changements soulignent l'importance de la planification urbaine et environnementale pour assurer un développement durable. Les décideurs doivent équilibrer la croissance urbaine avec la conservation des ressources naturelles et agricoles pour maintenir la biodiversité, la sécurité alimentaire et la qualité de vie dans la région de Chlef.

7- Echanges et suggestions

Dans cette partie, nous récapitulerons les informations et analyses antérieures pour élaborer des solutions et recommandations concrètes en réponse à notre problématique initiale. Nous examinerons les résultats de notre étude, analyserons leur importance et discuterons des implications pratiques pour la prédiction de l'expansion urbaine à la ville de chlef.

7-1 Echanges

En combinat toutes les données essentielles issues des analyses précédentes, voici le graphique organisationnel résultant :

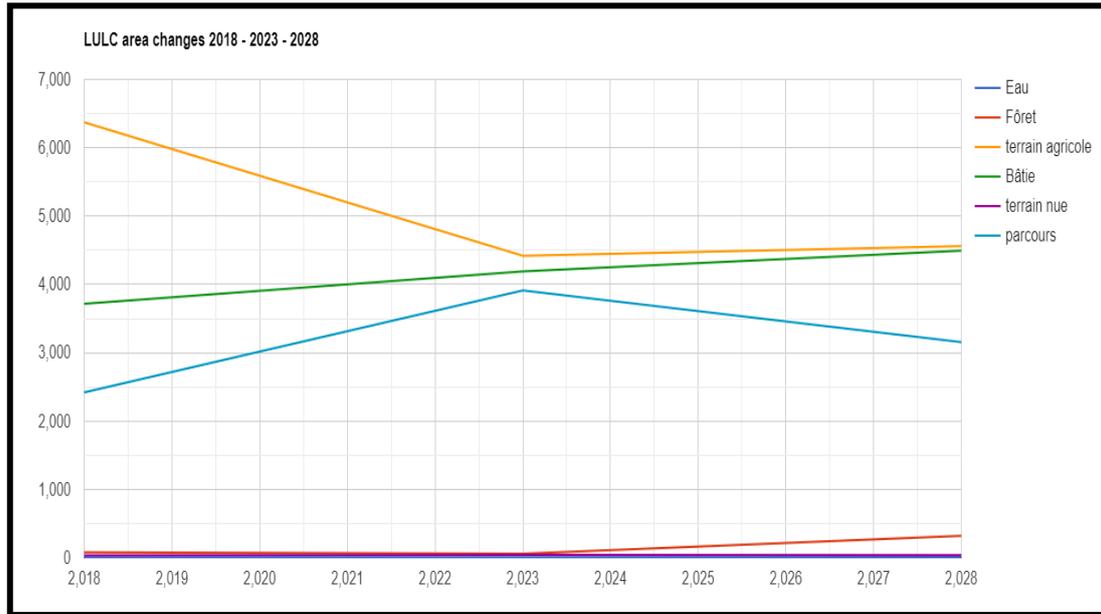


Figure 29: Organigramme d'évolution spatiotemporelle d'occupation du sol

L'analyse des changements d'occupation du sol dans la commune de Chlef de 2018 à 2028 révèle des tendances marquantes qui nécessitent une attention particulière. Les zones d'eau ont considérablement augmenté, passant de valeurs négligeables en 2018 à des surfaces plus significatives en 2028. Cette tendance peut être attribuée à des améliorations dans les infrastructures hydrauliques et une gestion plus efficace des ressources en eau. Ces efforts sont probablement motivés par la nécessité de sécuriser l'approvisionnement en eau et de renforcer la résilience climatique de la région.

Les surfaces forestières ont initialement diminué entre 2018 et 2023, avant de se stabiliser par la suite. Cette baisse initiale pourrait résulter de la déforestation due à l'urbanisation ou à l'expansion agricole. Toutefois, la stabilisation observée après 2023 suggère que des politiques de conservation et de reforestation ont été mises en œuvre pour contrer la perte de forêts. Il est essentiel de maintenir ces efforts pour protéger la biodiversité et lutter contre le changement climatique.

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

Les terres agricoles ont montré une croissance continue de 2018 à 2028. Cette augmentation reflète probablement la réponse à la demande croissante de production alimentaire en raison de l'augmentation de la population. L'adoption de pratiques agricoles plus efficaces et durables a également pu contribuer à cette tendance positive. La gestion durable de ces terres sera cruciale pour éviter la dégradation des sols et garantir la sécurité alimentaire.

Les zones bâties ont augmenté régulièrement au cours de la période, avec une forte croissance entre 2018 et 2023, suivie d'une expansion plus modérée par la suite. Cette urbanisation continue est souvent liée à l'accroissement de la population et au développement économique. Il est impératif de mettre en place une planification urbaine stratégique pour gérer cette expansion de manière durable, en intégrant des infrastructures écologiques et en minimisant les impacts environnementaux négatifs.

Les terrains nus ont légèrement diminué, indiquant une conversion progressive de ces zones en terres plus productives ou développées. Cette réduction peut refléter une gestion proactive visant à maximiser l'utilisation des terres et à minimiser les zones non utilisées ou dégradées. Transformer ces terrains en espaces agricoles, bâtis ou récréatifs peut contribuer à un développement plus équilibré.

Enfin, les parcours ont subi une diminution significative entre 2018 et 2023, suivie d'une stabilisation jusqu'en 2028. Cette réduction peut être due à leur conversion en terres agricoles ou zones bâties. Les parcours, essentiels pour les pratiques pastorales et la biodiversité locale, doivent être protégés pour préserver les moyens de subsistance des communautés locales et la diversité écologique.

7-2 Suggestions

Face aux évolutions rapides de l'occupation des sols dans la commune de Chlef entre 2018 et 2028, il est impératif de mettre en place des actions concrètes et ciblées pour favoriser un développement harmonieux. Les tendances observées, telles que l'augmentation des surfaces bâties, la diminution des parcours et la stabilisation des zones forestières, requièrent une gestion proactive et intégrée. Les recommandations suivantes visent à répondre à ces défis de manière cohérente et durable, en tenant compte des besoins écologiques, économiques et sociaux de la région.

- Pour renforcer la gestion des ressources en eau, il est crucial de construire et moderniser les réservoirs, barrages et systèmes de distribution. Mettre en œuvre des programmes de gestion intégrée des ressources en eau, incluant la collecte des eaux de pluie et la réutilisation des eaux usées traitées, contribuera à une utilisation plus efficace de cette ressource précieuse. De plus, installer des systèmes de surveillance pour détecter les fuites et améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau permettra de mieux gérer les ressources disponibles.

- Soutenir les initiatives de reforestation est essentiel pour la conservation de la biodiversité et la lutte contre le changement climatique. Il est recommandé de lancer des campagnes de plantation d'arbres indigènes en collaboration avec les écoles, les ONG et les communautés locales. De plus, développer des zones protégées et des corridors écologiques contribuera à préserver les habitats forestiers. Offrir des subventions et des incitations fiscales aux agriculteurs et propriétaires fonciers qui participent à des programmes de reforestation encouragera également ces efforts.

- Promouvoir l'agriculture durable nécessite l'adoption de pratiques telles que l'agriculture biologique, la rotation des cultures et l'agroforesterie. Fournir des formations aux

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

agriculteurs sur les techniques agricoles durables et l'utilisation de technologies modernes améliorera leur efficacité. Faciliter l'accès aux crédits et aux subventions pour les agriculteurs investissant dans des pratiques durables encouragera également cette transition vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement.

- Pour une planification urbaine stratégique, il est essentiel de développer des plans de zonage qui intègrent des espaces verts, des zones résidentielles, commerciales et industrielles de manière équilibrée. Construire des infrastructures écologiques telles que des toits verts, des parcs urbains et des systèmes de gestion des eaux pluviales contribuera à un environnement urbain plus durable. Promouvoir le développement de réseaux de transport public efficaces et des infrastructures pour les modes de transport non motorisés, comme les pistes cyclables, réduira l'empreinte écologique de la ville.

- La gestion proactive des terrains nus implique leur transformation en espaces agricoles, parcs publics, jardins communautaires ou installations de loisirs. Élaborer des plans de développement pour les terrains vacants en tenant compte des besoins économiques et sociaux de la communauté permettra de maximiser leur utilisation. Mettre en place des mesures de prévention de l'érosion des sols, comme la plantation de couvertures végétales temporaires, protégera également ces terrains contre la dégradation.

- Enfin, conserver les pratiques pastorales est crucial pour les moyens de subsistance des communautés locales et la biodiversité. Désigner et protéger des zones spécifiques pour le pâturage permettra de préserver les pratiques pastorales traditionnelles. Fournir des aides financières et techniques aux éleveurs pour améliorer la gestion des parcours et la productivité animale soutiendra ces communautés. Encourager les éleveurs à diversifier leurs sources de revenus, par exemple en développant des activités de tourisme rural ou de transformation des produits animaux, renforcera leur résilience économique.

8- Conclusion

Ce chapitre a présenté en détail la méthodologie de classification et de prédiction de l'occupation du sol à l'aide de Google Earth Engine (GEE) en utilisant l'algorithme random forest. En tirant parti des capacités avancées de GEE, nous avons pu mener une analyse spatiale précise et efficace de l'occupation des sols dans la ville de Chlef.

Pour réaliser cette classification, nous avons utilisé des images satellitaires Sentinel-2 ESRI, qui offrent une résolution spatiale et temporelle élevée. Ces images ont été traitées pour extraire des caractéristiques spécifiques des différentes classes d'occupation des sols, telles que les terres agricoles, les zones urbaines et les espaces verts. L'algorithme random forest a été employé pour classer ces différentes classes avec une grande précision en exploitant les propriétés spectrales des images.

Cette approche nous a permis de distinguer les zones menacées par l'urbanisation croissante. En identifiant de manière précise les espaces en transition, nous avons pu mettre en évidence les zones agricoles susceptibles de disparaître au profit du développement urbain, ainsi que les espaces verts nécessitant une protection accrue.

Les résultats de cette analyse offrent une vision détaillée des dynamiques d'occupation des sols à Chlef. Ils sont essentiels pour les planificateurs et les décideurs locaux, car ils permettent de comprendre les tendances actuelles et futures de l'urbanisation. Grâce à ces informations, les autorités peuvent élaborer des politiques plus adaptées pour gérer l'expansion urbaine de manière durable, préserver les espaces verts et garantir une utilisation optimale des terres agricoles.

De plus, cette méthodologie fournit des rapports statistiques précis qui facilitent la prise de décision basée sur des données actualisées. Les décideurs peuvent ainsi s'appuyer sur ces

Chapitre 03 : Prédiction de l'évolution de la ville de Chlef

analyses pour anticiper les impacts de l'urbanisation et planifier des actions concrètes visant à favoriser un développement urbain harmonieux et respectueux de l'environnement. En somme, l'approche décrite dans ce chapitre contribue significativement à un aménagement du territoire plus durable et équilibré pour la ville de Chlef.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude exhaustive sur l'utilisation de l'algorithme Random Forest et de Google Earth Engine pour analyser et prédire l'expansion urbaine à Chlef a permis de tirer plusieurs conclusions fondamentales et stratégiques. En explorant les fondements théoriques de la croissance urbaine et en intégrant les méthodes avancées de la télédétection et de l'apprentissage automatique, nous avons construit un cadre analytique robuste pour comprendre les dynamiques complexes et spécifiques du développement urbain dans cette région.

En ce qui concerne les aspects théoriques, cette étude a exploré en profondeur les théories sous-jacentes à l'urbanisation, en mettant particulièrement l'accent sur les modèles de croissance urbaine, les facteurs socio-économiques et environnementaux influençant cette croissance, ainsi que les avancées récentes en matière de technologie spatiale et d'analyse de données. Ces fondements théoriques ont servi de socle intellectuel pour la méthodologie appliquée dans l'analyse de Chlef.

L'analyse des capacités urbaines de Chlef a révélé une compréhension approfondie des facteurs locaux qui façonnent l'urbanisation. À travers l'analyse des données historiques et actuelles, nous avons cartographié les tendances passées de croissance urbaine, identifié les zones critiques d'expansion et évalué les impacts potentiels sur l'environnement et les infrastructures urbaines existantes. Cette analyse a permis de mettre en lumière les défis et les opportunités pour une gestion urbaine durable à Chlef, soulignant l'importance d'une planification stratégique basée sur des données précises et prédictives.

L'utilisation de Google Earth Engine a joué un rôle crucial dans la prédiction de l'évolution spatio-temporelle de Chlef. En exploitant sa capacité à traiter de grandes quantités de données satellitaires et à exécuter des analyses géospatiales avancées, cette plateforme a permis de développer des modèles prédictifs robustes grâce à l'algorithme Random Forest. Ces modèles ont non seulement offert une vision précise des tendances futures d'urbanisation, mais ils ont également fourni des outils pratiques pour les décideurs urbains afin de prendre des décisions éclairées en matière de planification urbaine, de gestion des ressources et de développement durable.

En conclusion, cette étude démontre clairement l'impact positif et transformateur de l'intégration des technologies de pointe dans la gestion urbaine. Elle met en avant la nécessité

croissante d'utiliser des approches intégrées et interdisciplinaires pour répondre aux défis complexes de l'urbanisation, en favorisant une croissance urbaine durable, résiliente et équitable à Chlef et dans d'autres contextes urbains similaires. Ces insights sont essentiels pour guider les politiques publiques, améliorer la qualité de vie urbaine et promouvoir un développement urbain harmonieux avec l'environnement naturel.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Abdelhalim BENDIB Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème Cycle En Aménagement du territoire et gestion des risques majeurs, GEOMATISATION DES INSTRUMENTS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE POUR UNE GESTION COHERENTE ET DURABLE DE L'ESPACE - CAS DE LA VILLE DE BATNA. - 2017 - p. 298.

Allouane Fatma Maarfia El Bahdja Mémoire LES FORMES DE L'EXTENSION URBAINE DANS UNE VILLE A VOCATION PATRIMONIALE université Tébessa. - 2016. - p. 105.

Amina Mlle. BENMOSTEFA Majda Télédétection de la végétation maritime par Radiomètres Optiques Passifs : Cas du littoral Algérien.. - 2012. - p. 112.

Amine Segueni Housseem El Dine l'expansion urbaine dans les villes satellites, une étude de cas d'une ville Ghamra Quomar / El oued. - 2018. - p. 127.

ANIREF/Monographie de la wilaya de Chlef.

BOUTELDJA RADHIA CHIKH FATMA ZOHRA MEMOIRES DE FIN D'ETUDES, RENOUVELLEMENT URBAIN DURABLE DU CENTRE VILLE DE CHLEF. - 2018. - p. 98.

Cavur M. LAND USE AND LAND COVER CLASSIFICATION OF SENTINEL 2-A, ST PETERSBURG CASE STUDY [Revue]. - 2019.

CHEBOUB Houari L'impact de la croissance urbaine sur la structure urbaine de la ville de Chlef. - p. 100.

Djebiri Safaa Ikram Horri Omar Sif El Islem Apport de la géomatique pour évaluer la couverture d'un réseau GSM.Cas réseau Ooredoo Wilayas d'Oran. - 2019. - p. 66.

Ismahan Kariche Cours Classification des images satellitaires"Matrix of confusion". - 2021.

LA DENSIFICATION URBAINE POUR DES VILLES PLUS DURABLES. - LE CAS DE LA VILLE DE SAINT-BASILE-LE-GRAND : [s.n.].

Leshayb Zahra Zaghdan - Marwa Utilisation des techniques de géomatique (RS+GIS) pour déterminer les tendances d'expansion de la ville d'Ain Oulmane - Sétif -. - 2021. - p. 129.

Mohammed RAFIK Abdellatif OUGHRIS Suivi de la couverture terrestre par télédétection, exemple de la ville de Marrakech entre 1995 et 2016, Maroc. - 2016. - p. 54.

MONOGRAPHIE Wilaya Chlef.

Rafik Mr. DERICHE Utilisation des données de la télédétection pour les prévisions météorologiques. - 2013. - p. 93.

Raounek REZG Sara - AZZOUZI Processus et formes de l'extension urbaine et leurs impacts sur l'espace agricole - Cas d'étude la ville de Tebessa.2. - 2018. - p. 84.

SBAISS Karim YEBDA Larb Cartographie et modélisation de l'ensablement des parcours steppiques de la région de Tiaret.. - 2020. - p. 105.

Soufiane El Wafi La croissance urbaine et la problématique de l'extension dans la ville de Tébessa. - 2016. - p. 107.

WIEL Marc « Etalement urbain et mobilité » // La Documentation Française. - Paris : [s.n.], 2010. - p. 86.

Yassin ALI AICHOUBA MEMOIRE DE MASTER 2 Option : ARCHITECTURE ET PATRIMOINE, Monographie de la poudrière de Chlef. - 2018. - p. 105.

Webographique

- <https://larevueia.fr/wp-content/uploads/2019/10/random-forest-2.png>
- www.minitab.com
- <http://www.ma.ville.online.f>
- [https://www.researchgate.net/publication/367205334 Generalites portant sur l'urbanisme et la ville](https://www.researchgate.net/publication/367205334_Generalites_portant_sur_l'urbanisme_et_la_ville)
- <https://www.jeparsauxusa.com/wp-content/uploads/2017/11/empire-ny.jpg>
- <http://fr.slideshare.net/Saamysaami/etalement-urbain-et-peri-urbanisation>
- www.esrifrance.fr
- <https://teleensm.ummtto.dz/pluginfile.php/32380/course/summary/SIG.PNG>
- https://eduterre.ens-lyon.fr/ressources_gge/copy_of_sig/les-systemes-dinformation-geographiques.jpg
- <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/chlef/chlef-3688/>
- www.infoclimat.fr
- <https://openlandmap.org>

