

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : métiers de la ville

Spécialité : géomatique et gestion du foncier

Par : GHILES Noureddine

AOUADJ Abdelghafour

Sujet

Analyse Spatio-Temporelle des Dynamiques d'Occupation du Sol à l'Aide des
Séries d'Images Satellitaires : cas de la wilaya de Relizane

Soutenu publiquement, le 29 / 06 / 2025 , devant le jury composé de :

M MERZOUG Abdelatif	MAA	Université de Tlemcen	Président
Mme BENZENINE Faila	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme DERKAOUI Aicha	MAA	Université de Tlemcen	Encadrant
M MANSOUR Djamel	Ing.prin	ENSGTS d'Aarzew	Co-encadrant

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Nous exprimons tout d'abord notre profonde gratitude à « **Allah** » **Tout-Puissant** pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail de recherche.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Madame DERKAOUI Aicha**, notre encadrante, pour son encadrement attentif, ses orientations précieuses et son soutien tout au long de ce mémoire. Nos remerciements vont également à **Monsieur MANSOUR Djamel**, notre co-encadrant, pour ses conseils pertinents et son accompagnement méthodologique.

Nos remerciements les plus distingués s'adressent à **Madame Bentkhici Nadjla**, notre maître de stage, pour sa disponibilité, sa confiance et son appui professionnel durant toute la période de stage.

Nous tenons aussi à remercier **l'ensemble des enseignants** qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire, depuis les premières années jusqu'à la fin de notre formation. Une mention spéciale à **nos enseignants et collègues du Master 2 en Géomatique et Gestion Foncière**, avec qui nous avons partagé des expériences formatrices, des échanges enrichissants et un esprit de solidarité remarquable.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à **nos familles** pour leur soutien moral constant, leur patience et leurs encouragements indéfectibles. À **nos amis proches**, merci pour votre présence, votre écoute et votre bienveillance tout au long de cette aventure académique.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

À ma famille,

Mes parents, mes frères et sœurs,

Pour tout ce que vous avez fait pour moi, Votre soutien sans limites,

Et vos sacrifices qui m'ont permis d'arriver jusqu'ici.

À mon binôme Ghiles Noureddine,

Pour sa collaboration précieuse, son encouragement constant,

Et cette synergie qui a nourri notre travail commun.

À tous mes amis et collègues, spécialement :

Bouazza Hicham, Boulamate Noureddine et Mehdaoui Yacine,

Pour leur solidarité, leurs rires et leur présence aux moments cruciaux,

À tous mes enseignants de l'Université de Tlemcen, notamment :

Mebarki Abdelkader, Benzenine Faïla et Khaldoune Alaa Eddine

Qui m'ont transmis leur savoir, éclairé mes doutes,

Et façonné l'esprit critique qui anime ces pages.

À moi-même,

Pour avoir tenu bon malgré les obstacles,

Pour chaque nuit de travail, chaque effort invisible,

Et cette persévérance qui m'a porté jusqu'au bout.

Enfin, à Dieu,

Source de force et de sagesse, À qui je dois toute gratitude.

AOUADJ Abdelghafour

Dédicaces

À la mémoire du cheikh Ahmad Yassine,

Guide spirituel et flamme éternelle de la résistance,

À l'âme des martyrs de la dignité :

Yahya Sinwar, Mohammed Deif ET Ismaïl Haniyeh,

À tous ceux qui ont inscrit leurs noms dans l'histoire avec l'encre du sacrifice,

À nos frères de Gaza,

Honneur de cette nation,

Sentinelles du courage face à l'injustice et à l'oppression,

GHILES Nouredine

Résumé

Ce travail de recherche traite l'analyse spatio-temporelle des dynamiques de changement de l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane, à partir d'images satellitaires. Une série d'images Landsat (2004, 2014, 2024) a été exploitée et traitée à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG) et de la télédétection. Les classifications supervisées ont permis de produire des cartes des types d'occupation du sol et de suivre leur évolution dans le temps. Les matrices de confusion et les statistiques spatiales ont mis en évidence des transformations notables, telles que l'expansion des zones urbaines et le recul du couvert végétal naturel. Les résultats obtenus permettent une meilleure compréhension des changements spatiaux et contribuent à l'élaboration de politiques de planification et de gestion durable des terres.

Mots-clés : Occupation du sol, SIG, Télédétection, Relizane, Analyse spatio-temporelle.

ملخص

يتناول هذا البحث التحليل الزمني المكاني لديناميكيات التغير في استخدامات الأراضي بولاية غليزان، بالاعتماد على صور الأقمار الصناعية. تم استخدام سلسلة من صور لاندسات (2004، 2014، 2024) ومعالجتها بواسطة نظم المعلومات مكنت التصنيفات المشرفة من إنتاج خرائط لأنماط QGIS الجغرافية والاستشعار عن بعد، خاصة عبر برنامج استعمال الأرض وتتبع تطورها الزمني. كما كشفت مصفوفات الالتباس والإحصاءات المجالية عن تحولات بارزة مثل توسع الزراعة والمناطق العمرانية، وتراجع الغطاء النباتي الطبيعي. وتسهم النتائج المتحصل عليها في فهم أعمق للتغيرات المكانية ودعم السياسات المتعلقة بالتخطيط والإدارة المستدامة للأراضي.

الكلمات المفتاحية: استخدامات الأراضي، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، غليزان، التحليل الزمني المكاني

Abstract

This research focuses on the spatio-temporal analysis of land use change dynamics in the Wilaya of Relizane using satellite imagery. A series of Landsat images (2004, 2014, 2024) were processed using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques. Supervised classifications were conducted to generate land use maps and monitor their evolution over time. Confusion matrices and spatial statistics revealed significant transformations, such as urban area expansion and a decline in natural vegetation cover. The obtained results offer a deeper understanding of spatial changes and support the development of policies related to sustainable land planning and management.

Keywords: Land use, GIS, Remote sensing, Relizane, Spatio-temporal analysis.

Sommaire

Remerciements.....	1
Résumé.....	4
ملخص.....	5
Abstract	5
Sommaire	6
Table des abréviations.....	7
Table des illustrations	9
Introduction Générale.....	11
Chapitre 1 : Notions théorique sur l'occupation de sol.....	1
Chapitre 2 : Cadre physique de la wilaya de Relizane.....	3
Chapitre 3 : Approche méthodologique	19
Chapitre 4 : Etude et résultats	34
Conclusion générale	68
ANNEXES	70
Bibliographie.....	73
Table des matières.....	77

Table des abréviations

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

BD : Base de Données

BDG : Base de Données Géographique

CNES : Centre National d'Études Spatiales

CRAAG : Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique

CTS : Centre des Techniques Spatiales

DSA : Direction des Services Agricoles

DRE : Direction des Ressources en Eau

ENVI : Environment for Visualizing Images

INSID : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage

MADRP : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NDWI : Normalized Difference Water Index

OLI : Operational Land Imager (Landsat 8)

ONM : Office National de la Météorologie

ONS : Office National des Statistiques

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

QGIS : Quantum Geographic Information System

ROI : Region of Interest (Région d'intérêt)

SAU : Superficie Agricole Utile

SAT : Superficie Agricole Totale

SIG : Système d'Information Géographique

SWIR : Short-Wave Infrared

TIRS : Thermal Infrared Sensor (Landsat 8)

TLD : Télédétection

TM : Thematic Mapper (Landsat 5)

USGS : United States Geological Survey

UVED : Université Virtuelle Environnement et Développement durable

Table des illustrations

Liste des Tableaux.

Tableau 1 : Évolutions technologiques récentes	4
Tableau 2 : Effets de la Fragmentation des Habitats sur la Biodiversité	5
Tableau 3 : Impacts des activités humaines sur l'environnement en Algérie	7
Tableau 4 : Avantages et limites des technologies de TLD selon différents critères	10
Tableau 5 : Comparatif des principales caractéristiques des satellites d'observation terrestre	11
Tableau 6 : SIG et leurs applications en aménagement du territoire	15
Tableau 7 : Moyennes mensuelles des précipitations 2000-2024.....	25
Tableau 8 : Températures moyen mensuelles 200-2024.....	25
Tableau 9 : Evolution de la population de la wilaya de Relizane	30
Tableau 10 : Superficies agricoles dans la wilaya de Relizane.....	31
Tableau 11 : Production des céréales (2016/2017 vs 2017/2018)	32
Tableau 12 : Description des satellites utilisés	35
Tableau 13 : Thèmes des échantillons d'apprentissage	42
Tableau 14 : Séparabilité entre les classes d'apprentissage.....	44
Tableau 15 : Thèmes des échantillons de validation l'image 2004	49
Tableau 16 : Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2004	49
Tableau 17 . Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2014.....	52
Tableau 18 .Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2024.....	55
Tableau 19 : Bilan quantitatif des changements d'occupation du sol entre 04.14.2458	

Liste des Figures.

Figure 1 : Les sept étapes du processus de télédétection	9
Figure 2 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.....	12
Figure 3 : Structures de données dans un SIG	15
Figure 4 : Carte de situation de Relizane	20
Figure 5 : Carte des pentes de la wilaya de Relizane	21
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN2000/2024	26
Figure 7 : Evolution de la population de la wilaya de Relizane.....	30
Figure 8 : Production des céréales (2016/2017 vs 2017/2018)	33
Figure 9 : Organigramme de la méthodologie du travail	37
Figure 10 : Composition colorée image 2004	39
Figure 11 : Classification likelihood	41
Figure 12 : Signature spectrale de chaque classe définit à partir des ROIS.....	43
Figure 13 : carte d'occupation du sol en 2004 de la wilaya de Relizane	51
Figure 14 : Carte d'occupation du sol en 2014 de la wilaya de Relizane.	54
Figure 15 : carte d'occupation du sol en 2024 de la wilaya de Relizane.	57
Figure 16 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2004-2014	60
Figure 17 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2014-2024 ...	60
Figure 18 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2004-2024	61
Figure 19 : Carte des changements d'urbain 2004-2014-2024	64
Figure 20 : Carte des changements foret 2004-2014-2024	65
Figure 21 : Carte des changements de plan d'eau 2004-2014-2024	66

Introduction Générale

L'occupation du sol constitue un indicateur fondamental pour comprendre les dynamiques environnementales, socio-économiques et territoriales d'un espace donné. À travers le temps, les territoires connaissent des mutations liées à l'urbanisation, l'agriculture, le déclin des formations naturelles ou encore les aménagements anthropiques. Dans ce contexte, l'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol à l'aide d'images satellitaires s'impose comme une approche efficace pour étudier et visualiser ces transformations. (Brossard & Jollivet, 2015)

L'objet de la présente recherche est d'analyser les dynamiques d'occupation du sol dans la wilaya de Relizane sur une période de vingt ans (2004–2024), en mobilisant des outils de télédétection et de systèmes d'information géographique (SIG), afin d'identifier les tendances majeures de transformation du territoire.

La problématique que nous abordons repose sur les interrogations suivantes : Comment l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane a-t-elle évolué au cours des deux dernières décennies ? Quelles sont les dynamiques dominantes (progression, régression, stabilité) observées entre les différentes classes d'occupation du sol ? Quels outils et approches permettent de détecter, caractériser et suivre efficacement les changements d'occupation du sol à différentes échelles, en intégrant notamment les images satellitaires comme source d'information principale ?

Les hypothèses posées au début de cette étude sont les suivantes :

- L'agriculture connaît une forte progression au détriment des formations naturelles telles que les forêts et le maquis.
- L'urbanisation s'intensifie autour des principaux centres urbains.
- Les terrains nus tendent à se réduire sous l'effet de l'aménagement et de l'exploitation humaine.

Les objectifs de cette recherche sont doubles. Sur le plan scientifique, il s'agit de caractériser les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation du sol en s'appuyant sur des données satellitaires. Sur le plan opérationnel, il s'agit de produire des cartes et des indicateurs utiles à la prise de décision en matière d'aménagement du territoire et de gestion des ressources naturelles.

L'intérêt de cette étude réside dans sa capacité à fournir une vision claire et actualisée de l'évolution du territoire de Relizane. Elle offre des éléments d'aide à la décision pour les acteurs locaux, les urbanistes, les agronomes et les gestionnaires de l'environnement, en mettant en lumière les zones les plus affectées par les changements.

La méthodologie adoptée combine le traitement d'images satellitaires (Landsat 5 et 8) à l'aide d'outils tels que, ENVI, QGIS et ArcGIS. Des classifications supervisées ont été réalisées, validées par des matrices de confusion. Les changements ont ensuite été quantifiés à l'aide des statistiques zonales et interprétés à travers des cartes de progression, régression et stabilité.

Pour aborder ce sujet, nous avons divisé ce thème en quatre chapitres complémentaires :

- Le premier chapitre est consacré à l'approche théorique concernant l'occupation du sol, les SIG et la télédétection.
- Le deuxième chapitre présente le cadre physique de la wilaya de Relizane.
- Le troisième chapitre décrit la méthodologie et les outils utilisés.
- Le quatrième chapitre expose les résultats finaux, leur interprétation et les cartes obtenues.

Chapitre 1 : Notions théorique sur l'occupation de sol

1.1 Introduction

L'évolution de l'occupation du sol constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour la gestion durable des territoires. En effet, les pressions anthropiques (urbanisation, agriculture intensive, déforestation) et les facteurs naturels (changement climatique, érosion) induisent des modifications constantes de la surface terrestre. Comprendre, mesurer et cartographier ces transformations dans l'espace et le temps devient alors essentiel pour les décideurs, les urbanistes et les gestionnaires de l'environnement. **(Lambin, E. F., & Meyfroidt, 2011)**

Dans ce contexte, l'utilisation conjointe de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) permet une analyse rigoureuse et reproductible des dynamiques spatiales et temporelles de l'occupation du sol. Ce chapitre vise à poser les bases conceptuelles de notre recherche en définissant les notions fondamentales, en exposant les outils méthodologiques mobilisés et en s'appuyant sur une revue critique de la littérature scientifique existante.

1.2 Concepts et définitions fondamentaux

1.2.1 La cartographie : Définition et évolutions contemporaines

La cartographie représente une discipline à la croisée des sciences, des arts et des technologies, dont l'objectif principal est la représentation spatiale de données géographiques sous forme de cartes, plans ou modèles 3D. Selon **(Girard, 1999)**, elle s'appuie sur :

Des fondements méthodologiques :

- Collecte de données par observation directe (relevés terrain)
- Exploitation de sources documentaires (archives, images satellites)
- Processus de modélisation et de symbolisation graphique

Un rôle stratégique :

- Outil d'aide à la décision pour les gestionnaires territoriaux
- Support essentiel pour l'aménagement du territoire
- Instrument de communication et de planification

Évolutions technologiques récentes :

Les avancées technologiques ont profondément transformé les méthodes d'analyse spatiale. Le tableau ci-dessous présente les principales innovations récentes et leurs impacts.

Tableau 1 : Évolutions technologiques récentes

Période	Technologie	Impact
Années 2000	SIG (Systèmes d'Information Géographique)	Analyse spatiale avancée
2010-2015	Télédétection haute résolution	Surveillance environnementale précise
2015-2020	GPS différentiel	Précision centimétrique
2020-2024	Intelligence Artificielle appliquée	Classification automatique des images

SOURCE : (BETOURNAY & GERVAIS, 2021)

1.2.2 La carte d'occupation et utilisation des sols

L'occupation et l'utilisation du sol sont deux termes souvent confondus, elles ont des traits communs, mais leurs définitions ne sont pas identiques, l'occupation du sol fait référence à la couverture physique de la surface terrestre, tandis que l'utilisation du sol fait référence à l'anthropisation des surfaces terrestres et plus particulièrement à la fonction socio-économique des surfaces (**Brown, D. G et al. 2004**)

Donc, entre l'occupation du sol et l'utilisation du sol, il existe des corrélations physiques qui se traduisent par les fortes relations entre la distribution des habitants, des aménagements, du bâti d'une part et d'autre part les caractéristiques du milieu surtout naturel. Or, il existe aussi une forte corrélation entre le comportement des acteurs (groupe social) et les données économiques, c'est-à-dire les choix assignés par l'homme aux espaces productifs, forestiers... ainsi qu'aux infrastructures et espaces non productifs (**Ben Salem, A. 1996**)

En télédétection, les propriétés mesurées se rapportent à la couverture du sol (occupation), à partir de laquelle l'utilisation du sol peut être déduite à l'aide de données auxiliaires ou de connaissances préalables du terrain (**Samaali, S. 2011**)

1.2.3. Impacts des changements d'occupation du sol sur l'environnement :

Les transformations anthropiques des surfaces terrestres représentent le principal moteur de changement environnemental à l'échelle planétaire. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (**PNUE, 2023**)

- 75% des surfaces émergées sont significativement altérées par les activités humaines
- 40% des écosystèmes terrestres ont été convertis à des fins agricoles ou urbaines
- 23% des émissions mondiales de CO₂ proviennent des changements d'affectation des terres.

Impacts systémiques :

1. Sur la biosphère :

Tableau 2 : Effets de la Fragmentation des Habitats sur la Biodiversité

Effet	Conséquence	Exemple
Fragmentation des habitats	Perte de biodiversité (-68% des populations vertébrées depuis 1970 -	Forêt atlantique brésilienne (-88% de surface originelle)
Modification des corridors écologiques	Isolement des populations animales	Éléphants d'Afrique (réduction de 30% des zones de migration)

SOURCE : (WWF, 2020)

2. Sur l'atmosphère

- Émissions de GES : 1,5 Gt CO₂/an par la déforestation tropicale (**Harris, N.L., et al. 2021**)
- Changement d'albédo : +0,1°C global par l'urbanisation. (**Jacobson, M.Z., et al. 2022**)

3. Sur l'hydrosphère (Perturbation du cycle hydrologique)

- Réduction de 15% des précipitations locales après déforestation (**Spracklen, D.V. 2012**)
- Augmentation de 40% du ruissellement en zones urbanisées. (**Jacobson, C.R. 2011**)

L'Homme tient actuellement une place prépondérante au niveau des changements d'occupation des sols, puisqu'il contrôle la plus grande partie des surfaces terrestres **(Lambin, E. F., et al. 2001)**.

Entre un tiers et la moitié des surfaces terrestres ont été transformées par l'Homme. Depuis la révolution industrielle, les changements d'occupation et d'utilisation du sol se sont accélérés, et contribuent au changement global.

La restauration des écosystèmes dégradés pourrait séquestrer jusqu'à 30% du CO₂ atmosphérique **(Bastin, J.-F., et al. 2019)**.

Cette analyse souligne l'urgence d'intégrer les dimensions environnementales dans les politiques d'aménagement du territoire, particulièrement dans les régions méditerranéennes vulnérables.

1.3 Les facteurs des changements d'occupation et d'utilisation du sol

1.3.1 Facteurs naturels : Quand la nature impose ses lois

1.3.1.1 Changement climatique (L'élément perturbateur)

Sécheresses prolongées :

Exemple concret : Dans la région de Mila, les sécheresses répétées entre 2000-2020 ont transformé 12% des terres agricoles en zones steppiques **(PNUE Méditerranée, 2023)**

Impact : Abandon des cultures céréalières au profit de l'élevage extensif

Événements extrêmes :

Cas vécu : Les inondations de 2018 dans la wilaya d'El Tarf ont redessiné le tracé de 3 oueds, modifiant radicalement l'usage des terres riveraines **(ANRH, 2019)**

1.3.1.2 Dynamiques écologiques naturelles (La nature qui reprend ses droits)

Succession végétale :

Observation locale : Après l'incendie de 2009 dans la forêt de Mouias, un processus naturel de régénération a permis le retour du chêne-liège sur 40% des surfaces brûlées en 15 ans **(DGF, 2021)**

Érosion côtière :

Chiffre parlant : Le littoral algérois recule de 1,5 m/an en moyenne, contraignant le redéploiement des activités économiques (**APPL, 2006**)

1.3.2 Facteurs anthropiques : (L'empreinte indélébile de l'Homme)

1.3.2.1. Pressions directes (Les transformations visibles) :

Les activités humaines exercent une pression directe et croissante sur les milieux naturels. Le tableau suivant illustre quelques transformations visibles observées en Algérie, ainsi que leurs conséquences environnementales.

Tableau 3 : Impacts des activités humaines sur l'environnement en Algérie

Activité humaine	Impact visible	Exemple algérien	Conséquence environnementale
Urbanisation galopante	Bétonisation des sols	Extension d'Alger : +30% de surface bâtie en 10 ans	Îlots de chaleur urbains (+3°C en moyenne)
Agriculture intensive	Monocultures	Plaine de la Mitidja : 80% des terres en maraîchage	Appauvrissement des sols (perte de 20% de MO en 20 ans)
Exploitation forestière	Parcelles déboisées	Massif des Babors : coupes illégales de cèdres	Désertification avancée

SOURCE : (MATE, 2017)

1.3.2.2 Pressions indirectes (Les mécanismes cachés)

Politiques publiques :

Exemple vécu : Les subventions aux céréales dans les années 1990 ont entraîné le défrichement de 200.000 ha de maquis en Petite Kabylie (**INRF, 2000**)

Marchés mondiaux :

Impact local : La flambée des prix de l'huile d'olive en 2022 a accéléré la conversion de terres pastorales en oliveraies intensives. (**Ben Ayed, R., & Sans, P. 2023**)

Croissance démographique :

Chiffre éloquent : La wilaya de Mila a vu sa population augmenter de 25% depuis 2000, entraînant un mitage des terres agricoles (**ANF, 2020**)

Cette analyse démontre que comprendre les dynamiques territoriales nécessite toujours une approche systémique, intégrant à la fois les contraintes naturelles et les logiques sociales.

1.4 Apports des outils géomatiques pour la cartographie de l'occupation du sol

1.4.1 La télédétection : Un outil révolutionnaire

La télédétection est une technologie qui permet d'acquérir, de traiter et d'interpréter des informations sur la surface terrestre sans contact direct, en utilisant des capteurs embarqués sur des plateformes aéroportées ou spatiales. **(Campbell, J.B., & Wynne, R.H. 2023)**

Processus complet en 7 étapes clés : **(Richards, J.A. 2022)**

- **Émission d'énergie** : Sources naturelles (soleil) ou artificielles (radar)

Exemple : Les satellites Sentinel-1 utilisent un radar actif (bande C)
- **Interaction atmosphérique** : - Phénomènes de diffusion et d'absorption

- Correction nécessaire via des algorithmes comme FLAASH ou 6S
- **Interaction avec la surface** : - Dépend de la signature spectrale des objets

- Indices clés : NDVI pour la végétation, NDWI pour l'eau
- **Enregistrement par capteur** : - Résolutions variables :

Spatiale : 10m (Sentinel-2) à 30cm (WorldView), Spectrale : 4 à 200+ bandes

Temporelle : Journalière (MODIS) à 16 jours (Landsat)
- **Transmission et prétraitement** : Correction géométrique, Calibration radiométrique, Fusion d'images.
- **Analyse et interprétation** : Classification supervisée (Maximum de Vraisemblance)
Classification non-supervisée (K-means), Détection de changements

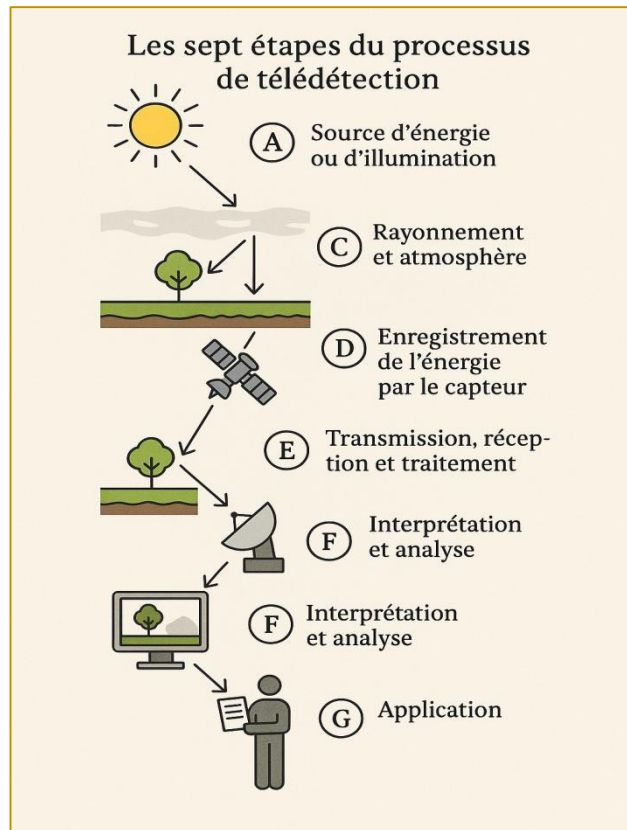


Figure 1 : Les sept étapes du processus de télédétection

SOURCE : (RICHARDS, J.A. 2022 WITH AI)

Aujourd'hui, les images de télédétection constituent une source importante d'informations pour plusieurs applications comme l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol et les études climatiques. Le domaine d'application couvre aussi les sciences environnementales, l'urbanisme, la géologie, l'agriculture. Les applications sont alors diverses : **(Wulder, M.A., et al. 2022)**

- ✓ La cartographie de l'occupation et de l'utilisation des sols, et de leur dynamique, pour les politiques publiques et les questions environnementales.
- ✓ L'estimation des variables biophysiques et les bilans du carbone et de l'eau.
- ✓ La cartographie des pratiques agricoles et des systèmes de culture, pour la modélisation des exploitations agricoles.
- ✓ Prévention et gestion des risques environnementaux.

1.4.2 Les données satellites :

La diversité des résolutions spatiales, spectrale, et temporelles des capteurs optiques de satellites permet d'envisager des suivis de l'occupation des sols, de l'échelle globale à l'échelle locale. Les données satellites subdivisé en 3 classes : **(Briottet & Weber, 2013)**

A. Données à haute et très haute résolution spatiale (<10 m), Les images à haute résolution permettent d'observer des objets spatiaux de petites tailles. Les capteurs de SENTINEL-2, et SPOT ont de manière générale une résolution spatiale inférieure à 10 m. Ils permettent d'observer des paysages hétérogènes et d'envisager un suivi spatial détaillé des objets.

Les images à très haute résolution, inférieure à 5 m, ont une couverture spatiale très limitée : (13,1 km x 13,1 km) pour WorldView, (11 km x 11 km) pour Ikonos, et (16,5 km x 16,5 km) pour Quickbird.

La résolution temporelle est en moyenne inférieure à 3 jours, grâce au système de dépointage, mais la répétitivité des acquisitions sans couverture nuageuse est d'autant réduite que le champ de visée diminue. Elles sont essentiellement utilisées en urbanisme et pour des thématiques nécessitant une définition précise des objets spatiaux. **(Wu et al. 2008)**

Tableau 4 : Avantages et limites des technologies de télédétection selon différents critères

Critère	Avantage	Limite
Précision	Détection d'objets <1m	Coût élevé (jusqu'à 30\$/km ²)
Actualité	Mises à jour fréquentes	Couverture réduite
Utilisation	Idéal pour l'urbanisme	Traitement complexe

SOURCE : (BRIOTTET & WEBER, 2013)

B. Données à moyenne résolution (10-300 m), Les données à basse résolution spatiale à une taille de pixel supérieure ou égale au kilomètre. L'angle d'ouverture de ces capteurs permet d'obtenir des observations tous les 1 à 2 jours en fonction de la latitude. Les capteurs fournissant des images à basse résolution spatiale ne sont pas utilisés pour effectuer des suivis à l'échelle locale.

En revanche, elles permettent de cartographier des grands types d'occupation et d'utilisation du sol à l'échelle globale. Par ailleurs, les séries temporelles d'images à basse résolution spatiale sont largement utilisées à l'échelle globale, continentale pour étudier les changements saisonniers de la couverture végétale. (Maignan et al., 2008)

Capteurs représentatifs :

- Sentinel-2 (10-60 m)
- Landsat (15-30 m)
- MODIS (250-1000 m)

Tableau comparatif :

Tableau 5 : Comparatif des principales caractéristiques des satellites d'observation terrestre

Satellite	Résolution	Bandes	Revisite	Coût
Sentinel-2	10-60 m	13	5 jours	Gratuit
Landsat 9	15-30 m	11	16 jours	Gratuit
SPOT 7	1.5-6 m	4	26 jours	Payant

SOURCE : (BRIOTTET & WEBER, 2013)

C. Données à basse résolution (>300 m)

Caractéristiques :

La résolution spatiale moyenne est définie ici comme une résolution intermédiaire entre la haute résolution spatiale et la basse résolution kilométrique. (**Lecerf, 2008**).

Actuellement, seuls les capteurs MERIS et MODIS peuvent être qualifiés de capteur à moyenne résolution.

La taille du pixel, entre 250-300 m, devrait permettre d'envisager une étude des paysages fragmentés. (**Lecerf, 2008**)

1.4.3 Natures spectrales des principales surfaces naturelles

Les capteurs permettent de distinguer divers types de surfaces naturelles caractérisées par des courbes de réflectance spectrale qui leur sont propres ; on parle alors de « signature spectrale » (Schowengerdt, R. 2006). Chaque surface possède une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles (Fig.02).

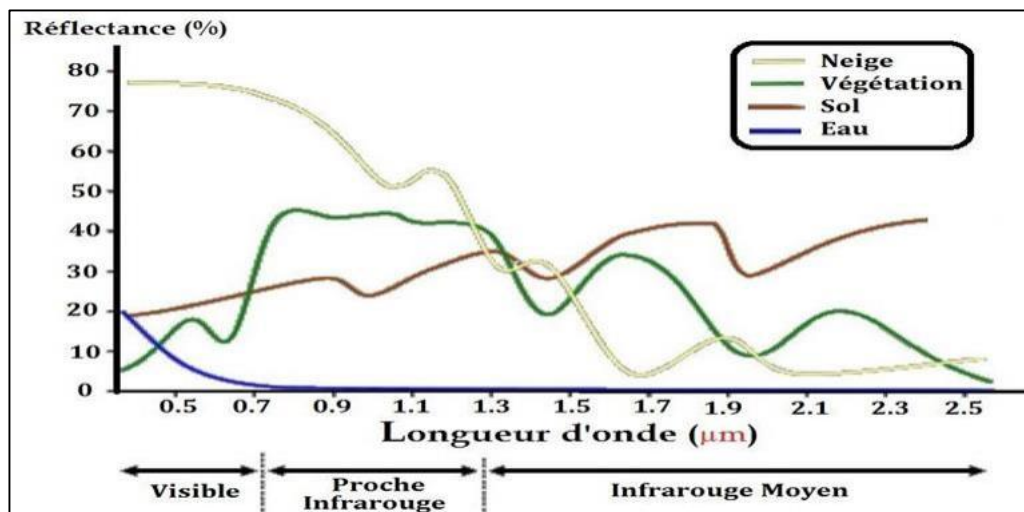


Figure 2 : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen.

SOURCE : (UVED, 2008).

1.3.4 Principe d'une classification en télédétection

Une classification consiste à regrouper les éléments d'une image en fonction de leurs correspondances, généralement, l'association des éléments se fait en fonction de leurs valeurs radiométriques, les pixels d'une image à des catégories, ou classes, prédéfinies ou non par un opérateur. Cette association est réalisée à partir d'un algorithme de classification, qui utilise en général la signature spectrale des cibles pour les associer à une classe. Il existe pour les classifications en télédétection deux types d'approches à distinguer, la **classification supervisée**, et la **classification non supervisée**. (Wiley, 2020)

1.3.4.1 Classification supervisée :

Un opérateur identifie des zones d'intérêts représentatives des surfaces qu'il souhaite classer (eau, forêt ...). Ces zones d'intérêts vont permettre, avec un algorithme choisi, de déterminer les caractéristiques spectrales des classes. L'algorithme va ensuite classer le reste

de l'image en fonction des correspondances trouvées avec ces caractéristiques spectrales. Cette approche laisse la liberté à l'opérateur de choisir les classes voulues. Elle l'oblige ainsi à connaître au préalable sa zone d'étude. (CNES, 2012)

Avantages

- Précision élevée si bon échantillonnage
- Adaptée aux études ciblées
- Contrôle total des classes finales

Limites

- Nécessite une connaissance fine du terrain
- Biais possible dans le choix des échantillons
- Temps de préparation important

1.3.4.2 Classification non supervisée :

Quant à elle ne laisse pas cette liberté à l'opérateur. Un algorithme de classification va classer directement une image. L'opérateur peut cependant définir quelques paramètres (nombre de classes souhaitées, variance maximale au sein d'une classe...). (CNES, 2012)

Avantages

- Rapide à mettre en œuvre
- Détection de classes imprévues
- Pas besoin de connaissance préalable

Inconvénients

- Classes parfois difficiles à interpréter
- Moins précise que la méthode supervisée
- Risque de sûr/sous-classification

1.5 L'apport de Système d'Information Géographique (SIG)

1.5.1 Définition

Un système d'information géographique (SIG) est un moyen de gestion de base de données conçu pour saisir, stocker, manipuler, analyser, combiner et afficher des données à référence spatiale en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification. **(Fischer et al. 1993)**. Un système d'information géographique est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnel capable de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées. **(UABT, 2024)**

Les SIG sont des outils d'aide à la décision, ils contribuent à une meilleure gestion des aléas naturels et des problèmes environnementaux. Ces systèmes utilisent des données spatiales issues de plusieurs moyens d'acquisition (la topométrie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection, ...) **(UABT, 2024)**

1.5.2 Fonctions du SIG

Les SIG nous permettent d'établir les liens complexes entre les différents types d'informations issues de sources variées, comme la géographie, la géologie, la géomorphologie, la pédologie, la phytogéographie, la météorologie, l'analyse d'utilisation du sol, ...etc. Les informations sont organisées en couches de données qui peuvent être superposées, mises en interaction ou isolées (Fig.03). Les données peuvent être organisées en raster (cellule de grille) ou en vecteur (polygone, poly-ligne et point). **(Wiley, 2021)**

L'intégration de données à travers des différentes couches d'information permet d'effectuer une analyse spatiale rigoureuse. Cette analyse par croisement d'informations, nécessite souvent le croisement avec des informations alphanumériques. Croiser la nature d'un sol, sa déclivité, la végétation présente avec les propriétaires, est un exemple d'analyse sophistiqué que permet l'usage d'un SIG. **(Wiley, 2021)**

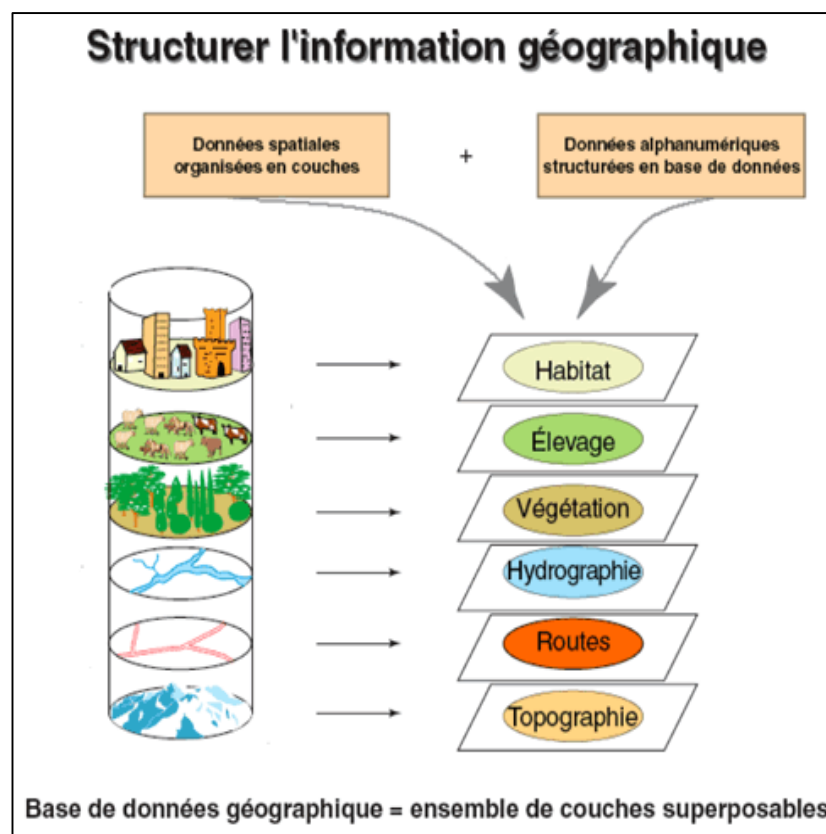


Figure 3 : Structures de données dans un SIG

SOURCE : (BEGNI, G., 2015)

1.5.3 Fonctions analytiques avancées

Tableau 6 : Outils d'analyse SIG et leurs applications en aménagement du territoire

Type d'analyse	Fonction SIG	Application typique
Superposition spatiale	Intersection/Union de couches	Détection des conflits d'usage des sols
Analyse de voisinage	Zones tampons	Périmètres de protection des forêts
Statistiques spatiales	Hot spots	Identification des foyers de déforestation
Modélisation 3D	TIN/Terrain	Étude de visibilité pour implantations

Réseaux	Analyse de chemin optimal	Planification des voies d'évacuation
---------	---------------------------	--------------------------------------

SOURCE : (MALCZEWSKI, J. 2006).

1.5.4 La base de données géographique

Une base de données (BD) est une collection organisée et informatisée de données opérationnelles, stockées de manière structurée pour répondre aux besoins de multiples utilisateurs au sein d'une ou plusieurs organisations. Elle permet l'enregistrement, la gestion, la mise à jour et l'interrogation des données de manière efficace et sécurisée. (**Silberschatz, Korth, & Sudarshan, 2013**)

1.5.4.1 Caractéristiques d'une base de données (**Bey, 2012**)

A. Structuration des données :

- Les données sont organisées selon un modèle logique (relationnel, objet, hiérarchique, etc.) permettant leur stockage et leur accès optimisés.
- Elles peuvent représenter des faits, événements ou phénomènes liés à un domaine d'étude (environnement, urbanisme, risques naturels, etc.).

B. Interopérabilité et multi-utilisateurs :

- Une BD est conçue pour être **partagée** entre différents acteurs, avec des droits d'accès différenciés.
- Elle favorise la **cohérence et l'évitement des redondances** grâce à une gestion centralisée.

C. Traitement et exploitation des données :

- Elle contient des informations brutes (données directes) ou traitées (analysées, agrégées).
- Leur synthèse permet d'en extraire des connaissances exploitables pour la prise de décision.

1.5.4.2 Base de données géographique (BDG)

Une base de données géographique est un type spécifique de BD conçue pour gérer des données spatiales. Elle associe : (**Université Frères Mentouri Constantine 1, 2023**)

- Des données attributaires (description textuelle ou numérique : population, type de sol, etc.).
- Des données géométriques (coordonnées, formes, réseaux).

Elle permet :

- La représentation cartographique.
- L'analyse spatiale (superpositions, requêtes géographiques, modélisations).
- L'intégration avec des SIG (Systèmes d'Information Géographique) pour une visualisation et une interprétation avancées.

1.5.4.3 Fonctionnalités clés : (Université Frères Mentouri Constantine 1, 2023)

- Requête spatial : Recherche d'entités selon des critères géographiques (ex. : "Trouver toutes les zones inondables à moins de 500 m d'un cours d'eau").
- Gestion de grandes volumétries : Capacité à traiter des jeux de données massifs (images satellitaires, réseaux routiers, etc.).
- Interopérabilité : Compatibilité avec d'autres systèmes (télédétection, capteurs IoT, bases statistiques).

1.5.4.4 Exemples d'applications

- Environnement : Suivi de la déforestation, modélisation des risques naturels.
- Urbanisme : Gestion du cadastre, planification des infrastructures.
- Transport : Optimisation des réseaux routiers, analyse de mobilité.

En résumé, une base de données géographique est un outil indispensable pour la gestion intelligente de l'information spatiale, combinant rigueur organisationnelle et puissance d'analyse au service de la recherche et de l'aide à la décision. (Tietse, 1996)

1.5.5 Application des SIG a la recherche environnementale

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont largement utilisés dans divers domaines de la recherche environnementale, notamment pour la gestion, le suivi et la planification des ressources naturelles, ainsi que pour la cartographie, l'analyse et la modélisation spatiales. Ils jouent également un rôle clé dans l'évaluation des risques naturels. (Kefifa, 2014)

L'un des principaux atouts des SIG réside dans leur capacité à gérer et traiter efficacement des données spatiales, en intégrant des méthodes d'analyse statistique spatiale avancée. Cette approche permet de synthétiser différentes sources d'information géographique et de traiter de vastes ensembles de données à l'échelle régionale, voire mondiale.

L'objectif ultime des SIG est d'appuyer la prise de décision des gestionnaires et décideurs grâce à une analyse spatiale synthétique et rigoureuse. En combinant télédétection et données géographiques, les SIG se révèlent être un outil puissant pour la surveillance environnementale et la modélisation des dynamiques écologiques **(Kefifa, 2014)**

1.6 Conclusion

Ce chapitre a dressé un cadre théorique solide en définissant les concepts clés de l'occupation et de l'utilisation des sols, tout en analysant leurs impacts environnementaux et les facteurs de changement (naturels et anthropiques). Il a également mis en lumière l'apport essentiel des outils géomatiques comme la télédétection et les SIG pour le suivi spatio-temporel des dynamiques territoriales, en présentant les méthodes de classification d'images et les avancées technologiques récentes. Ces fondements théoriques et méthodologiques préparent ainsi le terrain pour l'étude appliquée de la wilaya de Relizane dans les chapitres suivants, où ces outils seront mis en œuvre pour analyser concrètement les transformations du paysage entre 2004 et 2024.

Chapitre 2 : Cadre physique de la wilaya de Relizane

2.1 Introduction

La compréhension des dynamiques d'occupation du sol nécessite une connaissance approfondie du cadre physique dans lequel elles s'inscrivent. Le milieu naturel exerce une influence directe sur les modes d'exploitation du territoire, les pratiques agricoles, les dynamiques urbaines ainsi que sur la vulnérabilité environnementale. **(George, 2003)**

Dans cette optique, ce chapitre vise à présenter les principales caractéristiques physiques de la wilaya de Relizane, région située au nord-ouest de l'Algérie, et constituant un espace de transition entre les Hauts Plateaux et la région tellienne.

Cette analyse s'appuie sur une approche intégrée qui couvre les composantes géographiques, géologiques, géomorphologiques, climatiques et hydrologiques de la zone d'étude. En mettant en évidence les potentialités et les contraintes naturelles du territoire, elle permet de mieux cerner les déterminants physiques qui conditionnent l'organisation de l'espace et les dynamiques d'occupation du sol. Ce cadre de référence est essentiel pour interpréter les résultats issus de l'analyse spatio-temporelle menée à partir des images satellitaires dans les chapitres suivants.

2.2 Caractéristiques géographiques de la zone d'étude

La compréhension des caractéristiques géographiques d'un territoire constitue une étape essentielle pour toute analyse spatiale. Ces caractéristiques permettent de situer la zone d'étude dans son contexte naturel et humain, en identifiant les principaux éléments qui influencent l'occupation du sol et ses dynamiques.

2.2.1 Situation géographique de la zone d'étude

La wilaya de Relizane est située dans le nord-ouest de l'Algérie, entre les latitudes 35°43' et 36°33' Nord, et les longitudes 0°20' et 1°10' Est. Elle couvre une superficie de 4 870 km², ce qui en fait une wilaya de taille moyenne à l'échelle nationale. Sa situation géographique stratégique en fait un carrefour naturel entre la région du Tell et les Hauts Plateaux. Elle est délimitée par : **(MATE, 2018)**

- ✓ Au nord : par la wilaya de Mostaganem, desservie par la RN90, la RN23 et RN04.
- ✓ À l'est : par la wilaya de Chlef, desservie par la RN 04 et le chemin de fer.
- ✓ Au sud : par la wilaya de Tiaret desservie par RN23 et RN90 et le chemin de fer.

- ✓ Au Sud-Est : par la wilaya de Tissemsilt.
- ✓ À l'ouest : par la wilaya de Mascara.

Cette position lui confère une diversité climatique, géologique et sociale. La wilaya comprend 13 daïras et 38 communes, dont la ville chef-lieu, Relizane, constitue le principal centre administratif, économique et culturel. (MATE, 2018)

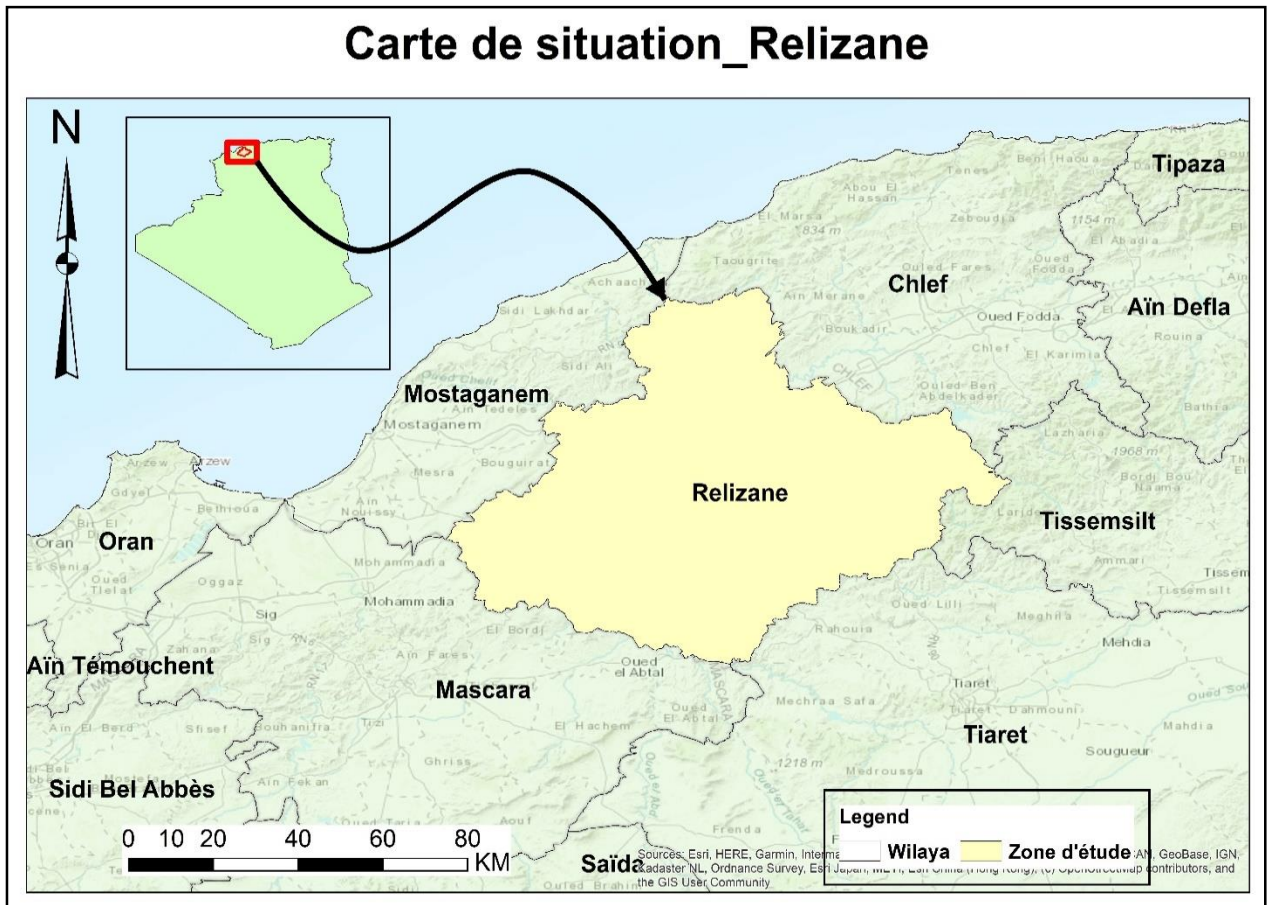


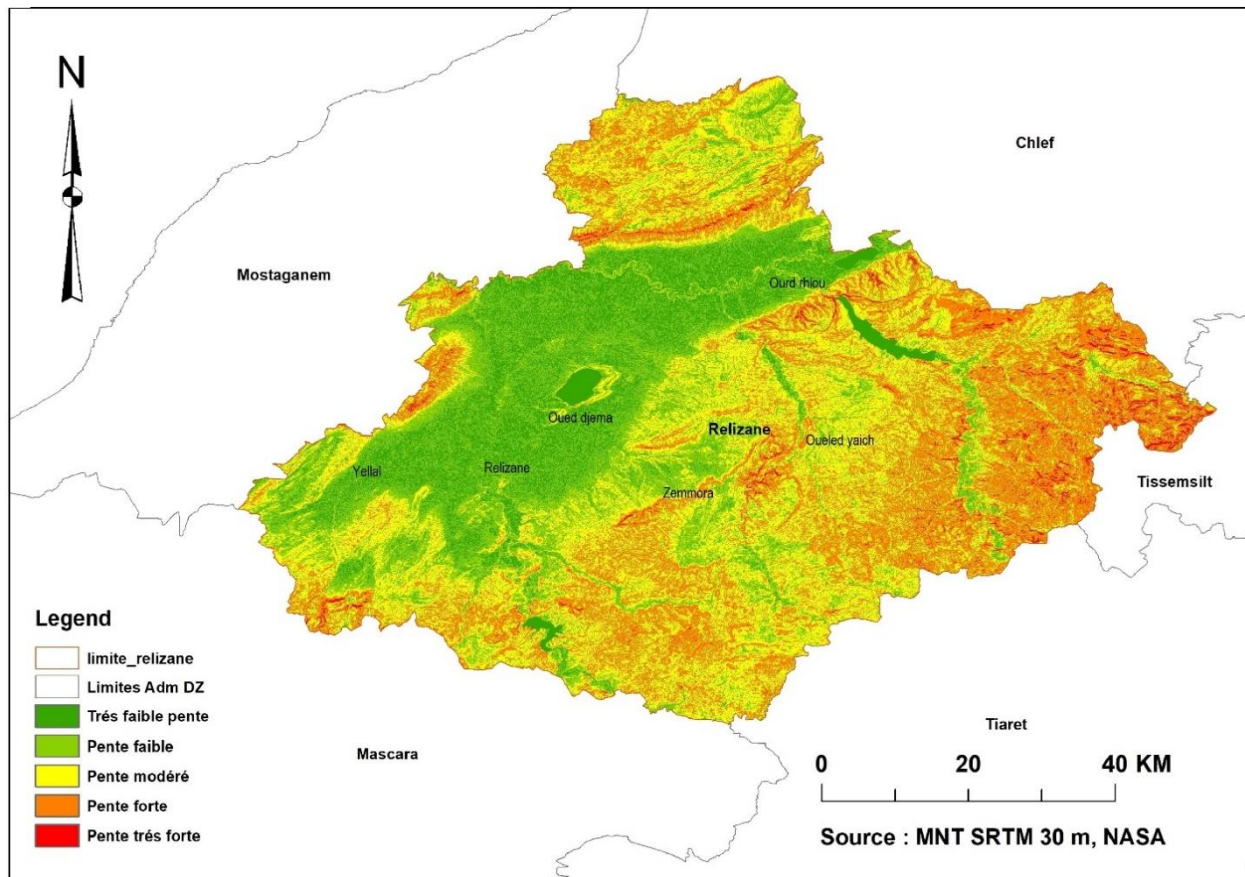
Figure 4 : Carte de situation de Relizane

SOURCE : SITE DIVA-GIS

La structuration du territoire reflète également les dynamiques d'urbanisation et d'aménagement du territoire. Plusieurs communes connaissent une croissance démographique rapide, ce qui engendre une pression sur les infrastructures, les ressources naturelles, et impose de nouveaux défis en matière de gouvernance locale et de planification territoriale.

2.2.2 Relief

La wilaya de Relizane présente un relief varié qui reflète la complexité de sa structure géologique. Elle se compose d'un agencement de plaines fertiles, de collines, de plateaux, et de zones montagneuses, formant ainsi une mosaïque d'unités géomorphologiques aux caractéristiques distinctes. (Boualam, 2010)



La carte des pentes de la wilaya de Relizane, élaborée à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) SRTM avec une résolution spatiale de 30 mètres, révèle une variabilité significative du relief à travers le territoire. Les pentes ont été classées en cinq catégories : **très faible pente (0–5%)**, **pente faible (5–10%)**, **pente modérée (10–20%)**, **pente forte (20–30%)** et **pente très forte (>30%)**.

Les zones centrales de la wilaya, notamment autour de la ville de **Relizane** ainsi que les communes comme **Oued Rhieu** et **Yellal**, sont caractérisées par des pentes très faibles à faibles, traduisant un relief relativement plat, favorable aux activités agricoles et à l'urbanisation.

En revanche, les régions situées au sud-est et à l'est, notamment vers les communes de **Ouled Aiche**, **El Hassi** et **Zemmoura**, présentent des pentes modérées à fortes, témoignant d'un relief plus accidenté qui pourrait nécessiter des aménagements spécifiques. Des zones de pente très forte sont également observées au niveau des frontières avec les wilayas de **Tissemsilt** et **Tiaret**, indiquant des zones montagneuses ou de hauts reliefs difficiles d'accès.

Cette configuration topographique influence directement la répartition des activités humaines : les zones plates accueillent majoritairement l'agriculture et l'habitat, tandis que les terrains escarpés restent en grande partie sous-exploités.

2.2.3 Géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, les plaines situées dans la zone d'étude présentent quatre types principaux de formations géomorphologiques :

2.2.3.1 Les glaciais de piedmonts :

Ce sont des formations colluviales localisées au pied des montagnes, caractérisées par une topographie régulière ou légèrement ondulée. En aval, elles se raccordent à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et indurée datant du Quaternaire ancien. **(INSID, 1986)**

2.2.3.2 Les alluvions :

Ces formations résultent de dépôts effectués par les oueds qui traversent la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture varie selon la lithologie des régions drainées. Dans les zones basses, la texture devient plus argileuse. Au centre de la plaine, les sols de la rive gauche présentent une texture moyenne, tandis que ceux de la rive droite deviennent plus fins et moins bien structurés. À l'extrémité Est, ces formations présentent une salinité modérée. **(INSID, 1986)**

Certains oueds ont érodé des formations géologiques salines (marnes gypseuses du Miocène dans le bassin versant de la Mina, gypse triasique dans le bassin versant de l'oued Malah), entraînant des dépôts alluviaux salés dans certaines zones ;

Ces alluvions salées se retrouvent dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, ainsi que dans la partie sud de la sebkha de Benziane, en lien

avec l'influence de la nappe phréatique salée et l'érosion des collines argileuses salées bordant la sebkha. **(INSID, 1986)**

2.2.3.3 Les cônes de déjection :

Ils résultent de l'érosion des marges géologiques de la région par des petits oueds, qui déposent des matériaux à texture variable. Dans la vallée de la Mina et la plaine de l'oued Djemâa, les cônes présentent une texture lourde, tandis que dans les régions de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. **(INSID, 1986)**

2.2.3.5 Les couvertures sableuses :

Elles se caractérisent par des dépôts sableux épais (plus de 2 mètres) d'origine éolienne, issus de la désagrégation des grès pliocènes. La topographie est légèrement ondulée à uniforme. Ces dépôts sont localisés dans la plaine de Yellel, au pied du massif de Belhacel. **(INSID, 1986)**

2.2.4 Géologie et structure

La wilaya de Relizane, s'inscrit dans le cadre structural du Tell oranais, une unité de l'Atlas tellien caractérisée par une géologie sédimentaire complexe et un relief contrasté. Elle est dominée par deux ensembles naturels majeurs : les Monts du Dahra au nord et la plaine du Chelif au sud, offrant ainsi une diversité morpho-structurale remarquable. **(Service Géologique National, 1982)**

La géologie de Relizane est essentiellement composée de formations sédimentaires plissées et faillées, héritées de l'orogénèse alpine.

2.2.4.1 Formations géologiques principales **Meghraoui, 1988)**

- **Roches calcaires du Crétacé et de l'Éocène** : Présentes dans les Monts du Dahra, ces formations sont parfois karstifiées, générant un relief accidenté avec grottes et dolines.
- **Marnes et argiles du Miocène** : Elles couvrent une large partie des bassins sédimentaires et sont dominantes dans la plaine du Chelif, zones sensibles à l'érosion et aux glissements de terrain.
- **Alluvions quaternaires** : Accumulées le long de l'oued Chelif, elles forment des sols fertiles propices à l'agriculture intensive.

2.2.4.2 Structures tectoniques :

La région est structurée par une série de plis, de failles inverses et de fossés d'effondrement, illustrant une activité tectonique relativement récente : **Meghraoui, 1988)**

- Le **fossé du Chelif**, d'origine néogène, constitue une structure majeure orientée est-ouest, associée à un système de graben.
- Des **chevauchements et plis serrés** marquent les zones montagneuses, témoins de la compression alpine.

2.3 Caractéristiques climatiques

Relizane est soumise à un climat méditerranéen semi-aride, avec des nuances selon l'altitude et la proximité des reliefs. La pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 400 mm, mais elle varie fortement d'une année à l'autre. Les hivers sont généralement doux avec des températures moyennes autour de 10 à 12 °C, alors que les étés peuvent atteindre des pics de 45 °C. **(ONM, 2020)**

Cette variabilité climatique pose des défis pour la gestion des ressources en eau et la planification agricole.

Le changement climatique a accentué les épisodes de sécheresse, affectant la productivité agricole et la recharge des nappes phréatiques. Des stratégies d'adaptation sont en cours, notamment l'utilisation de cultures résistantes à la sécheresse et la modernisation des systèmes d'irrigation. **(MADRP, 2017)**

2.3.1 Précipitation

Sur la période 2004–2024, les données issues de la plateforme POWER LARC de la NASA indiquent que les mois de janvier, février et novembre sont statistiquement les plus arrosés en termes de précipitations moyennes annuelles. À l'inverse, les mois de juin, juillet et août enregistrent les niveaux de précipitations les plus faibles, caractérisant une saison sèche bien marquée. Les relevés montrent également une forte variabilité interannuelle et intra-annuelle des précipitations, rendant difficile la prévision hydrométéorologique et la planification des ressources en eau. **(NASA POWER, 2025)**

Tableau 7 : Moyennes mensuelles des précipitations 2000-2024

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Précipitation	0	1.70	1.62	1.71	1.10	0.38	0.10	0.28	0.85	1.27	1.28	1.55	1.23

SOURCE : POWER LARC NASA

2.3.2 Température

Entre 2000 et 2024, les données climatiques issues de la plateforme POWER LARC de la NASA montrent que les températures moyennes mensuelles oscillent entre 12 °C en janvier et 30 °C en août. La température moyenne annuelle observée durant cette période est d'environ 21 °C. Les mois de janvier et décembre se distinguent comme les plus froids, tandis que juillet et août enregistrent les températures les plus élevées, marquant clairement la saison estivale chaude. (NASA POWER, 2025)

Tableau 8 : Températures moyen mensuelles 200-2024

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T min	2.56	2.75	4.08	7.46	10.39	14.52	19.00	20.01	15.94	11.81	7.08	3.50	1.48
T max	21.56	23.75	27.86	31.38	34.51	38.95	41.44	40.92	37.47	33.55	27.58	22.59	42.09
Tmoy	12.06	13.25	15.97	19.42	22.45	26.74	30.22	30.47	26.71	22.68	17.33	13.05	21.79

SOURCE : POWER LARC NASA

2.3.3 Graphe ombrothermique (période sèche/période humide)

Pour Gaussen, un mois est « sec » si le quotient des précipitations mensuelles **P** exprimé en mm, par la température moyenne exprimée en °C, est inférieur à 2. La représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles, avec en abscisse les mois de l'année, permet d'obtenir le **diagramme ombrothermique** qui met immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses. (Bagnouls, F. & Gaussen, H. 1957)

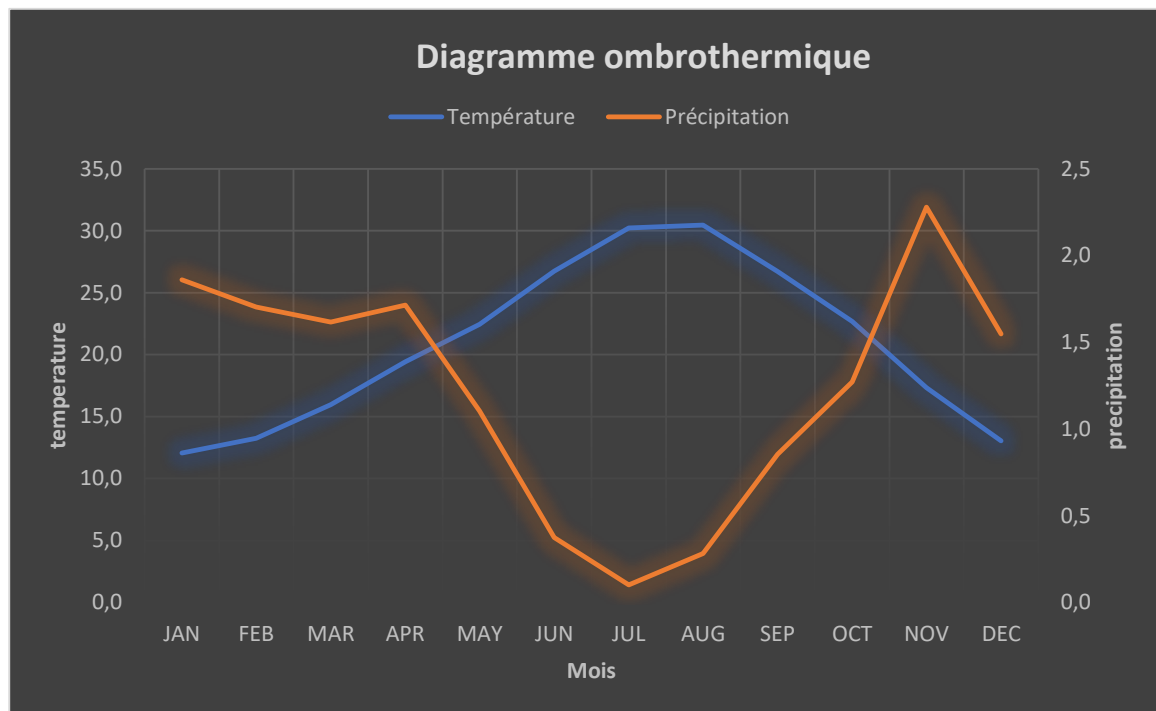


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (2000/2024)

SOURCE : POWER LARC NASA

2.3.4 Interprétation du diagramme ombrothermique :

L'analyse du diagramme ombrothermique établi selon la méthode de Bagnouls et Gaussen met en évidence deux grandes périodes climatiques contrastées dans la région de Relizane. La période sèche s'étend généralement de **mai à octobre**, caractérisée par des températures élevées dépassant fréquemment les 30 °C et des précipitations très faibles, voire nulles en été. Cette saison aride coïncide avec un stress hydrique important, impactant fortement l'agriculture pluviale et les ressources en eau.

En revanche, la période humide, allant approximativement de **novembre à avril**, est marquée par une baisse significative des températures et une augmentation notable des précipitations. Ces conditions favorisent la recharge des nappes phréatiques, la croissance végétative et les activités agricoles. Cette alternance saisonnière conditionne profondément les pratiques agricoles locales et la répartition de la végétation naturelle, ce qui souligne l'intérêt d'une gestion intégrée et saisonnière des ressources naturelles dans cette région semi-aride.

2.4 Ressource en eaux

Les ressources en eaux jouent un rôle fondamental dans le développement des activités agricoles, industrielles et domestiques. Dans cette partie, nous présentons les principales sources d'eau disponibles dans la wilaya de Relizane, en distinguant les eaux de surface et les eaux souterraines.

2.4.1 Eaux souterraines

Les principales nappes de la région sont le bas Chélif, Zemmoura et Mina avec un volume de 39 m³ dont le volume exploité annuellement est de 21,5 hm³. Les ressources en eau souterraine captées dans la wilaya de Relizane et utilisées pour l'agriculture. **(DRE Relizane, 2019)**

2.4.2 Eaux superficielles

La wilaya de Relizane bénéficie d'un réseau hydraulique structuré, composé de plusieurs barrages majeurs jouant un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation et le soutien aux activités industrielles. Parmi ces infrastructures, on distingue : **(ANBT, 2019)**

- **Le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda** : d'une capacité de 225 hm³, il alimente en eau le périmètre irrigué de la Mina, la ville de Relizane ainsi que certaines zones industrielles.
- **Le barrage de Gargar** : avec une capacité de 450 hm³, il dessert les wilayas d'Oran et de Mostaganem, tout en assurant l'irrigation des périmètres du Bas Chélif, notamment à Aïn Sila, Merdjat et Sidi Abed.
- **Le barrage de Merdjat Sidi Abed** : d'une capacité de 50 hm³, il est principalement destiné à l'irrigation du périmètre du Bas Chélif.

Ces ouvrages font partie des 65 barrages opérationnels en Algérie, tandis que 30 autres sont en cours de réalisation. **(ANBT, 2019)**

2.5 Sols et végétation

Les types de sols varient selon le relief et la géologie : sols bruns calcaires dans les plaines, sols rouges méditerranéens sur les versants, et sols pauvres, parfois lithosols, en

montagne. Ces différences influencent directement les capacités de production agricole. **(Bouaziz, 2015)**

La végétation naturelle, fortement modifiée par l'homme, est constituée de steppes, de maquis, et de rares forêts de pins et de chênes. Les pratiques de défrichement, de surpâturage et d'exploitation non contrôlée ont conduit à une dégradation significative des écosystèmes naturels. **(Bouaziz, 2015)**

2.6 Risque naturels

La situation géodynamique de Relizane induit plusieurs aléas naturels : **(CRAAG, 2010)**

- **Sismicité modérée**, du fait de sa localisation dans le Tell actif.
- **Inondations fréquentes** dans la plaine du Chelif, en lien avec les crues de l'oued.
- **Glissements de terrain** sur les versants argileux, notamment dans les zones marneuses.

2.7 Caractéristiques socio-économique

Les principales composantes socio-économiques de la wilaya de Relizane sont abordées à travers une attention particulière portée aux activités agricoles dominantes, à l'émergence d'un tissu industriel en développement, ainsi qu'aux transformations urbaines. Cette analyse permet de mieux comprendre les dynamiques humaines qui influencent l'occupation du sol.

2.7.1 Secteurs économique

Les caractéristiques socio-économiques de la wilaya de Relizane sont marquées par un contraste entre un secteur agricole prédominant et une urbanisation croissante. L'agriculture, principalement céréalière, occupe une place importante dans l'économie locale. Les principales productions agricoles incluent le blé, l'orge, et les légumes. Les zones rurales de la wilaya bénéficient de ressources naturelles, telles que les nappes phréatiques et les terres agricoles fertiles, mais souffrent également de problèmes liés à l'érosion des sols et à la rareté des pluies. En parallèle, l'élevage, notamment des ovins et des caprins, représente une source de revenus secondaire pour de nombreuses familles rurales. **(MATE, 2018)**

Sur le plan industriel, Relizane dispose de quelques zones industrielles en développement, mais l'industrie reste peu développée par rapport à d'autres régions algériennes. Le secteur industriel se concentre principalement sur la production alimentaire, le textile, et les matériaux de construction. Cependant, cette activité industrielle fait face à des défis de modernisation et à une infrastructure insuffisante pour soutenir une croissance rapide. **(Bessaoud, 2014)**

Le secteur des services, bien que limité, connaît une dynamique de croissance dans les zones urbaines, en particulier dans la ville de Relizane, avec des services commerciaux, financiers et administratifs. Cette évolution de l'urbanisation entraîne un accroissement des besoins en infrastructures et en services publics. Le taux de chômage dans la région reste relativement élevé, surtout parmi les jeunes diplômés, ce qui représente un défi majeur pour le développement socio-économique de la wilaya. Les politiques publiques actuelles tentent de répondre à ces défis en investissant dans l'éducation, l'emploi, et le soutien aux petites et moyennes entreprises locales. **(DSA, 2022)**

2.7.2 Activités humaines et dynamique territoriales

L'agriculture est la principale activité économique de la wilaya. Elle repose sur les céréales, les légumineuses, l'arboriculture et le maraîchage. Relizane bénéficie aussi de zones industrielles en développement, bien que leur poids économique reste limité. L'urbanisation est en croissance rapide, avec des extensions non contrôlées, surtout autour des chefs-lieux de communes. **(DSA, 2022)**

Les dynamiques territoriales récentes révèlent une tendance à la concentration des populations dans les zones urbaines, tandis que les zones rurales connaissent un certain exode. Cette réalité nécessite une planification territoriale intégrée et durable. **(DSA, 2022)**

2.8 Évolution démographique de la wilaya de Relizane (1966–2008)

D'après les données de la population de l'État a beaucoup évolué : elle a été estimée à 115905 personnes en 1966, passant à 368512 en 1977 avec un taux de croissance de 3,21%. Dans le recensement de 1987, à la suite de l'amélioration des conditions de vie de la population d'une part et du facteur de migration vers l'état d'autre part, la population de l'État a doublé à 544877 personnes avec un taux de croissance de 2,94%. Dans le recensement de 1998, la population a augmenté à 642205 avec un taux de croissance de 1,37%, puis à 726180

lors du dernier recensement du logement et de la population pour l'année 2008 avec un taux de croissance de 1,05%. Le graphique suivant montre l'évolution de la population de l'État de 1966 à 2008. **(ONS, 2010)**

Tableau 9 : Evolution de la population de la wilaya de Relizane

Année	1966	1977	1987	1998	2008
Population	237999	368512	544877	642205	726180

SOURCE : ONS, 2010

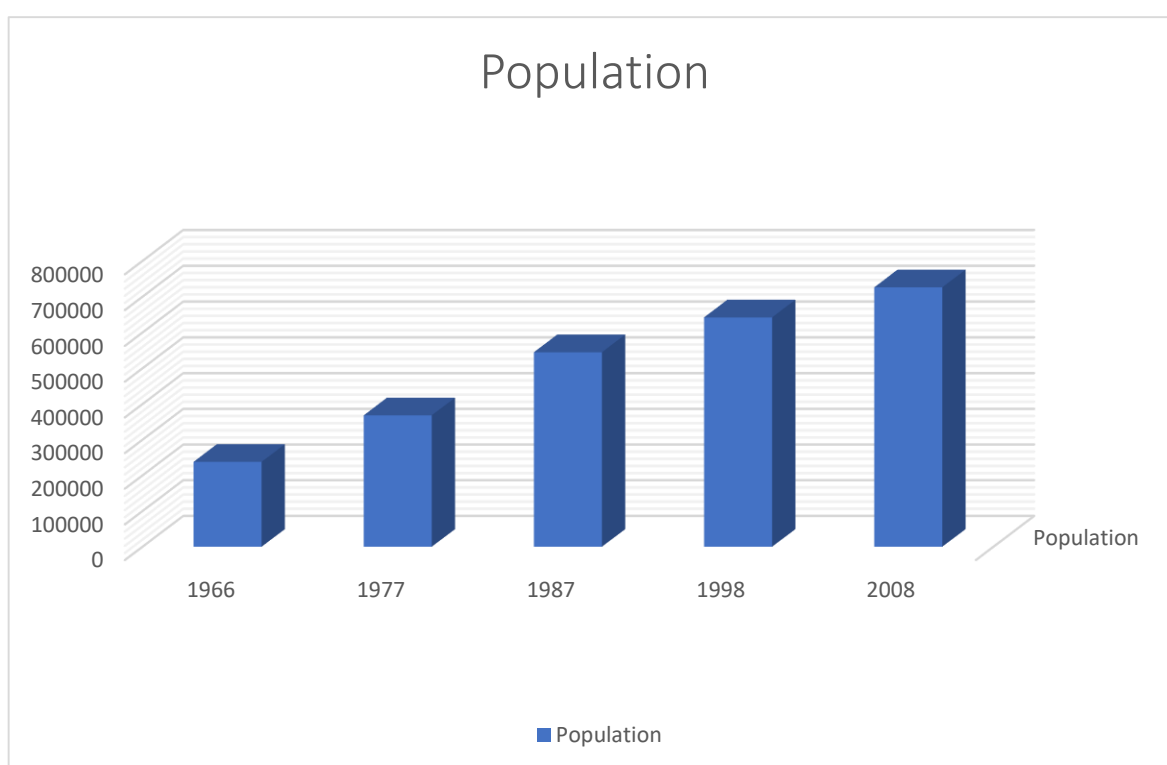


Figure 7 : Evolution de la population de la wilaya de Relizane

2.9 Contexte agricole

2.9.1 Superficie agricole utile (SAU) et superficie agricole totale (SAT)

La wilaya de Relizane dispose d'un important potentiel foncier agricole. Selon la Direction des Services Agricoles, la superficie agricole utile (SAU) s'élève à 281 870 hectares, ce qui représente 58,22 % de la superficie totale de la wilaya estimée à 484 000 hectares. Quant à la superficie agricole totale (SAT), elle atteint 297 387 hectares, soit environ 61 % de la superficie globale du territoire wilaya. **(DSA, 2022)**

Les terres forestières représentent, quant à elles, 10,5 % de la superficie totale, plaçant la wilaya à la 12^e place au niveau national en termes de surface forestière. Par ailleurs, la SAU de Relizane constitue 3,36 % de la SAU nationale, tandis que la superficie irriguée représente 1,8 % de la superficie irriguée totale du pays. **(DSA, 2022)**

Tableau 10 : Superficies agricoles dans la wilaya de Relizane

Type de superficie	Valeur (ha)	Pourcentage (%) par rapport à la superficie totale
Superficie totale de la wilaya	484 000	100 %
Superficie Agricole Totale (SAT)	297 387	61,4 %
Superficie Agricole Utile (SAU)	281 870	58,2 %
Superficie forestière	-	10,5 %
SAU par rapport à la SAU nationale	-	3,36 %
Superficie irriguée	-	1,80 %

SOURCE : DSA, 2022

2.9.2 Répartition des cultures

L'agriculture de Relizane est diversifiée et se compose de grandes cultures, de cultures maraîchères et de cultures pérennes. Les grandes cultures occupent environ 400 000 hectares, dont 120 000 hectares dédiés aux céréales, et 10 000 hectares consacrés au maraîchage. Les cultures pérennes — essentiellement l'arboriculture et la viticulture — couvrent 7,05 % de la SAU, soit 19 900 hectares, dont 2 128 hectares de vigne. La jachère, quant à elle, occupe une superficie de 119 751 hectares. **(DSA, 2022)**

2.9.3 Production céréalière

La céréaliculture représente une composante essentielle de l'activité agricole dans la wilaya de Relizane. Elle dépend fortement des conditions climatiques et de la disponibilité des ressources en eau.

2.9.3.1 Céréales d'hiver

La campagne agricole 2017/2018 a été particulièrement productive en matière de céréales d'hiver, atteignant une production totale de 60,57 millions de quintaux, contre 34,7 millions de quintaux lors de la campagne précédente, soit une hausse globale de 75 %. **(MADR, 2018)**

Dans le détail :

- Blé dur : 31,78 millions de qx en 2017/2018 contre 19,91 millions en 2016/2017 (+60%)
- Orge : 19,57 millions de qx contre 9,69 millions qx (+102 %)
- Blé tendre : 8,03 millions qx contre 4,45 millions qx (+80 %)
- Avoine : 1,18 million qx contre 0,64 qx million (+84 %)
- Triticale : légère hausse de 350 qx à 2 400 qx (+586 %).

2.9.3.2 Céréales d'été

Les **céréales d'été** ont également connu une progression notable, passant de **76 060 quintaux** en 2016/2017 à **91 340 quintaux** en 2017/2018 (+20 %). Cette hausse est principalement due à la performance du **maïs**, dont la production a plus que doublé, atteignant **55 125 quintaux** contre **26 335 quintaux** l'année précédente (+109 %). En revanche, la production de **sorgho** a chuté de **49 725 à 36 215 quintaux** (-27 %). **(MADR, 2018)**

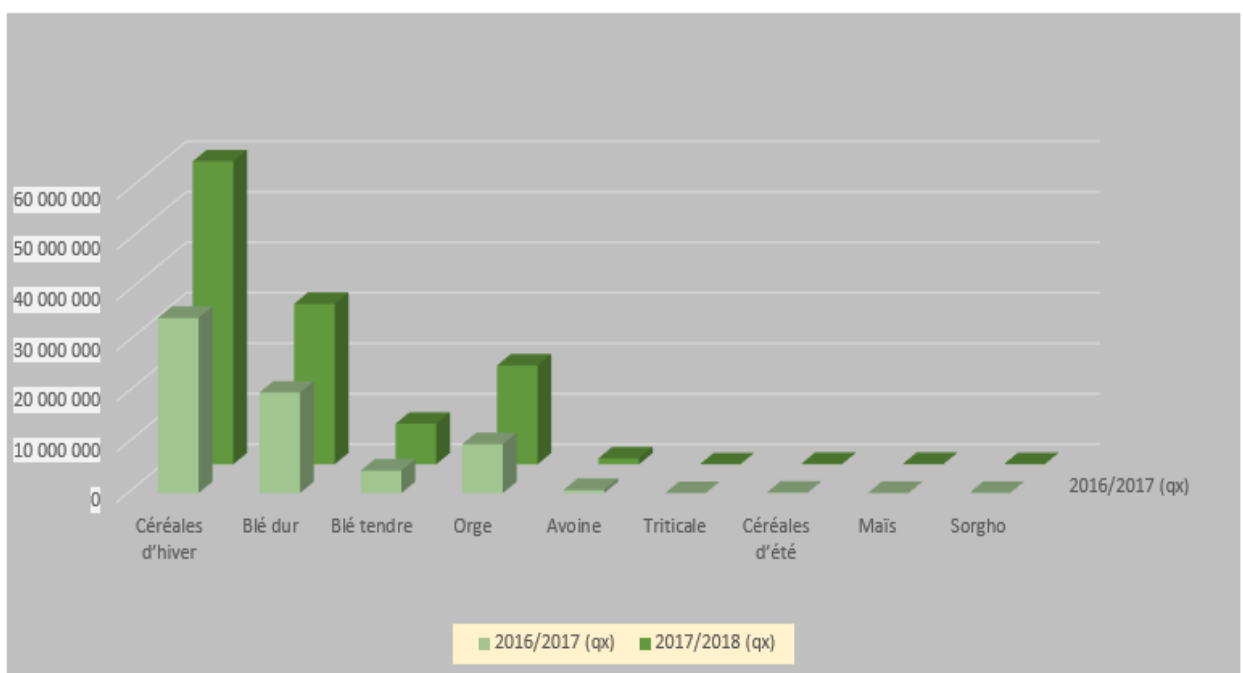
Tableau 11 : Production des céréales (2016/2017 vs 2017/2018)

Culture	2016/2017 (qx)	2017/2018 (qx)	Variation (%)
Céréales d'hiver	34 702 520	60 568 040	+75 %
Blé dur	19 909 570	31 780 207	+60 %
Blé tendre	4 455 460	8 031 984	+80 %
Orge	9 696 964	19 573 271	+102 %

Avoine	640 175	1 180 178	+84 %
Triticale	350	2 400	+586 %
Céréales d'été	76 060	91 340	+20 %
Maïs	26 335	55 125	+109 %
Sorgho	49 725	36 215	-27 %

SOURCE : MADR, 2018

Figure 8 : Production des céréales (2016/2017 vs 2017/2018)



2.10 Conclusion :

À travers l'analyse des composantes physiques de la wilaya de Relizane, ce chapitre a mis en lumière la richesse et la complexité du territoire étudié. Le relief varié, les structures géologiques, la diversité des sols et la variabilité climatique constituent autant de facteurs influençant les dynamiques d'occupation du sol. Cette étude du milieu physique permet de poser les bases d'une meilleure compréhension des transformations spatiales observées dans les analyses ultérieures, et souligne la nécessité d'intégrer les contraintes naturelles dans toute démarche d'aménagement ou de gestion durable des ressources.

Chapitre 3 : Approche méthodologique

3.1 Introduction

Après avoir présenté dans le chapitre précédent les caractéristiques physiques et géographiques de la wilaya de Relizane, il convient à présent de passer à l'aspect méthodologique de notre étude. Ce chapitre détaille les différentes étapes techniques adoptées pour analyser les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation du sol. L'approche s'appuie principalement sur l'exploitation de données satellitaires (Landsat), traitées à l'aide de logiciels spécialisés tels qu'ENVI, QGIS et Arc GIS. Nous exposerons les méthodes de prétraitement des images, la classification supervisée ainsi que les techniques d'amélioration et de validation, en vue d'obtenir des cartes fiables illustrant l'évolution de l'occupation du sol dans la région d'étude sur les trois périodes choisies (2004, 2014, 2024).

3.2 Données Utilisées

Dans le cadre de cette étude, différentes données satellitaires et géographiques ont été mobilisées afin d'analyser les dynamiques d'occupation du sol dans la wilaya de Relizane.

3.2.1 Images Satellitaires

Les images satellitaires ont été téléchargées depuis la plateforme **USGS Earth Explorer**, qui offre un accès libre aux données de télédétection.

Les données utilisées proviennent des satellites **Landsat 5** (pour 2004) et **Landsat 8** (pour 2014 et 2024), avec l'exploitation de plusieurs bandes spectrales adaptées à l'analyse des changements d'occupation du sol. L'affichage et la visualisation par la réalisation des compositions colorées, en faisant des trichromies de trois bandes spectrales à une résolution spatiale de 30 m.

Les canaux spectraux utilisés sont :

1. Canal bleu ;
2. Canal vert ;
3. Canal rouge ;
4. Cana proche infrarouge ;
5. Canal SWIR1 ;
6. Canal SWIR2.

Les principales caractéristiques des satellites utilisées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Description des satellites utilisés

Satellites	Landsat 5	Landsat 8
Pays	USA	USA
Date de lancement	1984	2013
Altitude	705 Km	705 Km
Capture	TM (thematic mapper)	OLI (operational land imager) TIRS (thermal infrared sensor)
Bande spectral	7 Bandes	11 Bandes
Type	Radiomètre a balayage	Radiomètre a balayage
Résolution spatiale	30m band6 : 120m	30m : 8band / 15m : 1band / 60m : 2 band
Dimension d'un scene	185*172 km	175*185 km
Fréquence de passage	16 jours	16 jours
Vocation	Végétation et occupation de sol	Végétation et occupation de sol

SOURCE : (NASA, 2021)

Le choix des images a été basé sur plusieurs critères :

- Une couverture nuageuse minimale afin d'assurer la clarté des observations.
- La disponibilité des images durant des périodes clés pour détecter des changements significatifs.
- La compatibilité spectrale entre les différentes missions Landsat facilitant l'analyse diachronique.

3.2.2 Logiciels utilisés et données auxiliaires

Plusieurs outils et données complémentaires ont été utilisés pour améliorer les traitements et assurer une meilleure précision des résultats :

- **ArcGIS** a été utilisé pour le traitement des données géospatiales, notamment pour le découpage selon les limites administratives de la wilaya de Relizane, la vectorisation des éléments cartographiques et l'amélioration de la présentation des cartes.
- **ENVI** a servi pour le prétraitement des images satellitaires (corrections radiométriques et atmosphériques), la classification supervisée de l'occupation du sol, ainsi que la validation des résultats obtenus.
- **QGIS** il a été utilisé principalement pour le module **MOLUSCE (Modules for Land Use Change Simulation)**, permettant la visualisation des changements d'occupation du sol à travers le temps. Ce plugin offre des outils pour calculer les transitions, estimer les probabilités de changement. (**QGIS.org, 2023**)

Par ailleurs, les **limites administratives de la wilaya de Relizane** au format **Shapefile** ont été utilisées pour effectuer un découpage spatial précis des images satellitaires et concentrer l'analyse sur la zone d'étude

3.3 Méthodologie de traitement

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une approche structurée combinant des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG), afin d'analyser de manière rigoureuse les dynamiques d'occupation du sol au niveau de la wilaya de Relizane.

L'approche est articulée autour de plusieurs étapes successives, comme illustré dans l'organigramme de la figure 9.

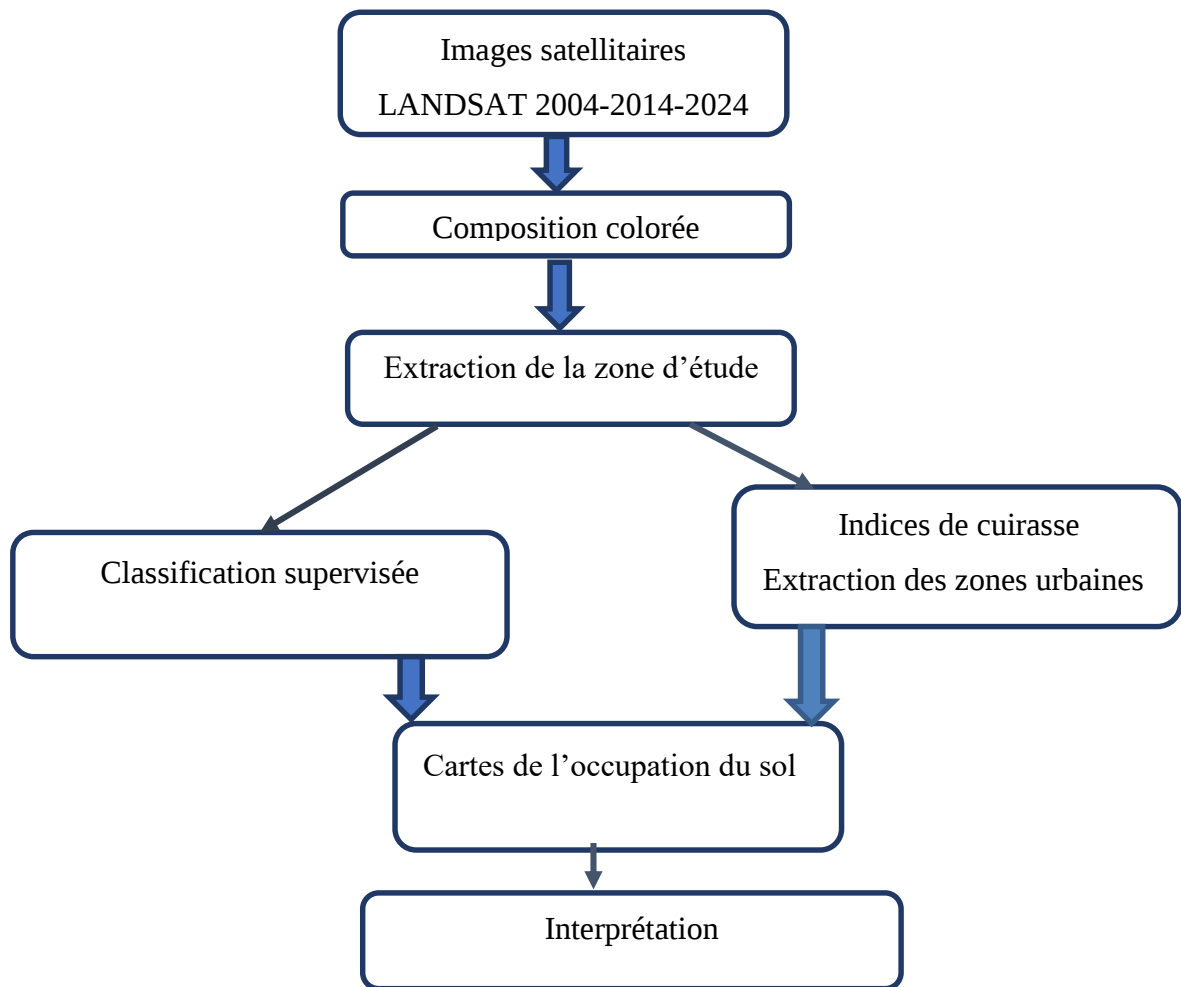


Figure 9 : Organigramme de la méthodologie du travail

Cette étude s'appuie sur l'analyse de séries d'images satellitaires Landsat couvrant trois périodes clés : **2004, 2014 et 2024.**

L'objectif principal est de détecter, de cartographier et de quantifier les transformations majeures du paysage, notamment :

- L'expansion urbaine,
- Les changements dans les surfaces agricoles,
- La régression des espaces naturels.

Pour atteindre ces objectifs, les étapes méthodologiques principales sont les suivantes :

3.4 Prétraitement des images satellitaires :

Le prétraitement des images satellitaires regroupe l'ensemble des opérations nécessaires à l'amélioration de la qualité visuelle et analytique des données, afin de faciliter leur interprétation et leur exploitation ultérieure. Dans le cadre de cette étude, une seule scène Landsat permet de couvrir l'ensemble du territoire de la wilaya de Relizane, ce qui rend l'étape de mosaïque superflue.

Les premières opérations ont consisté en l'amélioration de l'affichage (rehaussement) des images dans le but d'uniformiser les teintes et d'optimiser la lisibilité des bandes spectrales. Par la suite, la délimitation du secteur d'étude a été réalisée à l'aide des limites administratives de la wilaya, sous format *shapefile*, afin d'extraire uniquement la zone pertinente pour les trois dates d'étude : 2004, 2014 et 2024.

Une étape importante a été dédiée à la vérification de la superposabilité des trois images, assurant ainsi leur parfaite coïncidence spatiale. Cette vérification est cruciale pour garantir la fiabilité de l'analyse temporelle et la cohérence des résultats de classification.

Des compositions colorées ont été générées pour faciliter l'interprétation visuelle et la discrimination des différentes unités d'occupation du sol. Ces combinaisons ont été réalisées en associant trois bandes spectrales à chacune des couleurs additives de base (Rouge, Vert, Bleu), selon leur longueur d'onde. Ainsi :

- Pour les images de 2004 (Landsat 5 TM), la trichromie est définie comme suit :
Rouge → bande TM4 (proche infrarouge),
Vert → bande TM3 (rouge),
Bleu → bande TM1 (bleu).
- Pour les images de 2014 et 2024 (Landsat 8 OLI), la combinaison est :
Rouge → bande 5 (proche infrarouge),
Vert → bande 4 (rouge)
Bleu → bande 2 (bleu).

Ces compositions permettent une lecture synthétique et contrastée des éléments du paysage selon leur signature spectrale, en particulier la végétation qui présente une forte réflectance dans le proche infrarouge.

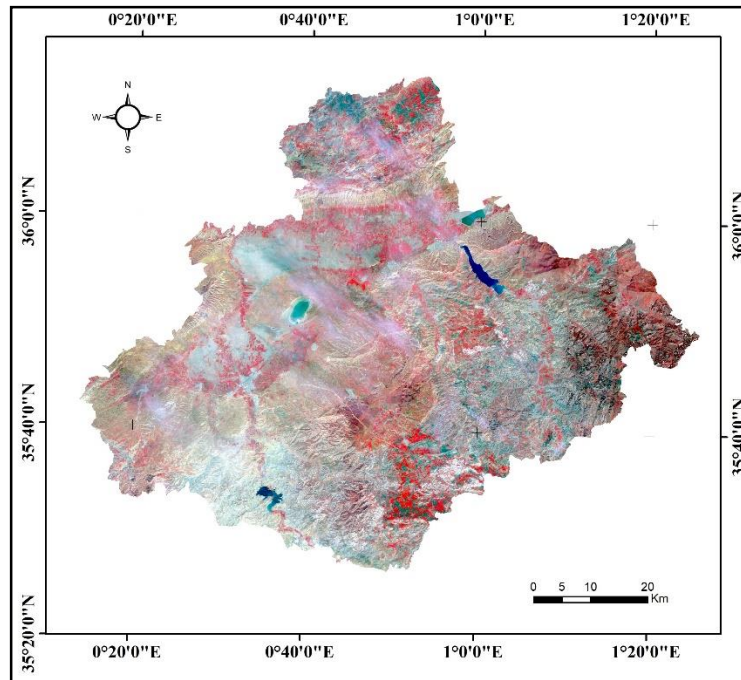


Figure 10 : Composition colorée image 2004

SOURCE : IMAGE LANDSAT, USGS

3.4.1 L'interprétation visuelle :

A joué un rôle fondamental dans cette phase préparatoire. Elle a permis de distinguer diverses entités telles que les zones agricoles, les forêts, les plans d'eau et les sols nus. Cette connaissance préalable du terrain a orienté le choix vers une classification supervisée, qui repose sur l'identification manuelle de zones d'intérêt (ROI) représentant chaque classe d'occupation du sol.

L'ensemble de ces opérations a été mené à l'aide des logiciels **ENVI 4.8** pour le traitement des images, et **ArcGIS** pour les opérations spatiales. Ces étapes garantissent une base solide pour la classification, assurant l'homogénéité et la fiabilité des données analysées.

3.4.2 Indice de cuirasse :

Afin de renforcer la détection des zones urbaines dans les images satellitaires, un indice empirique de cuirasse a été appliqué. Cet indice repose sur une combinaison spectrale simple entre les bandes verte et rouge, selon la formule suivante :

$$\text{Indice de Cuirasse} = (3 \times \text{Vert}) - \text{Rouge} - 100 \dots (\text{Pouchin, 2001})$$

Ce calcul met en évidence les surfaces fortement minéralisées, typiques des milieux urbains, en accentuant le contraste avec les zones végétalisées ou naturelles.

L'extraction des zones urbaines à partir de cet indice a été réalisée dans le logiciel **ENVI** à l'aide de la méthode "Density Slice".

Les fichiers générés ont ensuite été importés dans **ArcGIS** pour une phase d'amélioration cartographique. Cette étape a permis d'affiner les contours des zones urbaines et d'effectuer des corrections manuelles ou semi-automatisées, assurant ainsi une représentation plus précise et fidèle de la réalité terrain.

Une fois les zones urbaines correctement identifiées et améliorées, nous avons procédé à l'exclusion des pixels urbains des images originales. Cette opération a permis d'obtenir une version des images dépourvue de toute présence urbaine, afin de faciliter l'analyse des autres formes d'occupation du sol.

3.5 Classification de l'occupation de sol

La classification des images satellitaires constitue une étape essentielle dans l'analyse de l'occupation du sol. Elle vise à attribuer à chaque pixel de l'image une classe thématique en fonction de sa signature spectrale. Deux grandes familles de classification existent : supervisée et non supervisée.

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour une classification supervisée, en raison de notre connaissance préalable du terrain et des types d'occupation du sol présents dans la région d'étude.

3.5.1 Choix de l'algorithme de la classification

Plusieurs algorithmes de classification supervisée sont utilisés en télédétection pour cartographier l'occupation du sol à partir d'images satellites. Parmi les plus connus, on peut citer : **(Malingreau & Gançarski, 2007)**

- **Support Vector Machine (SVM)** : une méthode performante basée sur la recherche d'un hyperplan optimal séparant les classes. Elle est très utilisée pour sa robustesse, même avec peu d'échantillons.

- **Random Forest (RF)** : un algorithme d'ensemble basé sur plusieurs arbres de décision. Il est particulièrement efficace pour traiter des données complexes et bruitées.
- **Artificial Neural Networks (ANN)** : inspirés du fonctionnement du cerveau humain, ces réseaux permettent de modéliser des relations non linéaires mais nécessitent un grand volume de données d'entraînement.
- **k-Nearest Neighbors (k-NN)** : une méthode simple basée sur la proximité entre les pixels et les échantillons d'entraînement, souvent utilisée à des fins comparatives.

Parmi ces méthodes, nous avons choisi **l'algorithme du Maximum de Vraisemblance (likelihood)**. Ce choix s'explique par plusieurs raisons :

- Il suppose que la distribution spectrale des pixels au sein de chaque classe suit une loi normale (gaussienne), ce qui est généralement vérifié dans les données satellitaires.
- Il évalue la probabilité d'appartenance de chaque pixel à une classe donnée.
- Chaque pixel est ensuite affecté à la classe pour laquelle cette probabilité est maximale.
- En plus de fournir des résultats fiables, cette méthode réduit considérablement les erreurs de classification, notamment grâce à la prise en compte de la variance-covariance des données.
- Elle permet également, en cas de nécessité, de ne pas classer les pixels dont la probabilité est inférieure à un seuil défini, évitant ainsi les classifications incertaines.

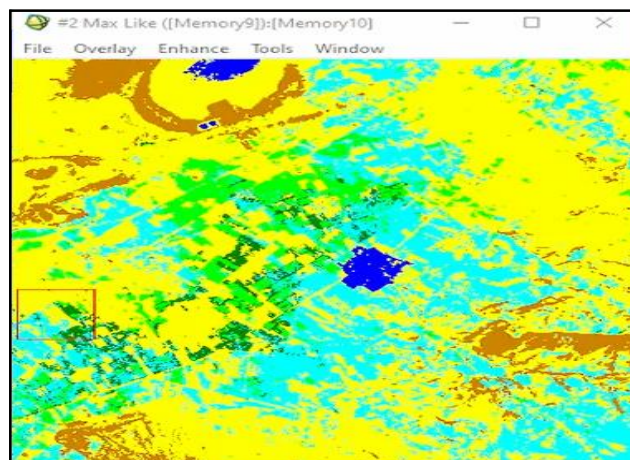


Figure 11 : Classification likelihood

SOURCE : IMAGE LANDSAT, USGS

Afin d'améliorer davantage la qualité des résultats obtenus après la classification supervisée, une étape d'amélioration par l'analyse majority/minority a été appliquée. Cette technique consiste à examiner, pour chaque pixel, la classe dominante dans son voisinage immédiat (fenêtre de convolution). Si la classe du pixel diffère significativement de la majorité des classes voisines, elle est réaffectée à cette classe majoritaire.

Cette opération permet de corriger les erreurs ponctuelles de classification, d'éliminer les « bruits » (petites taches isolées) et de produire une carte thématique plus homogène, mieux structurée et plus facile à interpréter. L'analyse majority/minority contribue ainsi à lisser l'image classée tout en respectant la distribution spatiale des unités d'occupation du sol.

3.5.2 Création des échantillons d'apprentissage (ROI)

Avant d'appliquer l'algorithme, des échantillons d'apprentissage, appelés Regions of Interest (ROI), ont été définis dans le logiciel **ENVI 4.8**. Ces échantillons sont représentatifs des principales classes d'occupation du sol identifiées à partir de l'interprétation visuelle des images et de la connaissance du terrain.

Les classes thématiques retenues dans notre étude sont :

- Plans d'eau
- Forêts
- Zones agricoles
- Sols nus
- Maquis
- Zones urbaines

Tableau 13 : Thèmes des échantillons d'apprentissage

ROI Name	Color	Pixels
Plan d'eau	Bleu	94
Agriculture	Vert	98
Terrain nu	Yellow	91
Foret	Green3	89

Maquis	Cyan	83
---------------	------	----

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

Chaque ROI a été soigneusement délimité sur l'image pour assurer une représentativité fiable de la classe correspondante. Ces échantillons ont ensuite servi de base pour entraîner l'algorithme de classification supervisée, garantissant une bonne différenciation entre les différentes catégories d'occupation du sol.

La figure 13 donne un aperçu sur la nature des objets identifiés sur l'image, leur comportement spectral sur l'ensemble du spectre électromagnétique.

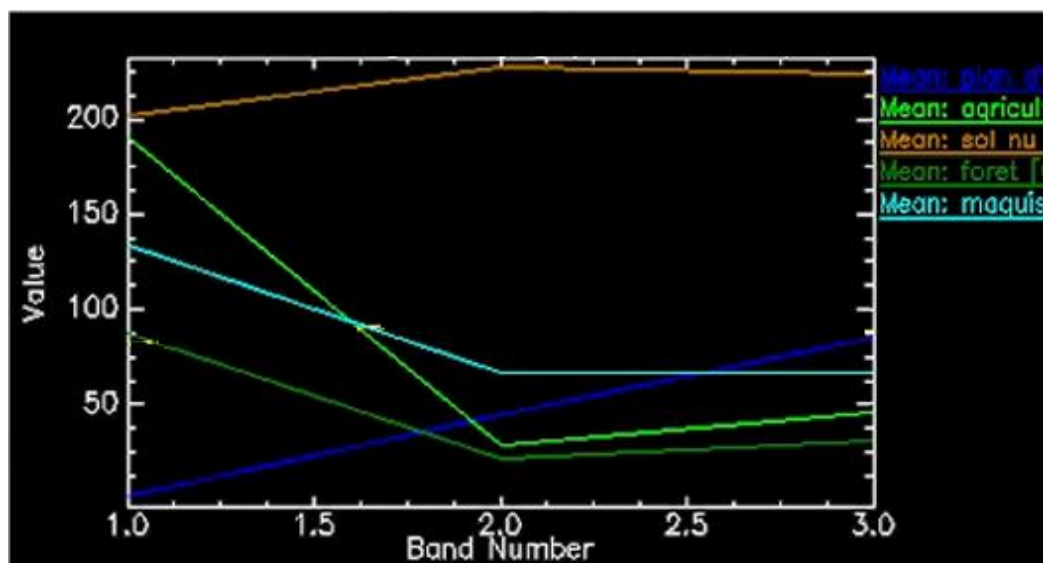


Figure 12 : Signature spectrale de chaque classe définie à partir des ROIS

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

3.5.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage

Avant de procéder à la classification supervisée, il est essentiel d'évaluer la séparabilité spectrale des classes définies à travers les échantillons d'apprentissage (ROI). Cette étape vise à s'assurer que les signatures spectrales des différentes classes d'occupation du sol sont suffisamment distinctes pour permettre une classification fiable. (**Girard & Girard, 1999**)

La réalisation de la classification des images nécessite la mesure de la séparabilité entre les différentes classes identifiées, ce calcul de la distance spectrale interclasses fournit des statistiques qui varient entre 0 et 2. (**Girard & Girard, 1999**)

$0.0 < x < 1.0$ (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classes)

$1.0 < x < 1.9$ (séparabilité faible)

$1.9 < x < 2.0$ (bonne séparabilité, 2 séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion).

L'analyse de ces indices permet : **(Congalton, R. G, 1991)**

- De confirmer la validité des classes définies ;
- D'ajuster ou regrouper certaines classes si nécessaires ;
- D'améliorer la qualité globale de la classification finale.

Une classe dont la séparabilité par rapport à un autre est faible doit être soit confondue avec celle-ci ou redéfinie. Dans notre cas et pour les échantillons d'apprentissage nous avons calculé la séparabilité entre les classes, nous avons trouvé que les valeurs de séparabilité varient entre 1.65 et 2 (figure 14). En examinant tous les résultats, on a une bonne séparabilité dans l'ensemble, on peut conclure que la classification sera bien faite.

Tableau 14 : Séparabilité entre les classes d'apprentissage

agriculture [Green] 98 points : (1.98617159 1.99954340)
sol nu [Orange3] 82 points : (2.00000000 2.00000000)
laboure [Yellow] 99 points : (1.99933570 1.99998569)
maquis [Cyan] 83 points : (1.65839775 1.94152374)
maquis [Cyan] 83 points :
plan d'eau [Blue] 118 points : (1.99999061 2.00000000)
agriculture [Green] 98 points : (1.84655611 1.97288435)
sol nu [Orange3] 82 points : (1.99759475 1.99999656)
laboure [Yellow] 99 points : (1.88897823 1.98757599)
foret [Green3] 89 points : (1.65839775 1.94152374)

Pair Separation (least to most):
foret [Green3] 89 points and marquis [Cyan] 83 points 1.65839775
agriculture [Green] 98 points and maquis [Cyan] 83 points 1.84655611
laboure [Yellow] 99 points and maquis [Cyan] 83 points 1.88897823
agriculture [Green] 98 points and foret [Green3] 89 points 1.98617159
plan d'eau [Blue] 118 points and laboure [Yellow] 99 points 1.98951054
sol nu [Orange3] 82 points and laboure [Yellow] 99 points 1.99424425
sol nu [Orange3] 82 points and naquis [Cyan] 83 points 1.99759475
laboure [Yellow] 99 points and foret [Green3] 89 points 1.99933570
agriculture [Green] 98 points and laboure [Yellow] 99 points 1.99995660
plan d'eau [Blue] 118 points and naquis [Cyan] 83 points 1.99999061
plan d'eau [Blue] 118 points and foret [Green3] 89 points 1.99999972
sol nu [Orange3] 82 points and foret [Green3] 89 points 2.00000000
agriculture [Green] 98 points and sol nu [Orange3] 82 points 2.00000000
plan d'eau [Blue] 118 points and agriculture [Green] 98 points 2.00000000
plan d'eau [Blue] 118 points and sol nu [Orange3] 82 points 2.00000000

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

3.5.4 Validation de la classification

À l'issue de la classification supervisée, une phase de validation a été conduite afin d'évaluer la fiabilité des résultats et la qualité des cartes produites. Cette étape repose essentiellement sur l'utilisation de la matrice de confusion, qui permet de comparer les classes attribuées automatiquement par l'algorithme à des données de référence indépendantes (vérités terrain ou échantillons de validation distincts de ceux de l'apprentissage).

La matrice de confusion permet de calculer plusieurs indicateurs de performance, parmi lesquels :

- **L'exactitude globale (Overall Accuracy)** : il s'agit de la proportion de pixels correctement classés par rapport à l'ensemble des pixels testés. Une valeur supérieure à **85 %** est généralement considérée comme **très satisfaisante**, tandis qu'une valeur entre **70 % et 85 %** indique une **bonne qualité**, et en dessous de **70 %**, la classification est jugée **moins fiable**. (CNES, 2018)
- **L'indice Kappa** : c'est une mesure statistique qui évalue la concordance entre la classification produite et les données de référence, en prenant en compte les accords dus au hasard. (CNES, 2018)

Son interprétation est généralement la suivante :

- **Kappa > 0,80** : très bonne concordance,
- **0,60 ≤ Kappa ≤ 0,80** : bonne concordance,
- **0,40 ≤ Kappa < 0,60** : concordance moyenne,
- **Kappa < 0,40** : faible concordance.
- **Les précisions par classe** :
 - **User's Accuracy** : reflète la fiabilité de la classe du point de vue de l'utilisateur (commission),
 - **Producer's Accuracy** : évalue la capacité du classificateur à détecter correctement une classe donnée (omission).

Ces valeurs sont considérées comme **acceptables** au-delà de **80 %**, mais doivent être interprétées au cas par cas selon l'objectif de l'étude. (CNES, 2018)

Dans le cadre de cette étude, la validation a été réalisée à l'aide des outils intégrés au logiciel **ENVI**, en veillant à utiliser des échantillons de test indépendants pour garantir une évaluation impartiale. Les résultats issus de cette validation – y compris la matrice de confusion et les indicateurs de précision – seront présentés et analysés en détail dans le chapitre suivant consacré à l'interprétation des résultats.

3.5 Conclusion

L'ensemble des traitements méthodologiques présentés dans ce chapitre a permis de générer des cartes thématiques précises représentant les différentes classes d'occupation du sol. Grâce à la combinaison des outils de télédétection et des méthodes de classification,

nous avons pu établir une base solide pour l'analyse des transformations spatiales. Le prochain chapitre sera ainsi consacré à la présentation des résultats obtenus, à leur interprétation spatio-temporelle, ainsi qu'à l'évaluation de la précision des classifications réalisées, afin d'avoir des conclusions pertinentes sur les dynamiques territoriales de la wilaya de Relizane.

Chapitre 4 : Etude et résultats

4.1 Introduction :

Ce chapitre présente les résultats issus du traitement et de la classification des images satellitaires, ainsi que leur interprétation dans le cadre de l'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane.

La première partie expose les performances des classifications supervisées réalisées pour les années 2004, 2014 et 2024, en s'appuyant sur les matrices de confusion, les taux de précision, ainsi que les coefficients de Kappa.

Ensuite, les superficies des différentes classes d'occupation du sol ont été calculées à l'aide de la méthode des Zonal Statistics (Arc GIS), permettant de quantifier les évolutions observées.

Par la suite, une modélisation des changements a été effectuée à l'aide du plugin MOLUSCE sous QGIS, permettant de visualiser les tendances de transformation des classes d'occupation du sol sous forme de cartes de changement.

Dans une dernière étape, une analyse des dynamiques spatio-temporelles est réalisée à travers des comparaisons décennales (2004–2014, 2014–2024), ainsi qu'une analyse globale couvrant l'ensemble de la période étudiée (2004–2024).

4.2 Évaluation de la qualité de la classification

Afin de garantir la fiabilité des résultats obtenus à travers la classification supervisée, une évaluation de la qualité a été entreprise pour chaque année analysée. Cette évaluation repose sur la comparaison entre les classes attribuées et des échantillons de validation indépendants.

Dans notre cas, nous n'avons pas réalisé des sorties sur le terrain, les échantillons de validation ont été déterminés à partir de l'interprétation visuelle des images satellitaires, croisée avec une connaissance préalable du terrain. L'échantillonnage a été effectué sur l'ensemble de l'image afin d'assurer une représentativité spatiale adéquate.

Les emplacements des échantillons de validation utilisés sont présentés au tableau 15, à titre d'exemple pour l'année 2004. Ces points ont servi de base pour la vérification des résultats du classificateur pour cette année, selon une répartition spatiale représentative.

Tableau 15 : Thèmes des échantillons de validation l'image 2004

ROI Name	Color	Pixels
Plan d'eau	Bleu	151
Agriculture	Vert	212
Terrain nu	Yellow	169
Foret	Green3	202
Maquis	Cyan	155

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

4.3 Les matrices de confusion

Pour évaluer notre classification, nous avons établi une matrice de confusion qui à parvenir de mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications. La matrice de confusion permet de confronter des échantillons de validation au résultat de la classification et d'évaluer la précision de la classification par rapport à la référence sur les échantillons de validation.

4.3.1 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2004

Tableau 16 : Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2004

Classes	Plan d'eau	Agriculture	Terrain nu	Forêt	Maquis	Commission
Plan d'eau	100	0	0	0	0	0.00
Agriculture	0	98.98	0	0	1.02	5.83
Terrain nu	0	0	100	0	0	0
Forêt	0	0	0	98.98	1.02	8.33
Maquis	0	1.02	0	0	98.98	2.82
Total (%)	100	100	100	100	100	—

Prod. acc.	100	98.98	100	98.98	98.98	—
Précision globale	553/569 (97,19 %)					
Coefficient Kappa	0,9661					

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

La classification supervisée réalisée pour l'année 2004 a été évaluée à l'aide d'une matrice de confusion générée dans le logiciel ENVI. Les résultats montrent une **précision globale élevée de 97,19 %**, accompagnée d'un **coefficient de Kappa de 0,9661**, ce qui traduit une excellente qualité de la classification et une grande fiabilité dans l'identification des différentes classes d'occupation du sol.

L'analyse détaillée des classes révèle les performances suivantes :

- **Plan d'eau** : cette classe a été parfaitement identifiée, avec **100 % de précision utilisateur et producteur**, sans aucune confusion avec les autres classes. Elle représente donc une catégorie très stable dans l'interprétation des images satellitaires.
- **Agriculture** : elle affiche une **précision productrice de 98,98 %** et une **précision utilisateur de 94,17 %**, avec une légère confusion observée avec la classe « Maquis » (1,02 %). Cela indique que la majorité des pixels agricoles ont été correctement classés, malgré une faible marge d'erreur.
- **Terrain nu** : cette classe présente des résultats parfaits, avec **100 % de précision aussi bien pour le producteur que pour l'utilisateur**, ce qui montre une identification très fiable de cette occupation du sol.
- **Forêt** : avec une **précision productrice de 98,98 %** et une **précision utilisateur de 91,67 %**, la classe forêt reste très bien reconnue. L'erreur de commission (8,33 %) provient principalement d'une confusion mineure avec le maquis.
- **Maquis** : cette classe atteint une **précision productrice de 98,98 %** et une **précision utilisateur de 97,18 %**, démontrant une bonne stabilité malgré une confusion minime avec les classes agricoles et forestières.

Dans l'ensemble, **553 pixels sur 569 ont été correctement classés**, ce qui reflète une performance très satisfaisante pour une classification supervisée à cette échelle. Les erreurs d'omission et de commission sont marginales, confirmant la fiabilité du processus de classification.

En conclusion, les résultats de l'année 2004 montrent une classification de haute qualité, avec une différenciation nette entre les différentes classes d'occupation du sol. Ces performances offrent une base solide pour l'analyse spatio-temporelle des dynamiques paysagères de la wilaya de Relizane.

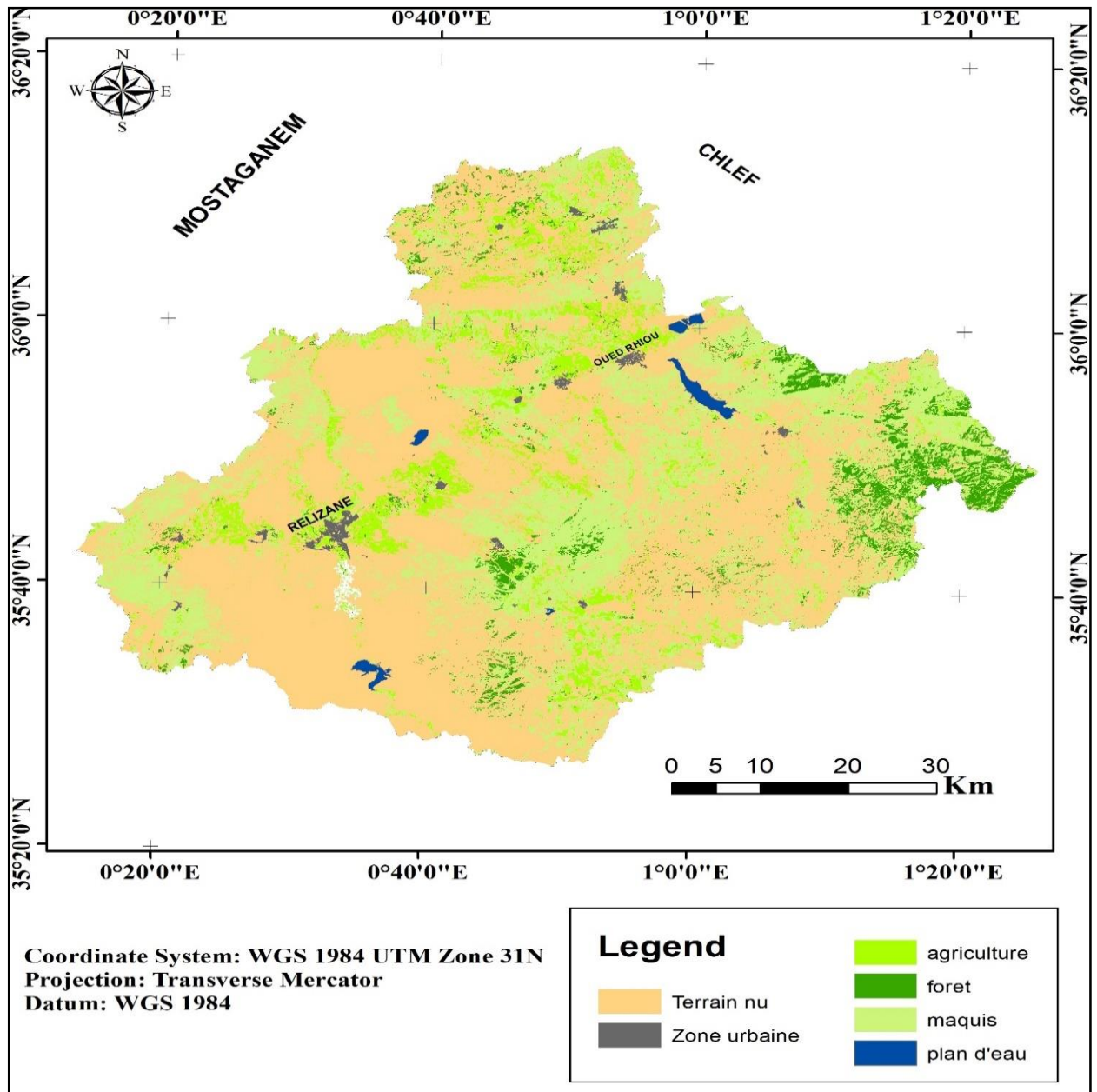


Figure 13 : carte d'occupation du sol en 2004 de la wilaya de Relizane

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARC GIS

4.3.2 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2014

Tableau 17. Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2014

Classes	Forêt	Agriculture	Maquis	Terrain nu	Plan d'eau	Commission
Forêt	69,23	0	0	0	0	0
Agriculture	16,92	98,98	0	0	0	15.49
Maquis	0	0	100	0	0	55.17
Terrain nu	13,85	0	0	100	0	13.43
Plan d'eau	0	0	0	0	98,88	0
Total	100	100	100	100	100	
prod. Acc	69.23	98.98	100	100	98.88	
Précision globale	263 / 299 (87,96 %)					
Coefficient Kappa	0,8527					

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

Pour l'année 2014, la validation de la classification supervisée a été réalisée à partir d'un échantillonnage de pixels testés indépendamment. La **précision globale** atteinte est de **87,96 %**, soit 263 pixels correctement classés sur 299. Le **coefficient de Kappa** s'élève à **0,8527**, ce qui témoigne d'une concordance acceptable entre les résultats du classificateur et les données de référence, bien que cette valeur soit inférieure à celle obtenue en 2004.

L'analyse par classe révèle les résultats suivants :

- **Forêt** : cette classe présente une **précision productrice de 69,23 %** et une **précision utilisateur de 100 %**, ce qui indique que tous les pixels classés comme « forêt » sont corrects, mais qu'une proportion significative de la végétation forestière a été confondue avec d'autres classes, notamment l'agriculture et le terrain nu.

- **Agriculture** : elle se distingue par une **excellente précision productrice de 98,98 %** et une **précision utilisateur de 84,51 %**, avec quelques confusions provenant de pixels initialement forestiers (16,92 %). Malgré cela, la classe reste bien reconnue.
- **Maquis** : la classification de cette classe est parfaite selon la matrice, avec **100 % de précision producteur et utilisateur**, bien qu'elle soit sujette à une erreur de commission importante (55,17 %), suggérant que des pixels appartenant à d'autres classes ont été à tort assignés au maquis.
- **Terrain nu** : cette classe présente également de très bons résultats, avec une **précision producteur et utilisateur de 100 %**, bien que 13,85 % des pixels forestiers aient été mal classés comme terrain nu. Son **erreur de commission est modérée (13,43 %)**.
- **Plan d'eau** : cette classe reste extrêmement bien identifiée, avec **une précision productrice de 98,88 %** et **aucune erreur de commission détectée**, démontrant une très bonne séparation spectrale.

Dans l'ensemble, malgré quelques confusions localisées, la classification reste **globalement fiable**, ce qui permet d'utiliser les résultats dans l'analyse temporelle des dynamiques d'occupation du sol. Toutefois, ces erreurs doivent être prises en compte dans l'interprétation finale, notamment pour les classes sujettes à confusion comme la forêt et le maquis.

Et enfin nous avons réalisé une carte d'occupation du sol de la wilaya de Relizane pour l'année 2014 (Figure 15.).

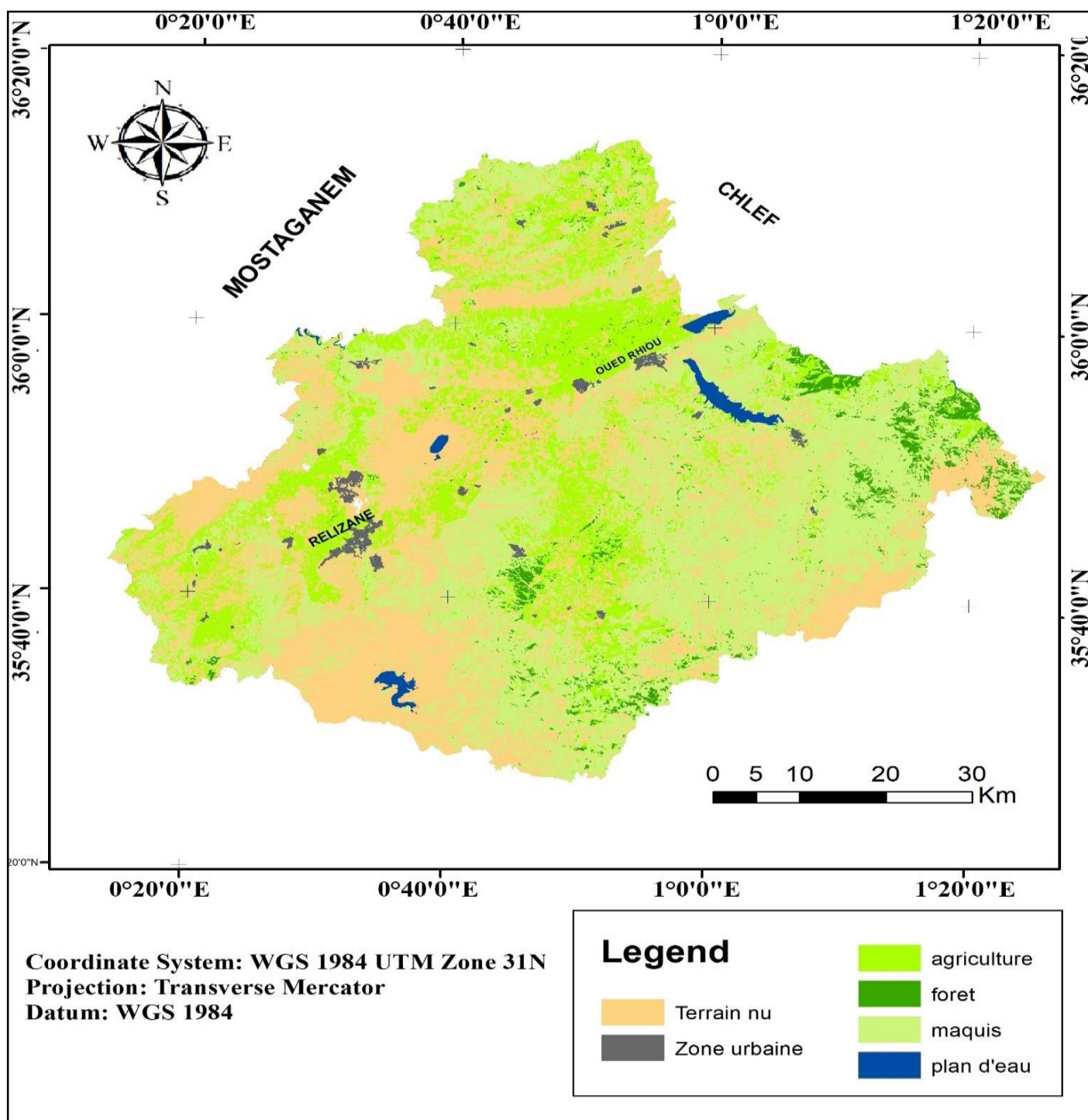


Figure 14 : Carte d'occupation du sol en 2014 de la wilaya de Relizane.

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARCGIS

4.3.3 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2024-

Tableau 18 .Matrice de confusion pour l'image classifiée de 2024

Classes	Agriculture	Terrain nu	Forêt	Maquis	Plan d'eau	Commission
Agriculture	88.41	0	0	0	0	17.01
Terrain nu	0	86.11	31.08	1.59	0	9.95
Forêt	11.59	0	68.92	0	0	23.88
Maquis	0	13.89	0	98.41	0	16.78
Plan d'eau	0	0	0	0	100	0.00
Total (%)	100	100	100	100	100	—
Prod. acc.	88.41	86.11	68.92	98.41	100	—
Précision globale	583 / 649 (89,83 %)					
Coefficient Kappa	0,8765					

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ENVI

La classification supervisée de l'année 2024 a été évaluée à l'aide de 649 échantillons de validation indépendants. Le taux de **précision globale atteint 89,83 %**, avec un **coefficient de Kappa de 0,8765**, ce qui reflète un niveau de fiabilité globalement bon, bien qu'inférieur à celui de 2004 mais légèrement supérieur à celui de 2014.

L'examen détaillé par classe met en évidence les observations suivantes :

- **Agriculture** : cette classe conserve une **précision productrice de 88,41 %** et une **précision utilisateur de 83 % environ**, avec des erreurs de commission modérées (17,01 %), principalement dues à une confusion avec la forêt. Elle reste toutefois très bien identifiée.
- **Terrain nu** : bien reconnue, cette classe affiche une **précision productrice de 86,11 %** et une **précision utilisateur d'environ 90 %**, bien que 13,89 % des pixels du

maquis aient été attribués à cette classe. Quelques erreurs de commission (9,95 %) sont à noter, notamment avec la forêt.

- **Forêt** : cette classe montre une **précision productrice plus faible (68,92 %)**, indiquant une confusion importante avec l'agriculture (11,59 %) et le terrain nu (31,08 %). Son taux d'erreur de commission reste assez élevé (23,88 %), reflétant une variabilité spectrale ou une transition écologique dans ces zones.
- **Maquis** : très bien identifiée dans cette classification, elle atteint une **précision productrice de 98,41 %**, avec une erreur de commission notable (16,78 %), en partie liée à la confusion avec le terrain nu.
- **Plan d'eau** : parfaitement classée, cette classe affiche **100 % de précision producteur et utilisateur**, sans aucune erreur d'omission ni de commission, confirmant sa forte signature spectrale distincte.

Dans l'ensemble, **583 pixels sur 649** ont été correctement classés, avec un taux d'erreur global limité. Le coefficient de Kappa de **0,8765** confirme une forte fiabilité des résultats, bien au-delà de ce qui serait attendu par simple hasard.

En conclusion la classification de 2024 est globalement de haute qualité. La majorité des classes sont très bien distinguées. Ces résultats sont jugés suffisants pour permettre une analyse rigoureuse de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane.

Après le lancement de cette classification, Nous avons obtenu une carte d'occupation du sol en 2024 de la wilaya de Relizane.

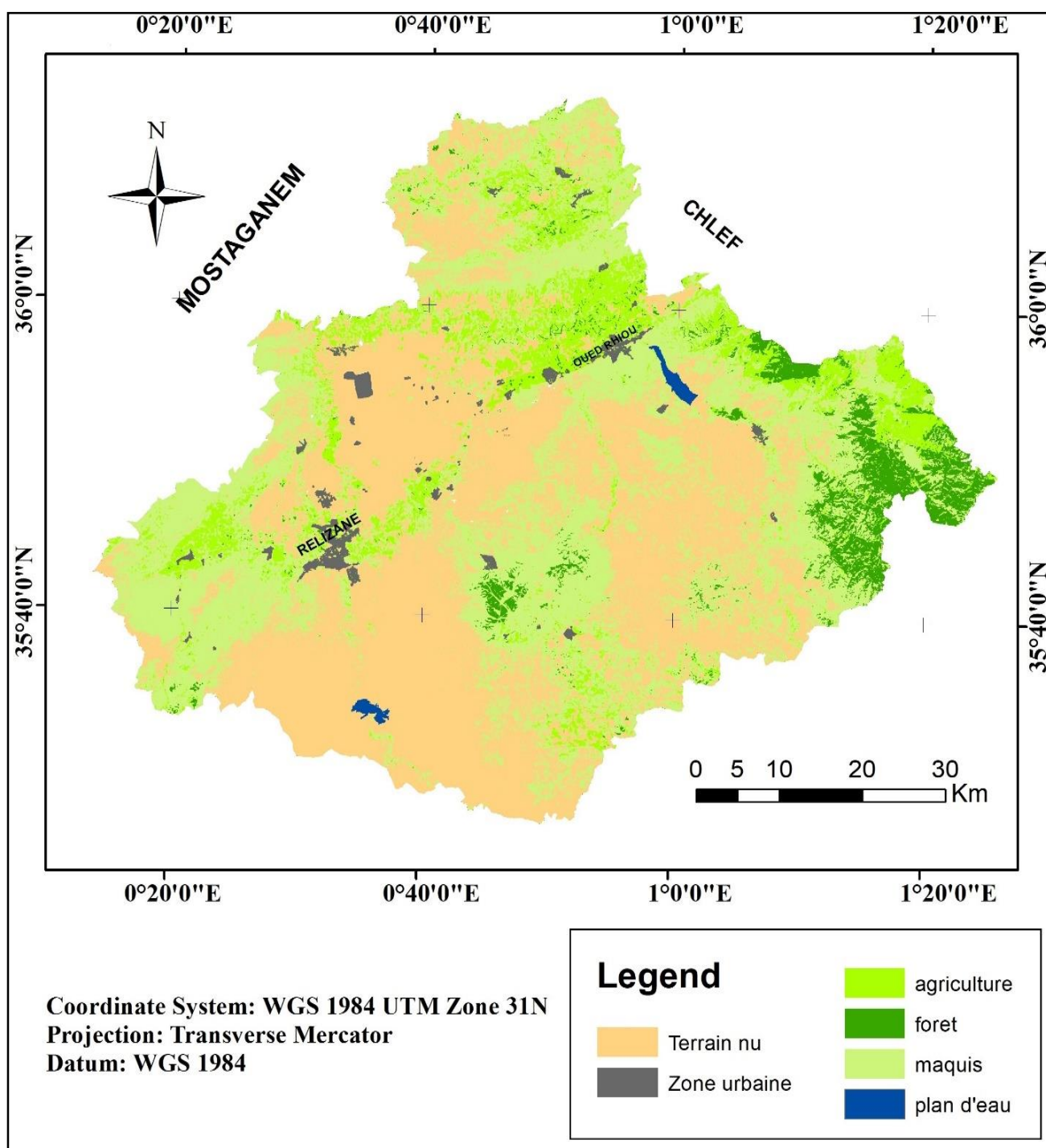


Figure 15 : carte d'occupation du sol en 2024 de la wilaya de Relizane.

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARC GIS

4.4 Analyse spatio-temporelle et quantitative des dynamiques d'occupation du sol

Dans cette section, nous procédons à une analyse spatio-temporelle et quantitative des dynamiques d'occupation du sol observées dans la wilaya de Relizane sur la période d'étude. Les superficies couvertes par chaque classe d'occupation du sol ont été calculées à l'aide d'ArcGIS, permettant ainsi de quantifier les changements survenus entre les différentes dates retenues pour l'analyse.

Cette approche vise à identifier les tendances majeures, telles que l'extension des zones agricoles, la régression des espaces forestiers ou encore l'évolution des zones nues ou urbanisées. Par ailleurs, la comparaison des cartes thématiques issues des classifications successives permet de mettre en évidence la localisation spatiale des changements et de mieux comprendre les dynamiques territoriales à l'œuvre dans la région étudiée.

4.4.1 Taux moyen annuel d'expansion spatiale

Les variations spatio-temporelles de l'occupation du sol ont été quantifiées en calculant, pour chaque classe, le taux de changement entre deux dates à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Taux de changement (\%)} = ((\text{Surface}_{t2} - \text{Surface}_{t1}) / \text{Surface}_{t1}) \times 100$$

Où Surface_{t1} et Surface_{t2} représentent respectivement les superficies occupées par une classe donnée aux années t_1 et t_2 . Cette approche permet d'évaluer l'ampleur relative de l'expansion ou de la régression des unités d'occupation du sol entre deux périodes d'observation. (Bissour, 2019)

Tableau 19 : Bilan quantitatif des changements d'occupation du sol entre 2004, 2014 et 2024

Occupation	Surface			Changement					
	2004 (ha)	2014 (ha)	2024 (ha)	Δ 2004- 2014 (ha)	Δ 2014- 2024 (ha)	Δ 2004- 2024 (ha)	% 2004- 2014	% 2014- 2024	% 2004- 2024
Zone urbain	3013.5	9094.3	9561.6	+6080.8	+467.3	+6548.1	+201.79%	+5.14%	+217.29%

Forêt	21848.6	13984.5	22589.5	-7864.1	+8605.0	+740.9	-35.99%	+61.53%	+3.39%
Agriculture	37329.2	97150.0	48670.0	+59820.8	-48480.0	+11340.8	+160.25%	-49.90%	+30.38%
Maquis	215576.6	196086	185606.2	-19490.6	-10479.8	-29970.4	-9.04%	-5.34%	-13.90%
Terrain nu	283903.2	170315	222660.6	-113588.2	+52345.6	-61242.6	-40.01%	+30.73%	-21.57%
Plan d'eau	3419.7	4955.2	1554.1	+1535.5	-3401.1	-1865.6	+44.90%	-68.64%	-54.55%

SOURCE : TRAITEMENT SOUS QGIS

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane a été menée à partir des cartes de classification supervisée obtenues pour les années 2004, 2014 et 2024. Celles-ci ont été traitées dans l'environnement **QGIS**, via le plugin **MOLUSCE**, afin de générer :

- des tableaux statistiques des superficies par classe,
- des matrices de transition,
- ainsi que des cartes de changement illustrant les dynamiques spatio-temporelles observées.

Les tableaux statistiques ainsi que les matrices de transition sont disponibles en **annexe** (voir Annexes A, B et C), et constituent la base de l'interprétation cartographique présentée dans cette section.

Ces résultats mettent en évidence des transformations significatives de l'occupation du sol au cours des deux dernières décennies, en lien avec divers facteurs naturels et anthropiques.

À noter que chaque classe d'occupation est codée numériquement dans Les tableaux statistiques et les matrices de transition comme suite :

1. Plan d'eau,
2. Zone urbaine,
3. Agriculture,
4. Forêt,
5. Maquis,
6. Terrain nu.

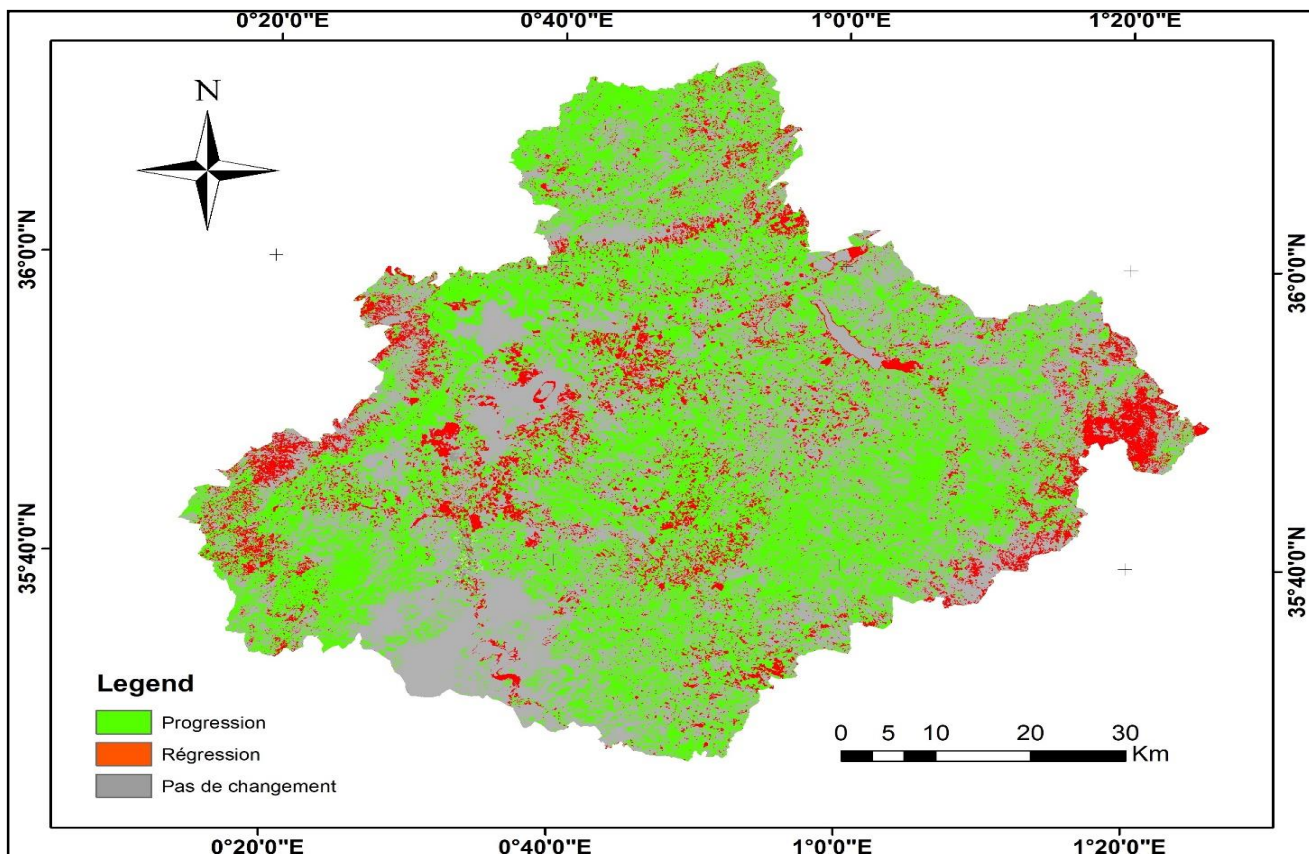


Figure 16 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2004-2014
SOURCE : TRAITEMENT SOUS QGIS

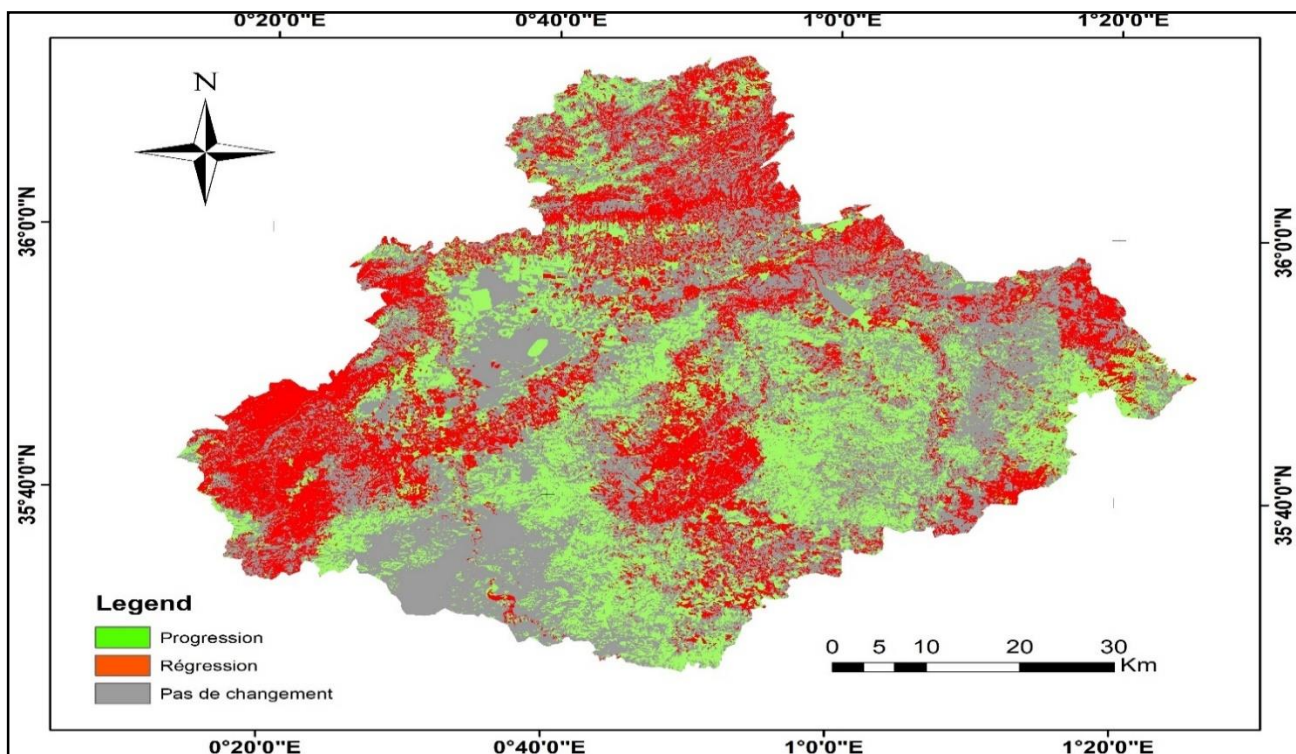


Figure 17 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2014-2024
SOURCE : TRAITEMENT SOUS QGIS

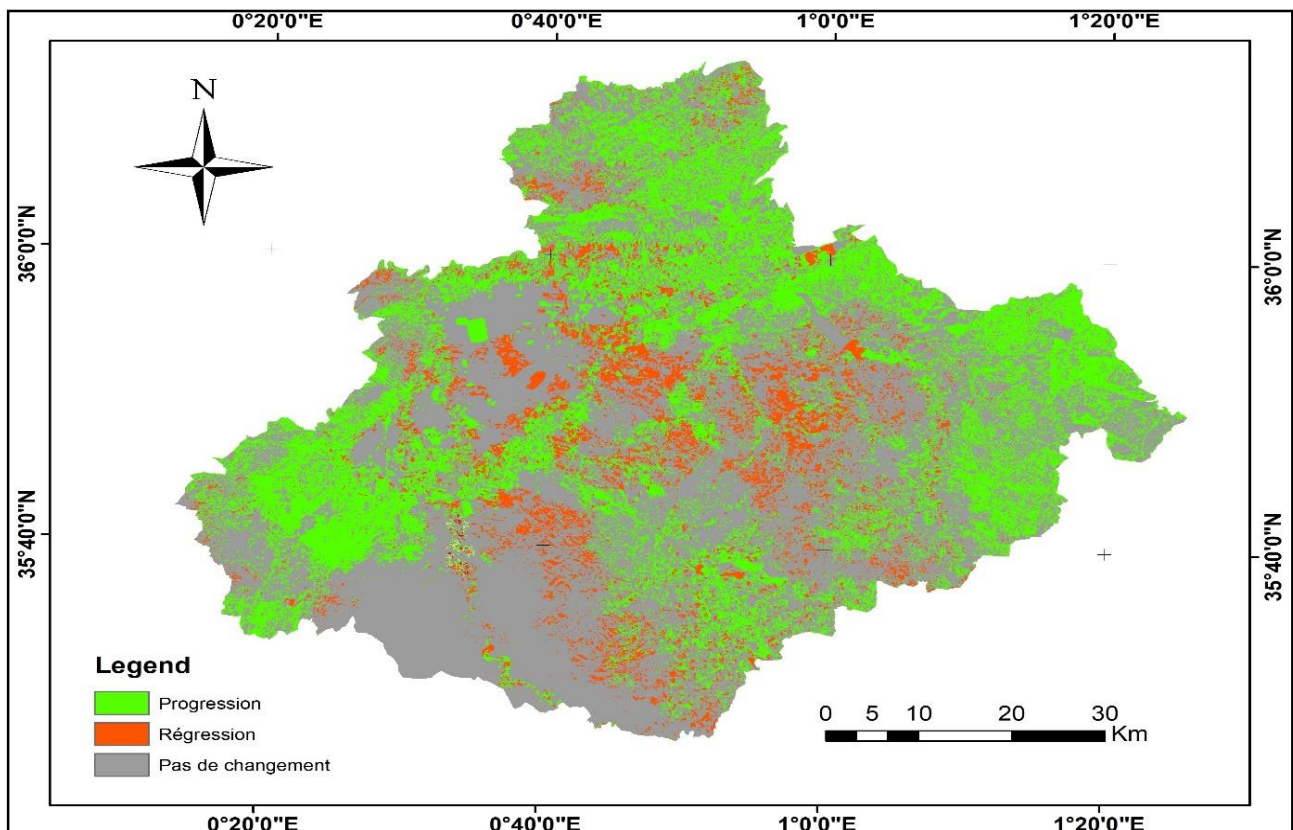


Figure 18 : Changements d'occupation du sol la wilaya de Relizane 2004-2024

SOURCE : TRAITEMENT SOUS QGIS

4.4.2 Entre 2004 et 2014

Durant cette période, le territoire de la wilaya de Relizane a connu d'importantes mutations dans la répartition de ses occupations du sol. Une dynamique de **reconversion des terres** est clairement perceptible, notamment à travers l'expansion des espaces agricoles et végétalisés au détriment des terrains dégradés. Cette tendance pourrait refléter une intensification de l'exploitation des terres et une valorisation accrue de certaines zones rurales. Par ailleurs, la **poursuite de l'urbanisation**, bien que modérée, témoigne d'une pression continue autour des centres urbains. À l'inverse, les milieux forestiers montrent des signes de recul, possiblement dus à des facteurs tels que le défrichement, les incendies ou la surexploitation. Globalement, la période 2004–2014 semble marquée par une **restructuration fonctionnelle des espaces**, traduisant les effets conjugués des dynamiques naturelles et des interventions humaines.

4.4.3 Entre 2014 et 2024

Durant cette période, on observe une dynamique paysagère marquée par d'importantes transformations spatiales. Les zones agricoles, qui avaient connu une forte progression lors de la décennie précédente, ont subi une régression notable au profit d'autres classes d'occupation, notamment les forêts et les terrains nus. Cette diminution pourrait être liée à des facteurs multiples, comme le changement de vocation des terres, les sécheresses répétées, ou encore l'abandon progressif de certaines exploitations agricoles.

À l'inverse, les surfaces forestières ont connu une nette augmentation, ce qui peut témoigner soit d'efforts de reboisement ou de régénération naturelle dans certaines zones, soit d'un reclassement des terres anciennement agricoles ou arbustives. Les terrains nus continuent également de s'étendre, particulièrement dans les zones vulnérables à l'érosion ou aux pressions anthropiques.

L'urbanisation poursuit sa progression, bien que de manière plus modérée que précédemment, probablement en lien avec la stabilisation des expansions urbaines autour des centres déjà développés. Les plans d'eau ont subi une réduction significative, ce qui peut s'expliquer par les conditions climatiques défavorables et la pression exercée sur les ressources en eau.

Globalement, cette période met en lumière une tendance au recul des terres productives au profit d'occupations moins intensives, traduisant à la fois des mutations socio-économiques et des contraintes écologiques croissantes dans la wilaya de Relizane.

4.4.4 Entre 2004 et 2024

Sur une période de vingt ans, l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane a connu des changements profonds traduisant une dynamique territoriale marquée. La régression notable des terrains nus constitue l'un des faits majeurs de cette période, ce qui pourrait refléter soit une amélioration relative de la couverture végétale, soit une reconversion partielle de ces terrains vers d'autres usages, notamment agricoles ou forestiers.

Les formations de maquis apparaissent comme les principales bénéficiaires de ces mutations, enregistrant une progression continue, ce qui pourrait résulter d'une dynamique de reconstitution végétale spontanée ou bien de politiques de protection de l'environnement. De même, les terres agricoles ont globalement progressé, bien que cette évolution ait été

marquée par des phases d'extension et de rétraction successives. Cela traduit probablement des transformations dans les pratiques agricoles, influencées par des facteurs économiques, sociaux et climatiques.

L'urbanisation, bien que modeste en termes de superficie globale, a connu une croissance constante, confirmant la tendance à l'expansion des espaces bâtis en lien avec la croissance démographique et les besoins en logement et en infrastructures. Quant aux surfaces forestières, elles sont restées relativement stables, témoignant d'un équilibre fragile entre exploitation et conservation.

Enfin, la diminution sensible des plans d'eau reste préoccupante, et souligne la pression croissante sur les ressources hydriques dans une région déjà marquée par une faible disponibilité en eau de surface.

En somme, cette période met en évidence une recomposition spatiale progressive des milieux, sous l'effet combiné des dynamiques naturelles et des interventions anthropiques, révélant ainsi l'évolution des priorités territoriales et des pressions environnementales dans la région d'étude.

4.5 Interprétation spécifique des dynamiques pour chaque classe d'occupation du sol

Après l'analyse globale des tendances spatio-temporelles de l'occupation du sol à travers les statistiques et les cartes de changement, il est pertinent de proposer une interprétation plus ciblée. Cette section présente une lecture détaillée des dynamiques observées pour chaque classe, afin de mieux comprendre les phénomènes de progression, de régression ou de stabilité ayant marqué la période d'étude.

- **Zone urbaine :**

La superficie urbaine a fortement augmenté, passant de **3 013,5 ha en 2004** à **9 094,3 ha en 2014**, soit une **hausse de +201,79 %**. En 2024, elle atteint **9 561,6 ha**, traduisant une **croissance modérée de +5,14 %** durant la dernière décennie.

Au total, la zone urbaine a connu une **expansion spectaculaire de +217,29 %** sur 20 ans, reflet d'une urbanisation accélérée, puis d'un ralentissement ou d'un encadrement du développement urbain.

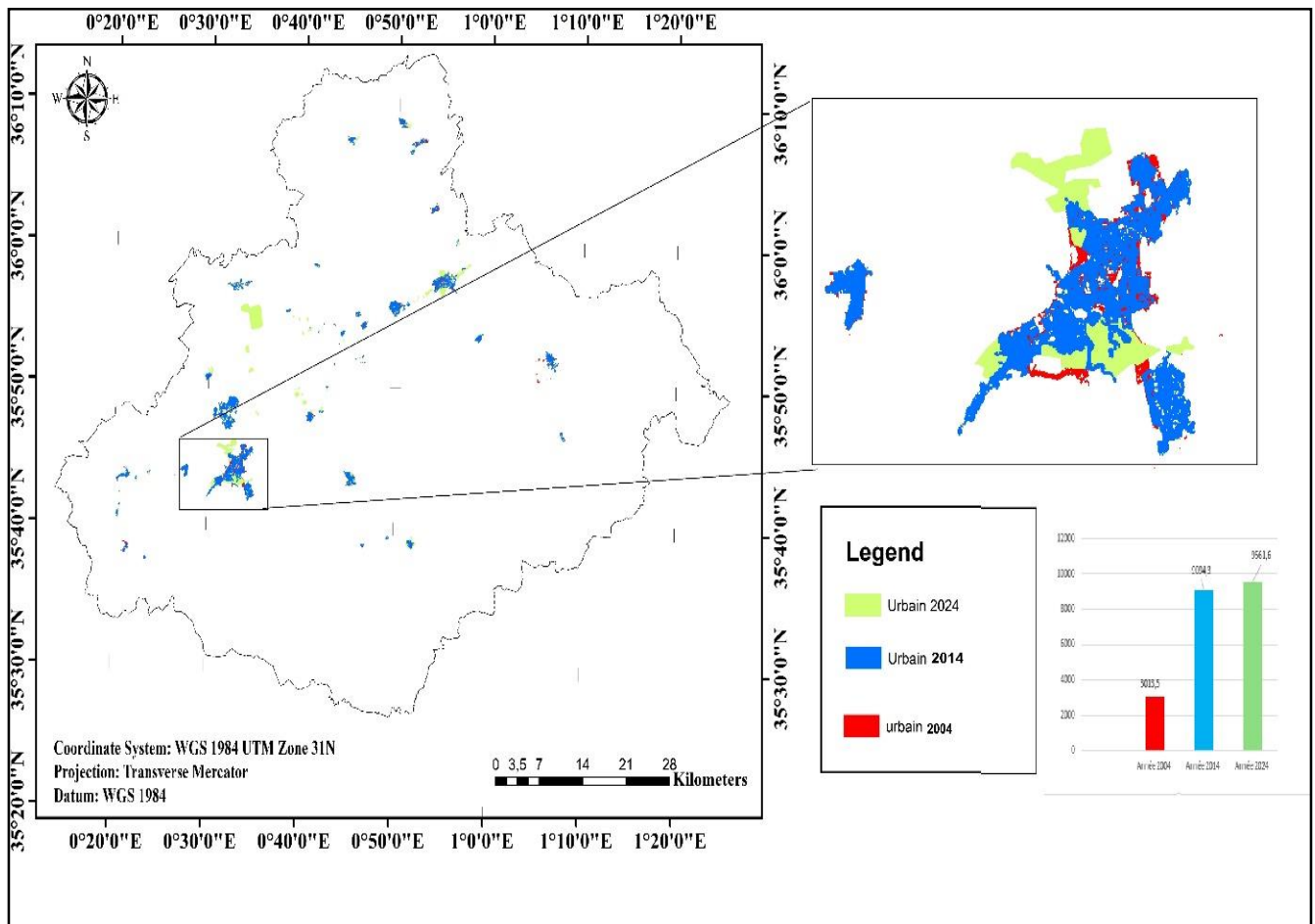


Figure 19 : Carte des changements d'urbain 2004-2014-2024

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARC GIS

- Forêt :

La superficie forestière a chuté de **21 848,6 ha en 2004** à **13 984,5 ha en 2014**, enregistrant une **baisse de -35,99 %**. Cependant, en 2024, elle remonte fortement à **22 589,5 ha**, soit une **reprise de +61,53 %** par rapport à 2014.

Ce regain peut être lié à des programmes de reboisement, à la régénération naturelle ou à la reconversion d'autres classes vers un couvert forestier.

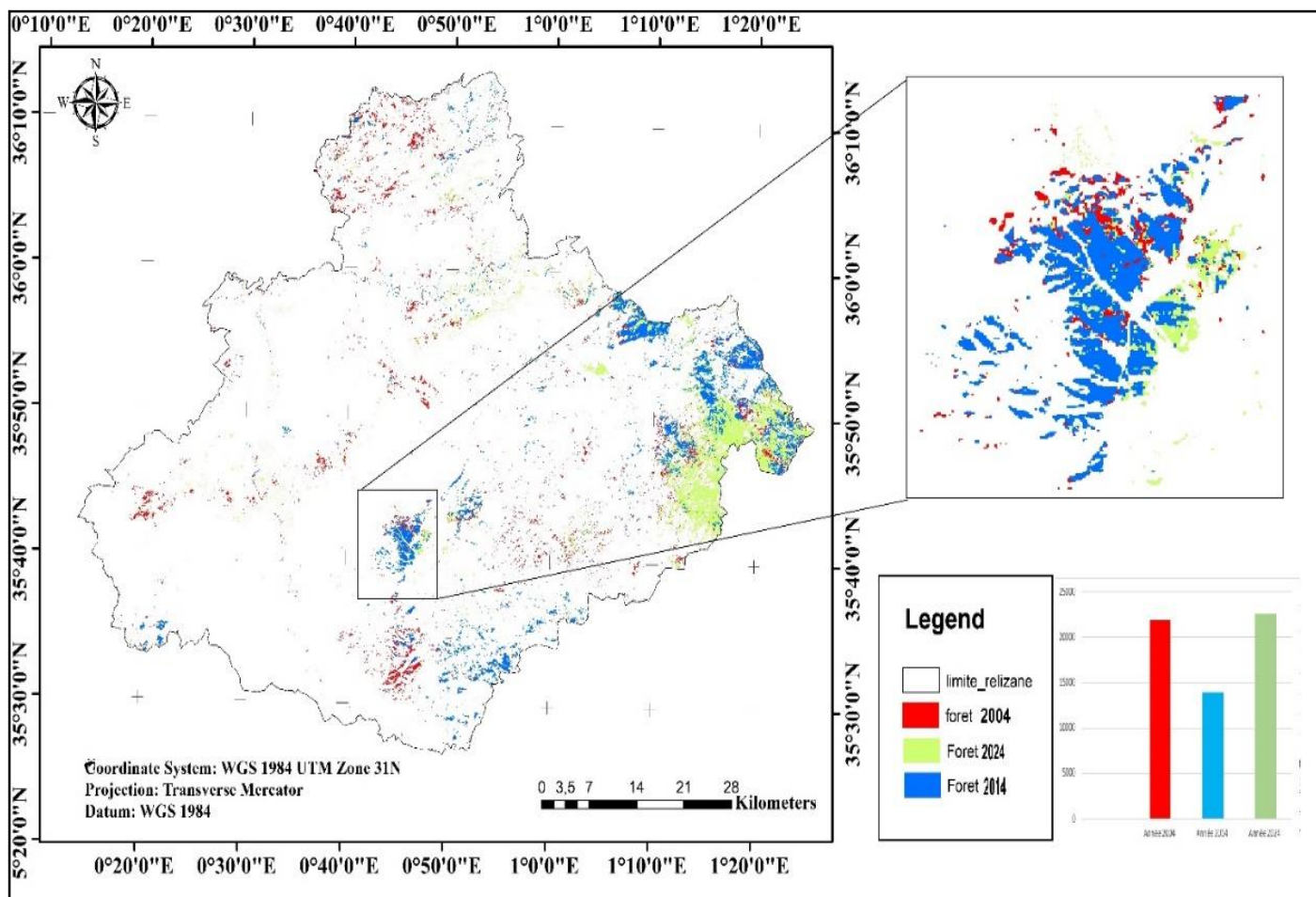


Figure 20 : Carte des changements forestiers 2004-2014-2024

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARC GIS

• Plan d'eau :

Bien que représentant une faible part de la surface totale, les plans d'eau montrent une **augmentation de +44,90 %** entre 2004 (3 419,7 ha) et 2014 (4 955,2 ha), suivie d'une **forte chute de -68,64 %** en 2024 (1 554,1 ha).

Ces variations importantes pourraient résulter de conditions climatiques fluctuantes, de sécheresses successives ou d'interventions humaines sur les milieux humides.

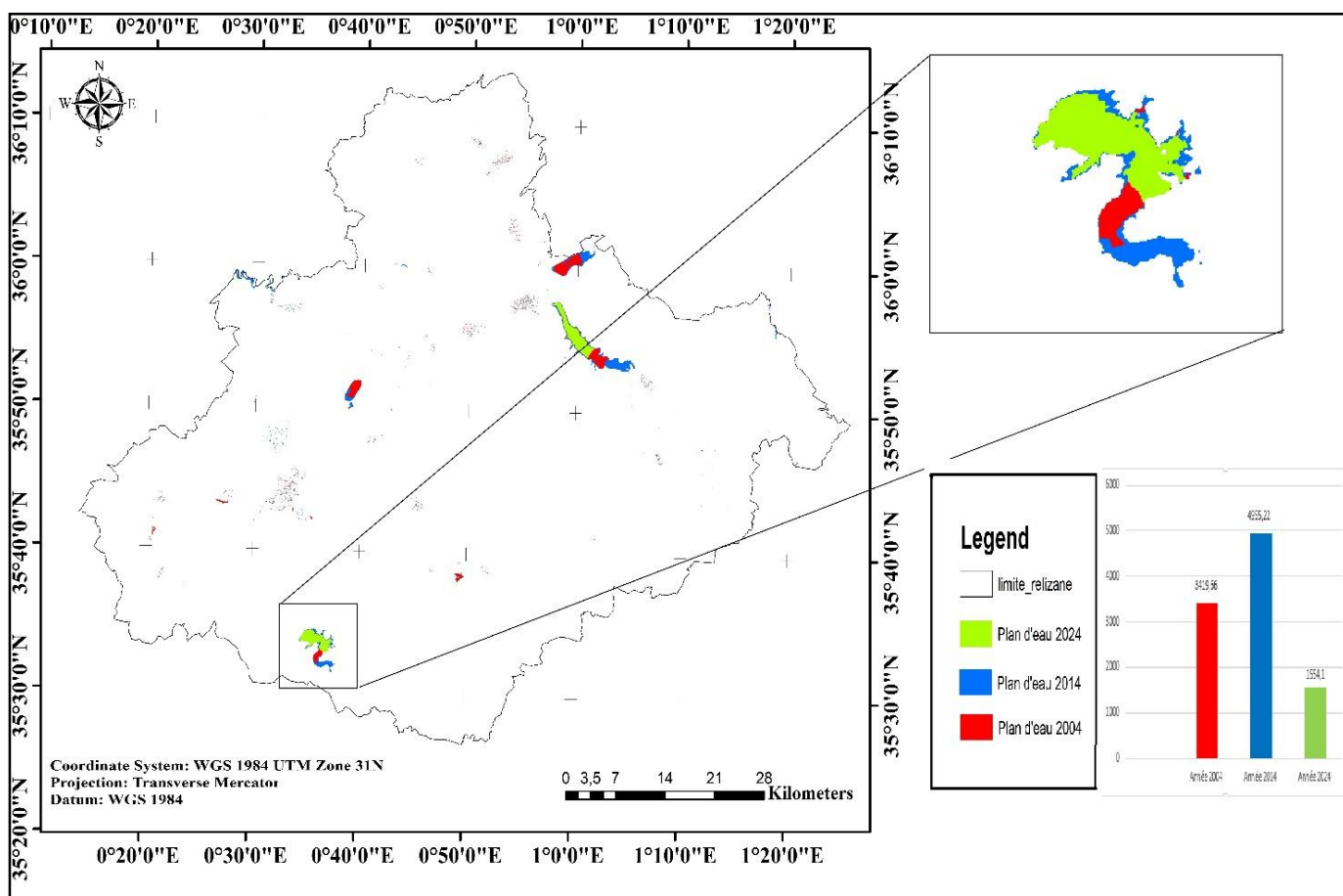


Figure 21 : Carte des changements de plan d'eau 2004-2014-2024

SOURCE : TRAITEMENT SOUS ARC GIS

- Agriculture :

Les terres agricoles ont connu une **croissance remarquable de +160,25 %** entre 2004 (37 329,2 ha) et 2014 (97 150 ha), traduisant une extension massive de l'activité agricole. Cependant, en 2024, on observe un **recul significatif de -49,90 %**, ramenant la surface à **48 670 ha**.

Ce retournement pourrait s'expliquer par la reconversion des terres agricoles en zones urbaines ou forestières, ou par une déprise agricole.

- Maquis :

La superficie du maquis est en régression continue tout au long de la période, passant de 215 576,6 ha en 2004 à 196 086 ha en 2014, puis à 185 606,2 ha en 2024, soit une perte totale de -13,90 %.

Cette diminution s'explique probablement par une pression anthropique croissante, engendrant la conversion progressive du maquis en d'autres formes d'occupation.

- Terrain nu :

Les terrains nus ont connu une **forte réduction de –40,01 %** entre 2004 (**283 903,2 ha**) et 2014 (**170 315 ha**). Ensuite, en 2024, la superficie remonte à **222 660,6 ha**, soit une **hausse de +30,73 %**.

Malgré cette reprise partielle, le bilan reste négatif sur l'ensemble de la période (–**21,57 %**), ce qui reflète une grande instabilité de cette classe, souvent soumise à des changements rapides d'usage.

4.5 Conclusion :

Les résultats présentés dans ce chapitre mettent en évidence les transformations significatives survenues dans l'occupation du sol de la wilaya de Relizane au cours des deux dernières décennies.

La modélisation réalisée via le plugin MOLUSCE permet non seulement de confirmer les tendances détectées, mais aussi d'apporter un éclairage spatial plus précis sur les zones les plus sujettes au changement.

L'évolution spatio-temporelle révèle une dynamique marquée de l'expansion des zones agricoles au détriment des formations naturelles (forêts et maquis), ainsi qu'une diminution notable des zones nues.

L'analyse quantitative, fondée sur les matrices de confusion et les statistiques zonales, montre une fiabilité élevée des classifications effectuées, avec des précisions globales supérieures à 85 % et des coefficients de Kappa élevés.

Ces résultats constituent une base solide pour les recommandations futures en matière d'aménagement du territoire et de gestion durable des ressources naturelles.

Conclusion générale

La présente étude s'est intéressée à l'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la wilaya de Relizane, en mobilisant les techniques de télédétection et les SIG sur une période de vingt ans. La question centrale était de comprendre comment l'occupation des terres a évolué et quels en sont les principaux moteurs.

Les hypothèses formulées au départ supposaient une progression significative des zones urbaines et agricoles au détriment des espaces naturels. L'analyse des données satellitaires, confirmée par les classifications supervisées et les statistiques spatiales, a permis de valider en grande partie ces hypothèses.

Les objectifs de la recherche ont été atteints à travers l'identification, la cartographie et l'interprétation des dynamiques d'occupation du sol. Les résultats ont mis en évidence une urbanisation rapide, une intensification agricole, ainsi qu'une dégradation notoire de certains écosystèmes.

Les questions de recherche ont trouvé leurs réponses, en confirmant l'impact des facteurs socio-économiques et environnementaux sur l'aménagement du territoire. La mise en perspective des résultats souligne l'importance des données temporelles et spatiales pour comprendre les transformations du paysage.

En termes de recommandations, il est essentiel de renforcer les politiques de gestion durable des terres en y intégrant les outils de la télédétection et des systèmes d'information géographique pour une planification territoriale plus efficace. Cette démarche est cruciale pour anticiper les dynamiques spatiales et limiter les pressions anthropiques.

Enfin, les perspectives de recherche pourraient inclure l'utilisation de la modélisation prédictive, l'analyse des impacts climatiques, ou l'élargissement de l'étude à d'autres régions pour des comparaisons interrégionales bénéfiques.

ANNEXES

Annexe A

Class statistiques de carte de changement 2004/2014 (traitement sous QGIS)

	2004	2014	Δ (Changement)	2004 %	2014 %	Δ %
1	3417.48 ha	4954.41 ha	+1536.93 ha	0.7029	1.0189	+0.3161
2	3013.38 ha	4645.26 ha	+1631.88 ha	0.6197	0.9553	+0.3356
3	37263.06 ha	97075.71 ha	+59812.65 ha	7.6638	19.9654	+12.3016
4	21843.00 ha	13980.69 ha	-7862.31 ha	4.4924	2.8753	-1.6170
5	137389.77 ha	195525.72 ha	+58135.95 ha	28.2568	40.2135	+11.9567
6	283291.47 ha	170036.37 ha	-113255.1 ha	58.2642	34.9712	-23.2930

Matrice de transition de carte de changement 2004/2014 (traitement sous QGIS)

	1	2	3	4	5	6
1	0.8481	0.0387	0.0091	0.0008	0.0344	0.0685
2	0.0333	0.7320	0.0275	0.0000	0.0618	0.1452
3	0.0041	0.0043	0.5729	0.0490	0.2023	0.1672
4	0.0027	0.0002	0.1139	0.3343	0.3485	0.2002
5	0.0029	0.0011	0.2976	0.0300	0.4587	0.2093
6	0.0046	0.0070	0.1137	0.0025	0.4131	0.4588

Annexe B

Class statistiques de carte de changement 2014/2024 (traitement sous QGIS)

Classe	2014	2024	Δ (Changement)	2014 %	2024 %	Δ %
1	4954.41 ha	1554.12 ha	-3400.29 ha	1.017 %	0.319 %	-0.698 %
2	4635.81 ha	6332.58 ha	+1696.77 ha	0.952 %	1.300 %	+0.348 %
3	97131.06 ha	48656.07 ha	-48474.99 ha	19.945 %	9.991 %	-9.954 %
4	13984.38 ha	22587.30 ha	+8602.92 ha	2.872 %	4.638 %	+1.767 %
5	196053.21 ha	185476.86 ha	-10576.35 ha	40.259 %	38.087 %	-2.172 %
6	170223.66 ha	222375.60 ha	+52151.94 ha	34.955 %	45.664 %	+10.709 %

Matrice de transition de carte de changement 2014/2024 (traitement sous QGIS)

Classe	1	2	3	4	5	6
1	0.3131	0.0075	0.0660	0.1156	0.1603	0.3375
2	0.0000	0.9002	0.0000	0.0002	0.0014	0.0982
3	0.0000	0.0033	0.2588	0.0207	0.4836	0.2336
4	0.0000	0.0001	0.1545	0.5203	0.2619	0.0632
5	0.0000	0.0020	0.0754	0.0368	0.4219	0.4639
6	0.0000	0.0083	0.0367	0.0323	0.3016	0.6211

Annexe C

Class statistiques de carte de changement 2004/2024 (traitement sous QGIS)

Classe	2004	2024	Δ (Changement)	2004 %	2024 %	Δ %
1	3418.74 ha	1554.12 ha	-1864.62 ha	0.703 %	0.320 %	-0.383 %
2	3012.39 ha	6337.71 ha	+3325.32 ha	0.619 %	1.303 %	+0.684 %
3	37274.76 ha	48625.20 ha	+11350.44 ha	7.664 %	9.998 %	+2.334 %
4	21842.82 ha	22588.74 ha	+745.92 ha	4.491 %	4.644 %	+0.153 %
5	137402.01 ha	185227.92 ha	+47825.91 ha	28.250 %	38.084 %	+9.833 %
6	283421.97 ha	222039.00 ha	-61382.97 ha	58.273 %	45.652 %	-12.621 %

Matrice de transition de carte de changement 2004/2024 (traitement sous QGIS)

Classe	1	2	3	4	5	6
1	0.4438	0.0459	0.0161	0.0455	0.1086	0.3400
2	0.0000	0.7849	0.0217	0.0292	0.0881	0.0761
3	0.0000	0.0086	0.3412	0.0248	0.4072	0.2183
4	0.0000	0.0003	0.0727	0.5661	0.2496	0.1113
5	0.0000	0.0025	0.1477	0.0500	0.5763	0.2235
6	0.0001	0.0111	0.0491	0.0077	0.2991	0.6329

Bibliographie

1. Ouvrages

- **Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957).** Les climats biologiques et leur classification. Annales de Géographie.
- **Bégni, G., 2015,** Hermès-Lavoisier. Systèmes d'Information Géographique Chapitre 4 : "Structuration des données géographiques" (p. 112-130)
- **Bétournay, M., & Gervais, M. (2021).** Les outils géomatiques : De la cartographie à la géomatique décisionnelle. Presses de l'Université du Québec.
- **Bey, M. (2012).** Bases de données : Concepts, modélisation et Systèmes de Gestion (2e éd.). Paris : Dunod.
- **Boualam, A. (2010).** Géomorphologie de l'Algérie du Nord : structure, dynamiques et organisation spatiale [Thèse de doctorat, Université d'Alger, Département de Géographie].
- **Bouaziz, A. (2015).** Géographie physique de l'Algérie. Éditions ENAG.
- **Briottet, X., & Weber, C. (2013).** Observation de la Terre par télédétection optique et radar. CNRS Éditions.
- **Brossard, T., & Jollivet, M. (2015).** Dynamiques d'occupation des sols et développement durable : Approches spatiales et temporelles. CNRS Éditions.
- **Campbell, J.B., & Wynne, R.H. (2023).** Introduction to Remote Sensing (6th ed.). Guilford Press. ISBN : 978-1-4625-4940-5
- **Fischer, M. M., & Nijkamp, P. (1993).** Geographic Information Systems, Spatial Modelling and Policy Evaluation. Springer.
- **George, P. (2003).** Géographie rurale : Milieux, sociétés, aménagements. Armand Colin.
- **Girard, M.-C., & Girard, C. (1999).** Traitement des données de télédétection. Dunod.
- **Lecerf, R. (2008).** Télédétection et cartographie des paysages fragmentés. Presses Universitaires de Rennes.
- **Malingreau, J.-P., & Gançarski, J. (2007).** Introduction à la télédétection. Éditions TEC & DOC.
- **Richards, J.A. (2022).** Remote Sensing Digital Image Analysis (6th ed.). Springer Nature.
- **Schowengerdt, R. A. (2006).** Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Academic Press.
<https://shop.elsevier.com/books/remote-sensing/schowengerdt/978-0-12-369407-2>
- **Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2013).** Systèmes de gestion de bases de données (6e éd.). Pearson Éducation France.
- **Tietse, T. (1996).** Bases de données géographiques : Concepts et applications. Hermès Science Publications.
- **Wiley. (2020).** Remote Sensing and Image Interpretation (7th ed.).
- **Wiley. (2021).** Geographic Information Systems and Science (4th ed.).

2. Thèses et Mémoires

- **Ben Salem, A. (1996).** Étude des dynamiques d'occupation du sol en région méditerranéenne . Université de Tunis.
- **Bessaoud, O. (2014).** Agriculture et territoires en Algérie : mutations et dynamiques.

CIHEAM – Options Méditerranéennes.

- **Bissour, R. (2019).** Étude diachronique des changements d'occupation du sol par télédétection et système d'information géographique dans la Wilaya de Djelfa : cas de Gultet-Es-Stel (1988-2019) [Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara Boumerdès].
- **Kefifa, A. (2014).** Apport des SIG dans la gestion des risques environnementaux : Cas de la région de Tizi-Ouzou [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri].
- **Salem, A. (1996).** Étude des dynamiques d'occupation du sol en région méditerranéenne [Thèse de doctorat, Université de Tunis].

3. Articles Scientifiques

- **Bastin, J.-F., et al. (2019).** The global tree restoration potential. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- **Ben Ayed, R., & Sans, P. (2023).** The 2022 olive oil price crisis and its land use impacts in Mediterranean basins. *Land Use Policy*, 124, 106439.
- **Brown, D. G., et al. (2004).** Land use and land cover change. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. <https://www.eolss.net>
- **Congalton, R. G. (1991).** A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- **Harris, N.L., et al. (2021).** Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11, 234-240. Donnée clé : 1.1-1.6 Gt CO₂/an (2015-2020)
- **Jacobson, C.R. (2011).** Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments. *Water Research*, 45(12), 3669-3684.
- **Jacobson, M.Z., et al. (2022).** The effects of urban albedo on global climate. *Urban Climate*, 41, 101063.
- **Lambin, E. F., et al. (2001).** The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269.
- **Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011).** Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS*, 108(9), 3465-3472.
- **Pouchin, A. (2001).** *Cartographie de l'état du couvert végétal du nord de la Côte d'Ivoire à partir d'images satellites Landsat*. *European Scientific Journal*, 12(29).
- **Malczewski, J. (2006).** GIS-based multicriteria analysis. *Progress in Planning*, 66(3).
- **Maignan, F., Bréon, F.-M., & Lacaze, R. (2008).** Interannual vegetation phenology estimates from global AVHRR measurements. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 496-505. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.021>
- **Meghraoui, A. (1988).** Tectonique active de la région du Chelif. *Bull. Soc. Géol. France*.
- **Samaali, S. (2011).** Utilisation de la télédétection pour la cartographie de l'occupation du sol. *Revue Internationale de Géomatique*, 21(3), 345-360.
- **Spracklen, D. V., Arnold, S. R., & Taylor, C. M. (2012).** Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489, 282-285. <https://www.nature.com/articles/nature11390>
- **Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B., & Wang, Z. (2008).** Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.10.002>

- **Wulder, M.A., et al. (2022).** Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 275, 113046.

4. Rapports Institutionnels

- **Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT). (2019).** Rapport annuel sur la gestion des ressources en eau. *Revue UMC*.
- **Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG). (2010).** Zonation sismique de l'Algérie.
- **Direction des Services Agricoles de Relizane (DSA). (2022).** Rapport annuel sur l'occupation du sol et les activités agricoles.
- **Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Relizane (DRE). (2019).** Rapport annuel sur les ressources hydriques. Relizane : Ministère des Ressources en Eau.
- **Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (INSID). (1986).** Étude pédologique détaillée de la plaine de Relizane. Ministère de l'Agriculture, Algérie.
- **Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche (MADRP). (2017).** Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture au changement climatique en Algérie. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural.
- **Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR). (2018).** Bilan des campagnes céréalières 2016–2018.
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE). (2018).** Monographie de la wilaya de Relizane. Alger : MATE.
- **NASA. (2021).** *Landsat 8 Data Users Handbook*. U.S. Geological Survey. <https://landsat.gsfc.nasa.gov>
- **Office National de la Météorologie (ONM). (2020).** Données climatiques de la région de Relizane. Alger : ONM.
- **Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2023).** Global environment outlook. <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6>
- **World Wide Fund for Nature (WWF). (2020).** Living planet report. <https://livingplanet.panda.org/en-GB/>

5. Documents Techniques et Études Locales

- **Agence Nationale des Forêts (ANF). (2020).** Rapports sur la consommation des terres agricoles à Mila.
- **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2019).** Évaluation post-catastrophe des inondations d'El Tarf.
- **Association de Protection du Littoral (APPL). (2006).** Programme d'Aménagement Côtier (PAC) – Zone côtière algéroise : Rapport final intégré. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- **Centre National d'Études Spatiales CNES. (2012).** La télédétection au service de l'environnement. Toulouse.
- **Centre National d'Études Spatiales CNES. (2018).** Introduction à l'analyse de classification supervisée et évaluation des performances. Toulouse.
- **Direction Générale des Forêts (DGF). (2021).** Bilan des incendies dans le massif de Mouias (2009–2021).
- **Institut National de Recherche Forestière (INRF). (2000s).** Études agronomiques sur les subventions aux céréales.

- **Service Géologique National. (1982).** Carte géologique de l'Algérie (1/200 000), Feuille de Relizane. Document cartographique fondamental pour les études géologiques et environnementales de la région de Relizane.
- **Université Virtuelle Environnement et Développement Durable (UVED). (2008).** Signatures spectrales des surfaces naturelles.

6. Sources Multimédia

- **Institut National d'Aménagement du Territoire (INAT). (2006).** Études sur l'étalement urbain d'Alger : Données cartographiques et analyses statistiques. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- **NASA POWER Project. (2025).** Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer. [En ligne] <https://power.larc.nasa.gov>
- **PNUE Méditerranée. (2022).** Rapport sur les îlots de chaleur. Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

7. Sources en Ligne

- **Ministère de l'Intérieur. (2022).** Statistiques agricoles. <https://www.interieur.gov.dz>
- **Office National des Statistiques (ONS). (2010).** Données démographiques. [Statistiques démographiques nationales].
- **QGIS.org. (2023).** Documentation du plugin MOLUSCE : Modules for Land Use Change Simulation.
- **UVED. (2008).** Signatures spectrales des surfaces naturelles. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. [En ligne] <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvved/envcal/html/rayonnement/2-rayonnement-matiere/2-7-signatures-spectrales.html>
- **Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen.(UABT, 2024).** Cours d'initiation à la géomatique. Département d'architecture.
- **Université Frères Mentouri Constantine 1. (2023).** Cours : SIG et bases de données spatiales. Faculté des Sciences de la Terre.

Table des matières

Remerciements.....	1
Résumé.....	4
ملخص.....	5
Abstract	5
Sommaire	6
Table des abréviations.....	7
Table des illustrations	9
Introduction Générale.....	11
Chapitre 1 : Notion théorique sur l'occupation de sol	1
1.1 Introduction.....	3
1.2 Concepts et définitions fondamentaux	3
1.2.1 La cartographie : Définition et évolutions contemporaines	3
1.2.2 La carte d'occupation et utilisation des sols	4
1.2.3. Impacts des changements d'occupation du sol sur l'environnement :	5
1.3 Les facteurs des changements d'occupation et d'utilisation du sol	6
1.3.1 Facteurs naturels : Quand la nature impose ses lois.....	6
1.3.1.1 Changement climatique (L'élément perturbateur).....	6
1.3.1.2 Dynamiques écologiques naturelles (La nature qui reprend ses droits)	
.....	6
1.3.2 Facteurs anthropiques : (L'empreinte indélébile de l'Homme)	7
1.3.2.1. Pressions directes (Les transformations visibles) :	7
1.3.2.2 Pressions indirectes (Les mécanismes cachés)	7
1.4 Apports des outils géomatiques pour la cartographie de l'occupation du sol	8
1.4.1 La télédétection : Un outil révolutionnaire	8
1.4.2 Les données satellites :.....	10
1.4.3 Natures spectrales des principales surfaces naturelles	12

1.3.4 Principe d'une classification en télédétection	12
1.3.4.1 Classification supervisée :.....	12
1.3.4.2 Classification non supervisée :.....	13
1.5 L'apport de Système d'Information Géographique (SIG)	14
1.5.1 Définition	14
1.5.2 Fonctions du SIG	14
1.5.3 Fonctions analytiques avancées	15
SOURCE : (MALCZEWSKI, J. 2006).	16
1.5.4 La base de données géographique.....	16
1.5.4.1 Caractéristiques d'une base de données (Bey, 2012).....	16
1.5.4.2 Base de données géographique (BDG)	16
1.5.5 Application des SIG a la recherche environnementale	17
1.6 Conclusion	18
Chapitre 2 : Cadre physique de la wilaya de Relizane.....	3
2.1 Introduction.....	19
2.2 Caractéristiques géographiques de la zone d'étude	19
2.2.1 Situation géographique de la zone d'étude	19
2.2.2 Relief.....	21
2.2.3 Géomorphologie.....	22
2.2.3.1 Les glacis de piedmonts :	22
2.2.3.2 Les alluvions :	22
2.2.3.3 Les cônes de déjection :	23
2.2.3.5 Les couvertures sableuses :	23
2.2.4 Géologie et structure	23
2.2.4.1 Formations géologiques principales Meghraoui, 1988)	23
2.2.4.2 Structures tectoniques :	24
2.3 Caractéristiques climatiques.....	24

2.3.1 Précipitation	24
2.3.2 Température	25
2.3.3 Graphe ombrothermique (période sèche/période humide).....	25
2.3.4 Interprétation du diagramme ombrothermique :	26
2.4 Ressource en eaux.....	27
2.4.1 Eaux souterraines	27
2.4.2 Eaux superficielles	27
2.5 Sols et végétation	27
2.6 Risque naturels	28
2.7 Caractéristiques socio-économique	28
2.7.1 Secteurs économique.....	28
2.7.2 Activités humaines et dynamique territoriales.....	29
2.8 Évolution démographique de la wilaya de Relizane (1966–2008)	29
2.9 Contexte agricole	30
2.9.1 Superficie agricole utile (SAU) et superficie agricole totale (SAT)	30
2.9.2 Répartition des cultures.....	31
2.9.3 Production céréalière.....	32
2.9.3.1 Céréales d’hiver	32
2.9.3.2 Céréales d’été	32
2.10 Conclusion :	33
Chapitre 3 : Approche méthodologique	19
3.1 Introduction.....	34
3.2 Données Utilisées	34
3.2.1 Images Satellitaires	34
3.2.2 Logiciels utilisés et données auxiliaires.....	36
3.3 Méthodologie de traitement	36
3.4 Prétraitement des images satellitaires :	38

3.4.1 L'interprétation visuelle :.....	39
3.4.2 Indice de cuirasse :.....	39
3.5 Classification de l'occupation de sol.....	40
3.5.1 Choix de l'algorithme de la classification.....	40
3.5.2 Création des échantillons d'apprentissage (ROI).....	42
3.5.3 Evaluation de la séparabilité des classes d'apprentissage.....	43
3.5.4 Validation de la classification	45
3.5 Conclusion	46
Chapitre 4 : Etude et résultats	34
4.1 Introduction :.....	48
4.2 Évaluation de la qualité de la classification	48
4.3 Les matrices de confusion.....	49
4.3.1 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2004.....	49
4.3.2 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2014.....	52
4.3.3 Analyse de la Matrice de Confusion – Année 2024-	55
4.4 Analyse spatio-temporelle et quantitative des dynamiques d'occupation du sol	58
4.4.1 Taux moyen annuel d'expansion spatiale	58
4.4.2 Entre 2004 et 2014	61
4.4.3 Entre 2014 et 2024	62
4.4.4 Entre 2004 et 2024	62
4.5 Interprétation spécifique des dynamiques pour chaque classe d'occupation du sol	63
4.5 Conclusion :	67
Conclusion générale	68
ANNEXES	70
Bibliographie.....	73
Table des matières.....	77

