

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 : Ahmed Rami **CHERGUI** et Alaa Eddine **YOUSSEFI**

Sujet

**SIG et télédétection au service de la préservation du
foncier agricole : étude de cas la wilaya de Tlemcen**

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

M. TASFAOUT Abdallah	M.A.A	Université de Tlemcen	Président
M. HAMMA Walid	Pr	Université de Tlemcen	Examineur
M. MERZOUG Noureddine Abdellatif	M.A.A	Université de Tlemcen	Encadrant

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

À Ma Mère

Affable, honorable, aimable, tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple de dévouement. Tu n'as jamais arrêté de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour ses enfants, en me guidant sur le bon chemin dans ma vie et mes études, le tout avec ce travail en témoignage de mon profond amour.

À Mon Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eus pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit des sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À Ma Famille

À mon frère Mohamed Firas, qui m'a toujours soutenu et cru en moi.

À Ma Tante

Je dédie cette réussite à mes tantes pour leur soutien moral et leur présence constante.

À mes camarades

Ainsi qu'à tous mes camarades avec qui j'ai partagé une partie de mon parcours. Votre complicité et votre amabilité ont été précieuses. Merci du fond du cœur

Rami CHERGUI

À mes chers parents, piliers de ma vie, dont l'amour inconditionnel, les sacrifices constants et les prières incessantes m'ont guidé à travers chaque étape de ce parcours académique. Votre foi en moi m'a donné la force de persévérer, même dans les moments de doute.

À mon frère et ma sœur, compagnons de toujours, pour vos encouragements, vos rires et votre présence qui ont rendu cette aventure plus légère et pleine de sens.

À mon encadreur, monsieur MERZOUG Abdellatif, dont la patience, la rigueur et les conseils éclairés ont transformé ce travail en une véritable quête de savoir.

Votre passion pour l'enseignement est une source d'inspiration qui restera gravée en moi.

À mes amis, ceux qui ont partagé mes nuits d'étude, mes joies et mes défis, merci pour votre soutien indéfectible et pour avoir cru en moi, même quand je doutais de moi-même.

Enfin, à tous les étudiants qui, comme moi, poursuivent leurs rêves avec détermination, que ce mémoire soit une preuve que la persévérance et l'espoir triomphent toujours.

Alaa Eddine YOUSSEFI

Remerciements

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que je ressens aujourd'hui. Ce travail est l'aboutissement d'un parcours jalonné de doutes, d'efforts, mais surtout de belles rencontres.

À mes parents, vous qui avez toujours cru en moi, même lorsque la fatigue prenait le dessus. Merci pour votre amour inconditionnel, vos encouragements silencieux et vos sacrifices que je mesure un peu plus chaque jour. Votre présence a été ma plus grande force.

À M. MERZOUG Nouredine Abdellatif, je tiens à exprimer ma reconnaissance pour votre patience, votre écoute et vos conseils avisés. Votre accompagnement bienveillant a été essentiel dans la réalisation de ce travail et m'a permis de grandir autant sur le plan académique que personnel.

Je remercie également ma famille et mes proches, pour leurs mots rassurants, leurs gestes réconfortants et leur indéfectible soutien dans les moments de doute.

Vous avez su rendre ce parcours plus doux.

Enfin, une pensée sincère à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont croisé mon chemin durant cette aventure. Chacun de vous a contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'accomplissement de ce projet.

Ce mémoire n'est pas seulement le fruit d'un travail personnel, mais aussi le reflet de tout l'amour, la confiance et l'accompagnement que j'ai reçus. Merci, du fond du cœur.

Rami CHERGUI

Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir mon travail dans les meilleures conditions.

Je remercie mes très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadrant Mr. MERZOUG Abdellatif pour ses appréciations, ses compétences, ses précieux conseils et son aide durant toute la période de mon travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt. Qu'ils ont porté à mon travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie tous mes enseignants durant toute ma formation et tout le personnel administratif de l'université.

Mes remerciements vont également à tous ceux et celles qui de près ou de loin m'ont apporté aide et encouragement.

Alaa Eddine YOUSSEFI

Résumé

Ce mémoire traite de la problématique de la disparition progressive des terres agricoles dans la wilaya de Tlemcen, sous l'effet d'une urbanisation rapide et non maîtrisée. Face à ce défi, l'étude explore comment les technologies géospatiales, notamment les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection, peuvent contribuer à une meilleure gestion du foncier agricole et à la préservation des ressources naturelles.

À travers l'analyse d'images satellites, la modélisation de l'expansion urbaine et le développement d'outils numériques comme une plateforme participative, les auteurs proposent une stratégie intégrée pour surveiller l'évolution de l'occupation du sol, identifier les zones à risque, et anticiper les impacts futurs. Les résultats confirment une perte significative de terres agricoles et une hausse des phénomènes climatiques locaux comme les îlots de chaleur.

Le mémoire conclut que l'utilisation combinée des outils technologiques et de la participation citoyenne offre des solutions concrètes pour concilier urbanisation et durabilité.

Mots clés :

Foncier agricole ; SIG ; Télédétection ; Urbanisation ; Gestion durable.

ملخص

يعالج هذا البحث مشكلة تراجع الأراضي الزراعية في ولاية تلمسان بسبب التوسع العمراني السريع وغير المنظم. ويسلط الضوء على دور التقنيات الجيومعلوماتية، كأنظمة المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، في حماية الأراضي الزراعية وتحقيق توازن بين النمو الحضري والحفاظ على البيئة.

من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية، ونمذجة التوسع الحضري، وتطوير أدوات رقمية تفاعلية، تمكنت الدراسة من تتبع التغيرات في استخدام الأرض، وتحديد المناطق المعرضة للخطر، واقتراح حلول استشرافية حتى سنة 2050. وقد أظهرت النتائج تراجعاً واضحاً في الأراضي الفلاحية وظهور تأثيرات بيئية كارتفاع درجات الحرارة في المناطق الحضرية.

خلصت الدراسة إلى أن اعتماد التكنولوجيا والمشاركة المجتمعية يمكن أن يشكل أساساً لحكومة فعالة ومستدامة للأراضي.

الكلمات المفتاحية: الأراضي الزراعية، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، التوسع العمراني، الإدارة المستدامة.

Abstarct

This thesis explores the growing threat to agricultural lands in the Tlemcen region, caused by rapid and uncontrolled urban expansion. It investigates how geospatial technologies—such as Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing—can support the sustainable management of land resources and help protect farmland from urban encroachment.

By analyzing satellite imagery, modeling future urban growth, and developing interactive digital tools, the study tracks land use changes, identifies vulnerable areas, and proposes planning strategies extending to the year 2050. The findings show a clear decline in agricultural land and a rise in environmental stress, such as increasing urban heat.

The study concludes that integrating technology with public participation is key to building a sustainable and well-governed territorial development strategy.

Keywords : Agricultural land, GIS, Remote sensing, Urbanization, Sustainable management.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces.....	i
Remerciements.....	iii
Résumé	v
ملخص	vi
Abstarct.....	vii
TABLE DES MATIERES	viii
Liste des figures	xii
Liste des Tableaux.....	xiv
Liste des abréviations	xv
INTRODUCTION GENERALE	xvi
CHAPITRE I	11
1.1. Introduction :	12
1.2. Le foncier agricole : un vrai potentiel économique.....	12
1.2.1. Le foncier agricole : fondement d'une agriculture épanouie.....	13
1.2.2. L'Algérie : des espaces agricoles en régression.....	14
1.2.3. Perspectives et initiatives pour une gestion durable du foncier agricole	15
1.3. L'urbanisation, un processus et une réalité nationale.....	16
1.3.1. L'urbanisation, aspect d'un territoire en évolution	16
1.3.2. L'artificialisation des sols, conséquence directe de l'urbanisation.....	17
1.4. Législation, instruments de planification, politiques et stratégies sectorielles pour la protection et le développement du foncier agricole	18
1.4.1. Cadre juridique régissant la protection du foncier agricole	19
1.4.2.1 Instruments d'aménagement du territoire.....	20
1.4.2.2 Instruments d'urbanisme	25
CHAPITRE II	42
2.1. Introduction	43
2.2. Cartographie agricole à partir de l'observation de la terre	43
2.2.1. Télédétection comme un outil de l'observation de la terre	43
2.2.2. Télédétection passive et télédétection active	45

2.2.3.	L'imagerie satellitaire.....	47
2.2.4.	Types d'images satellitaires	47
2.2.4.1.	Résolutions des images	47
2.2.4.2.	Traitement des images.....	48
2.3.	Généralités sur les Systèmes d'Information Géographiques (SIG).....	48
2.3.1.	Définition des SIG	48
2.3.2.	Les principales composantes d'un SIG.....	50
2.3.3.	Les données SIG.....	52
2.3.3.1.	Modes d'acquisition de données.....	52
2.3.3.2.	Types de données dans un SIG	54
2.3.3.2.1.	Données spatiales.....	55
2.3.3.2.2.	Données associées.....	55
2.3.3.3.	Modes de données dans les SIG	57
2.3.3.3.1.	Mode vecteur :	58
2.3.3.3.2.	Mode raster :	60
2.3.4.	Caractéristiques des SIG :	61
2.3.5.	Fonctionnalités des SIG :	62
2.4.	Conclusion	63
CHAPITRE III		65
3.1.	Introduction	66
3.2.	Etudes similaires	66
3.3.	Données et outils utilisées.....	70
3.3.1.	Outils et données.....	70
3.3.1.1.	Outils misent en œuvre	70
3.3.1.2.	Données et caractéristiques	71
3.3.2.	Génération des cartes thématiques	73
3.3.2.1.	Cartes d'occupation et de couverture du sol.....	73
3.3.2.1.1.	Définition	73
3.3.2.1.2.	Objectifs.....	74
3.3.2.2.	Technique de réalisation.....	74
3.3.2.3.	Carte de l'évolution urbaine (1985-2025)	77
3.3.2.3.1.	Définition	77

3.3.2.3.2.	Objectifs.....	77
3.3.2.3.3.	Technique de réalisation.....	77
3.3.2.4.	Carte des terres agricoles et des prairies	80
3.3.2.4.1.	Définition :	80
3.3.2.4.2.	Objectifs.....	80
3.3.2.4.3.	Techniques de réalisation	81
3.3.2.5.	Carte de bâtis ayant impacté les terres agricoles et les prairies	82
3.3.2.5.1.	Définition	83
3.3.2.5.2.	Objectifs.....	83
3.3.2.5.3.	Techniques de réalisation	83
3.3.2.6.	Carte des îlots de chaleur urbains (ICU jour).....	84
3.3.2.6.1.	Définition	85
3.3.2.6.2.	Objectifs.....	85
3.3.2.7.	Relation entre les îlots de chaleur urbains (ICU jour) et les terres agricoles 85	
3.3.2.8.	Technique de réalisation.....	87
3.4.	Conclusion	90
CHAPITRE IV.....		92
4.1.	Introduction	93
4.2	Cadre spatial de l'étude	94
4.3	Analyse des cartes thématiques	97
4.3.1	Carte d'occupation et de couverture du sol	97
4.3.1.1	Présentation des cartes LULC	97
4.3.1.2	Analyse quantitative	98
4.3.1.3	Histogramme de classification.....	99
4.3.2	Carte de l'évolution urbaine 1985-2025.....	100
4.3.2.1	Présentation des cartes d'évolution urbaine.....	100
4.3.2.2	Analyse quantitative	101
4.3.2.3	Méthode de calcul	102
4.3.3	Carte des terres agricoles et des prairies	103
4.3.3.1	Présentation de la carte des terres agricoles	103
4.3.3.2	Présentation de la carte des prairies	103

4.3.4	Carte des bâtis ayant impacté les terres agricoles et prairies	104
4.3.4.1	Présentation de la carte des bâtis ayant impacté les terres agricoles et prairies	104
4.3.4.2	Analyse quantitative	105
4.3.4.3	Méthode de calcul	106
4.3.5	Carte des îlots de chaleur urbain (ICU)	106
4.3.5.1	Présentation des cartes ICU.....	106
4.3.5.2	Analyse quantitative	108
4.4	Conclusion	111
CHAPITRE V		112
5.1.	Introduction	113
5.2.	Carte prospective de l'urbanisation pour 2050 avec mesures réglementaires strictes	113
5.2.1.	Données démographiques et méthode de calcul.....	114
5.2.2.	Élaboration de la carte prospective	114
5.2.3.	Mesures réglementaires strictes	115
5.2.4.	Idées pour renforcer l'impact de la carte prospective :	116
5.3.	Script Google Earth Engine pour le suivi hebdomadaire des terres agricoles via l'indice NDVI	117
5.3.1.	Script GEE détaillé.....	117
5.3.2.	Contribution au projet	119
5.3.3.	Idées pour renforcer l'impact du script	120
5.4.	Développement d'un site web contenant des fonctions nécessaires à ajouter sur le site fadaeldjazair	122
5.4.1.	Fonctionnalités proposées :.....	122
5.4.2.	Structure technique du site	122
5.4.3.	Contribution au projet	124
5.4.4.	Idées pour renforcer l'impact du site web	125
5.5.	Difficultés rencontrées.....	127
5.6.	Conclusion	128
CONCLUSION GENERALE.....		130
BIBLIOGRAPHIE		133

Liste des figures

<i>Figure 2-1 : Processus de la Télédétection</i>	<i>44</i>
<i>Figure 2-2 : La différence entre la télédétection active et la télédétection passive</i>	<i>46</i>
<i>Figure 2-3 : Les SIG en général.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 2-4 : Composantes d'un SIG.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 2-5 : Exemple d'acquisition de données par numérisation (digitalisation)</i>	<i>52</i>
<i>Figure 2-6 : Exemple d'acquisition de données par scannérisation.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 2-7 : Exemple d'acquisition de données par photogrammétrie (images aériennes).....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 2-8 : Exemple d'acquisition de données par images satellitaires</i>	<i>54</i>
<i>Figure 2-9 : Les données spatiales.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 2-10 : Données d'identification</i>	<i>56</i>
<i>Figure 2-11 : Données attributaire.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 2-12 : Les modes de données dans un SIG</i>	<i>57</i>
<i>Figure 2-13 : Mode vecteur.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 2-14 : Décomposition du monde réel en couches d'information.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 2-15 : Mode raster</i>	<i>60</i>
<i>- Comparer et superposer des cartes provenant de deux sources différentes, qui sont publiées sur une seule image, afin de faciliter leur lecture et interprétation (Figure 2-16)...</i>	<i>62</i>
<i>Figure 2-17 : Superposition sous SIG</i>	<i>62</i>
<i>Figure 3-1</i>	<i>67</i>
<i>Figure 3-2</i>	<i>68</i>
<i>Figure 3-3</i>	<i>70</i>
<i>Figure 3-4</i>	<i>70</i>
<i>Figure 3-5 : Exemple sur Spatial Thoughts Project.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 3-6 : Exemple sur le téléchargement des LULC avec GEE</i>	<i>76</i>
<i>Figure 3-7 : Exemple sur l'extraction des zones urbaines</i>	<i>78</i>
<i>Figure 3-8 : Exemple sur le téléchargement des données microsoft et google avec GEE ..</i>	<i>79</i>
<i>Figure 3-9 : Exemple sur l'association des bâtis aux surfaces urbaines</i>	<i>79</i>
<i>Figure 3-10 : Exemple sur l'extraction des terres agricoles et des prairies du grand Tlemcen.....</i>	<i>81</i>
<i>Figure 3-11 : Exemple sur l'analyse de l'impact de l'urbanisation.....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 3-12 : Exemple sur la superposition spatiale</i>	<i>84</i>

<i>Figure 3-13 : Exemple sur les téléchargements des images MODIS avec GEE</i>	<i>87</i>
<i>Figure 3-14 : Exemple sur l'image MODIS pour calculer les ICU</i>	<i>88</i>
<i>Figure 3-15 : Exemple sur l'image MODIS pour visualiser les températures avec GEE... 88</i>	
<i>Figure 3-16 : Exemple sur les statistiques de classification d'une image MODIS..... 89</i>	
<i>Figure 4-1 : Situation géographique et répartition administrative de la wilaya de Tlemcen</i>	<i>95</i>
<i>Figure 4-2 : Découpage territorial par commune et par unité d'analyse de la wilaya de Tlemcen..... 96</i>	
<i>Figure 4-3 : Cartes des LULC 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen..... 97</i>	
<i>Figure 4-4 : Histogramme de l'évolution des classes LULC dans la wilaya de Tlemcen... 99</i>	
<i>Figure 4-5 : Carte de l'évolution des surfaces bâties chaque dix ans de la wilaya de Tlemcen..... 100</i>	
<i>Figure 4-6 : Carte des terres agricoles 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen 103</i>	
<i>Figure 4-7 : Carte des prairies 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen 103</i>	
<i>Figure 4-8 : Carte des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies..... 104</i>	
<i>Figure 4-9 : Résultats obtenus après la réalisation des cartes des surfaces des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies..... 106</i>	
<i>Figure 4-10 : Carte d'ilot de chaleur urbain 2000-2024 de la wilaya de Tlemcen 107</i>	
<i>Figure 4-11 : LST de la wilaya de Tlemcen 2000-2017 108</i>	
<i>Figure 4-12 : LST 2000 Tlemcen..... 109</i>	
<i>Figure 4-13 : LST 2005 Tlemcen..... 109</i>	
<i>Figure 4-14 : LST 2010 Tlemcen..... 110</i>	
<i>Figure 4-15 : LST 2015 Tlemcen..... 110</i>	
<i>Figure 4-16 : LST 2020 Tlemcen..... 110</i>	
<i>Figure 4-17 : LST 2024 Tlemcen..... 111</i>	
<i>Figure 5-1 : Carte prospective de la wilaya de Tlemcen (2050)..... 114</i>	
<i>Figure 5-2 : Résultat du Script sur GEE 119</i>	
<i>Figure 5-3 : Interface des citoyens 123</i>	
<i>Figure 5-4 : Interface des administrateurs..... 124</i>	

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1-1 Évolution de la population de Tlemcen (2008-2023)</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 2-1 : Types d'images satellitaires avec description</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 4-1 : Superficie de chaque classe LULC en km² durant les quarante années de la wilaya de Tlemcen.....</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 4-2 : Evolution urbaine des surfaces bâties en pourcentage de la wilaya de Tlemcen.....</i>	<i>101</i>
<i>Tableau 4-3 : Surface des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies en HA de la wilaya de Tlemcen</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 5-2 : Population 2050 de la wilaya de Tlemcen</i>	<i>114</i>

Liste des abréviations

ANAT : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

API : Application Programming Interface (Interface de Programmation d'Application)

APW : Assemblée Populaire de Wilaya

CAGR : Compound Annual Growth Rate (Taux de Croissance Annuel Composé)

CNAT : Conseil National de l'Aménagement du Territoire

COS : Coefficient d'Occupation des Sols

EVAP : Évapotranspiration

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

GCP : Google Cloud Platform

GEE : Google Earth Engine

ICU : Îlots de Chaleur Urbains

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

LST : Land Surface Temperature (Température de Surface Terrestre)

LULC : Land Use/Land Cover (Utilisation et Couverture des Sols)

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index (Indice de Végétation par Différence Normalisée)

ONS : Office National des Statistiques

PAW : Plan d'Aménagement de Wilaya

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

PNDA : Plan National de Développement Agricole

POS : Plan d'Occupation des Sols

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SIG : Système d'Information Géographique

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire

SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

1. Introduction

« Aménager le territoire, c'est d'abord fondre ville et campagne dans nos usages et dans nos images et repenser la question agricole et forestière sous cet angle ».

(Bernard KALAORA : 1996).

Les terres agricoles sont essentielles à la sécurité alimentaire mondiale, soutenant 95 % de la production alimentaire, employant 30 % de la main-d'œuvre dans les pays en développement et représentant 40 % des exportations de matières premières agricoles (FAO, 2022). La crise alimentaire mondiale s'intensifie avec une population projetée à 9,7 milliards d'habitants d'ici 2050, nécessitant une augmentation de 70 % de la production agricole (Nations Unies, 2023). Cependant, 33 % des sols mondiaux sont dégradés, et 1,5 million d'hectares de terres cultivables sont artificialisés chaque année pour répondre aux besoins urbains et infrastructurels (Banque Mondiale, 2023). En Afrique, 65 % des terres arables sont dégradées, menaçant les moyens de subsistance de 180 millions de personnes, particulièrement en Afrique subsaharienne (Banque Mondiale, 2023). En Algérie, où 80 % du territoire est aride ou semi-aride, les terres cultivables, limitées à 3,5 % de la superficie nationale, ont diminué de 15 % entre 2000 et 2020 (ONS, 2023).

Les technologies géospatiales, notamment les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection, offrent des solutions innovantes pour gérer ces pressions. Les satellites comme Sentinel-2 (résolution de 10 m) permettent une cartographie fine des sols, tandis que des indices comme le NDVI détectent précocement les dégradations. Des outils comme Google Earth Engine (GEE) facilitent l'analyse prospective des dynamiques territoriales. Cependant, leur intégration dans les politiques locales reste limitée en Algérie, où des cadres comme la loi 08-16 (portant orientation agricole) et le Plan National de Développement Agricole (PNDA) manquent d'outils numériques pour contrer l'artificialisation et les conflits fonciers. Cette recherche explore comment ces technologies peuvent optimiser la gestion du foncier agricole dans la wilaya de Tlemcen, un territoire clé confronté à des défis spécifiques.

2. Objet de la Recherche

Ce mémoire se concentre sur la wilaya de Tlemcen, un territoire stratégique pour l'agriculture algérienne, produisant 18 % du blé dur national et abritant 4,5 millions d'oliviers sur 85 000 hectares. Située dans un contexte semi-aride, Tlemcen fait face à une urbanisation rapide (+624 % des surfaces bâties entre 1985 et 2025), une fragmentation des exploitations (40 % des parcelles < 2 ha) et des défis environnementaux comme les îlots de chaleur urbains (+4°C). L'étude utilise les SIG, la télédétection et une plateforme participative pour cartographier les dynamiques d'occupation des sols, évaluer les impacts de l'urbanisation et proposer des solutions techno politiques innovantes pour une gouvernance durable du foncier.

3. Problématique

À Tlemcen, les terres agricoles, essentielles à la production de 18 % du blé dur national et à la culture de 4,5 millions d'oliviers, subissent une perte de plus de 5 000 hectares entre 1985 et 2025 due à une urbanisation galopante (+624 % des surfaces bâties). Cette expansion, concentrée autour du grand Tlemcen et de Maghnia, s'accompagne de défis environnementaux (îlots de chaleur urbains à +4°C) et socio-économiques (40 % des parcelles < 2 ha, 45 % des litiges liés à des conflits fonciers). Les politiques actuelles, comme la loi 08-16 interdisant le changement d'affectation des terres sans autorisation, et le PNDA, visant à moderniser l'agriculture, sont limitées par le morcellement des exploitations et l'absence d'outils géospatiaux intégrés.

Alors, Comment les technologies géospatiales (SIG et Télédétection) peuvent-elles être intégrées efficacement pour limiter l'urbanisation galopante afin de protéger les terres agricoles et préserver la productivité agricole à Tlemcen ?

4. Hypothèses

- **Hypothèse Principale**

L'intégration des technologies géospatiales, telles que les SIG et la télédétection, permet de cartographier avec précision les dynamiques d'occupation des sols à Tlemcen, en identifiant les zones critiques d'artificialisation, ce qui facilite la mise en œuvre de politiques réglementaires strictes réduisant l'urbanisation des terres agricoles d'ici 2050 tout en préservant la productivité agricole.

- **Hypothèse Opérationnelle**

L'intégration du suivi hebdomadaires des NDVI à la base de l'utilisation d'un script sur GEE réduit l'artificialisation des terres agricoles à Tlemcen d'ici 2050.

- **Hypothèse Participative**

Une plateforme numérique interactive réduit les conflits fonciers à Tlemcen en améliorant la transparence, l'engagement citoyen et minimisant les fraudes immobilières.

5. Objectifs de la Recherche

1. Cartographier l'évolution de l'occupation des sols à Tlemcen (1985–2025) pour identifier les zones de perte agricole et d'expansion urbaine.
2. Évaluer les impacts de l'urbanisation sur les terres agricoles et les écosystèmes, notamment via l'analyse des îlots de chaleur urbains (ICU).
3. Développer des outils géospatiaux et participatifs (script NDVI, carte prospective, plateforme numérique) pour une gestion durable du foncier agricole.

6. Intérêt de la Recherche

Cette étude comble un vide dans l'application des technologies géospatiales et participatives à la gestion foncière à Tlemcen, où les outils numériques sont sous-utilisés. Ses contributions incluent :

- **Scientifique** : Intégration de télédétection historique et modélisation prospective pour une analyse holistique à Tlemcen.
- **Sociétale** : Réduction des conflits fonciers et renforcement de la sécurité alimentaire à Tlemcen via une gouvernance participative.
- **Politique** : Proposition d'amendements à la loi 08-16 relative à la préservation des terres agricoles pour intégrer les SIG à Tlemcen, alignés sur les ODD (Villes durables).
- **Pratique** : Développement d'outils open-source (script GEE, plateforme Fadaeldjazair) adaptés à Tlemcen.

7. Méthodologie de travail

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres, chacun abordant une facette spécifique de l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la

télédétection pour préserver le foncier agricole dans la wilaya de Tlemcen. La méthodologie combine des approches analytiques, techniques et participatives pour répondre à la problématique de l'urbanisation galopante et de la dégradation des terres agricoles. Voici une description détaillée de la méthodologie pour chaque chapitre.

Chapitre 1 : L'agriculture et l'urbanisation : une corrélation à mettre en évidence

Le but de ce chapitre est de poser le cadre contextuel en identifiant les enjeux fonciers et les spécificités de la wilaya de Tlemcen, tout en soulignant l'importance du foncier agricole pour la sécurité alimentaire et le développement économique.

Méthodologie

1. Collecte de données contextuelles

- **Sources documentaires :** Analyse des rapports de la FAO, de la Banque Mondiale, de l'Office National des Statistiques (ONS) et des études académiques pour établir les statistiques globales et locales sur le foncier agricole.
- **Données régionales :** Récupération des données spécifiques à Tlemcen, incluant la production agricole (18 % du blé dur national, 4,5 millions d'oliviers sur 85 000 ha), la perte de terres cultivables (5 000 ha entre 1985 et 2025), et l'urbanisation (+624 % des surfaces bâties).
- **Cadre juridique :** Étude des lois algériennes (loi 87-19, loi 08-16, loi 90-25, loi 10-03, loi 23-18) pour comprendre les mécanismes de protection du foncier agricole.

2. Analyse qualitative

- **Diagnostic territorial :** Identification des défis majeurs (urbanisation rapide, fragmentation des parcelles, îlots de chaleur urbains à +4°C, conflits fonciers représentant 45 % des litiges).
- **Contexte environnemental :** Évaluation des contraintes climatiques (80 % du territoire aride ou semi-aride, salinisation, désertification) et des impacts socio-économiques (morcellement des exploitations, 40 % des parcelles < 2 ha).

3. Approche théorique

- Étude des concepts clés comme l'artificialisation des sols, l'étalement urbain, et la gouvernance foncière, en s'appuyant sur des références théoriques (ex. Bernard Kalaora, 1996).

- Comparaison avec des contextes similaires en Afrique subsaharienne pour situer Tlemcen dans un cadre global.

Chapitre 2 : Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des terrains agricoles

L'objectif de ce chapitre est de décrire les outils SIG/télédétection et méthodes analytiques appliqués à Tlemcen.

Méthodologie :

1. Collecte de données :

○ Télédétection :

- *Landsat (30m)* : Analyse historique (1985-2025).
- *Sentinel-2 (10m)* : Dynamiques récentes.
- *MODIS* : Données de température (ICU).

○ SIG :

- Données cadastrales (Direction du Foncier de Tlemcen).
- Statistiques démographiques (ONS, RGPH 2008-2023).
- Limites administratives (OpenStreetMap).

- **Enquêtes terrain** : Interviews d'agriculteurs/autorités locales pour validation.

2. Prétraitement des données :

- Correction atmosphérique (élimination des biais météo).
- Masquage des nuages (images avec <10% de couverture nuageuse).
- Géoréférencement (système WGS84).

3. Analyse spatiale :

- **Classification LULC** : Méthode supervisée (Maximum de Vraisemblance) pour identifier :
 - Terres agricoles, prairies, surfaces bâties, plans d'eau.
- **Détection des changements** : Analyse pixel à pixel (1985-2025).
- **Calcul des ICU** : Cartographie des variations de température (+2 à +4°C en zones urbaines).
- **Modélisation prospective** : Simulation via *Dinamica EGO* (croissance démographique, topographie, axes routiers).

Outils :

- Google Earth Engine (traitement Sentinel-2, NDVI).
- ArcGIS/QGIS (analyse spatiale, cartes thématiques).
- Dinamica EGO (modélisation urbaine 2050).

Chapitre 3 : Études comparatives et protocole appliqué à Tlemcen.

Ce chapitre vise à comparer les dynamiques territoriales de Tlemcen avec d'autres régions et détailler le protocole spécifique appliqué à l'étude de cas.

Méthodologie :

1. Benchmarking International :

Pays	Méthodologie	Résultats
Égypte (Shalaby)	Détection changements (Landsat)	-20% terres agricoles (1992-2009)
Malaisie	CA-Markov + SIG	Précision >85%

Pays	Méthodologie	Résultats
Italie	Fragmentation (FRAGSTATS)	+15% artificialisation

2. Protocole pour Tlemcen :

- **Périmètre** : Wilaya de Tlemcen (9,061 km², 53 communes).
- **Données** :
 - Satellites : Landsat (1985 TM → 2025 OLI-2), MODIS (2000-2024).
 - Auxiliaires : Limites administratives (BBBIKE), bâtiments (Microsoft), MNT SRTM.
- **Détails techniques** :
 - Classification : Algorithme Random Forest (GEE) → 6 classes LULC.
 - Changements : Méthode post-classification (pixels-by-pixels).
 - ICU : Reclassement LST en 3 classes (normal/modéré/élevé).

3. Outils : GEE, ArcGIS 10.8, QGIS.

Chapitre 4 : Résultats – Cartes LULC, impacts de l'urbanisation, ICU, EVAP à Tlemcen

L'objectif de ce chapitre est de **présenter** les résultats des analyses spatiales et quantifier les impacts de l'urbanisation sur les terres agricoles et les écosystèmes.

Méthodologie :

1. Cartes LULC :

- **Production** : Génération de cartes d'occupation du sol pour 1985, 1995, 2005, 2015 et 2025, montrant une réduction des terres agricoles (-7 % entre 2015 et 2025) et une explosion des surfaces bâties (+366 % entre 1995 et 2005).
- **Visualisation** : Création d'un histogramme pour comparer les variations des classes LULC (terres agricoles, forêts, prairies, surfaces imperméables, plans d'eau).

2. Analyse des impacts de l'urbanisation :

- **Cartes d'évolution urbaine :** Trois cartes complémentaires :
 - Évolution globale des surfaces bâties (1985–2025).
 - Zoom sur l'expansion urbaine autour de Tlemcen-ville.
 - Analyse détaillée d'un secteur à Chetouane, avec un code couleur par période de construction.
- **Quantification :** Calcul des taux de croissance urbaine (ex. +624 % sur 40 ans) et des empiétements sur les terres agricoles (8654 ha) et prairies (3232 ha).

3. Analyse des îlots de chaleur urbains (ICU) :

- **Cartographie :** Génération de cartes pour 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 et 2024, avec classification des températures (normale, modérée, élevée).
- **Résultats :** Augmentation des zones à température élevée (zones rouges) due à l'imperméabilisation des sols et à la perte de couvert végétal.

Chapitre 5 : Solutions – Script GEE, carte prospective 2050, plateforme Fadaeldjazair, recommandations

Ce chapitre vise à proposer des solutions technologiques et participatives pour une gestion durable du foncier agricole, incluant un script GEE, une carte prospective, et une plateforme numérique.

Méthodologie :

1. Script Google Earth Engine (GEE) pour le suivi NDVI :

- **Développement :** Création d'un script JavaScript pour calculer l'indice NDVI hebdomadaire à partir des images Sentinel-2 (résolution 10 m) sur la région de Tlemcen.
- **Étapes :**
 - Définition de la région (rectangle [-2.5, 34.5, -1.0, 35.5]).
 - Filtrage des images (moins de 10 % de nuages, période 2024–2025).
 - Calcul du NDVI (bandes B8 et B4) et exportation des résultats (NDVI_Tlemcen_2024).
- **Application :** Suivi des zones agricoles dégradées et identification des parcelles à forte productivité pour prioriser leur protection.

2. Carte prospective 2050 :

- **Modélisation** : Utilisation de Dinamica EGO pour simuler l'expansion urbaine, intégrant :

Croissance démographique (2,839 millions d'habitants en 2050, calculée via le modèle exponentiel).

Variables topographiques et routières.

- **Mesures réglementaires** : Définition de zones urbaines autorisées (en rouge) et protégées (en blanc), avec des règles strictes (construction verticale, amendes de 500 000 DZD/ha, démolition des constructions illégales).
- **Validation** : Croisement avec les données NDVI pour protéger les terres agricoles productives.

3. Plateforme Fadaeldjazair :

- **Développement technique** :

-Frontend : React.js et Leaflet pour une interface cartographique interactive.

-Backend : Node.js et MongoDB pour gérer les données cadastrales et les signalements citoyens.

- **Fonctionnalités** :

- Signalement des fraudes immobilières.

- Déclaration des conflits fonciers.

- Mise à jour cadastrale et délimitation des parcelles.

- **Objectif** : Réduire les conflits fonciers de 40 % et améliorer la transparence via une gouvernance participative.

4. Recommandations :

- **Politiques** : Amender la loi 08-16 pour intégrer les SIG et les données NDVI dans les plans d'aménagement.
- **Techniques** : Développer une application mobile pour Fadaeldjazair et utiliser des drones pour surveiller les empiétements.
- **Participatives** : Organiser des ateliers avec les agriculteurs et des campagnes de sensibilisation multimédia.

8. Structure du Mémoire

Introduction Générale

Chapitre I : L'agriculture et l'urbanisation : une corrélation à mettre en évidence

Chapitre II : Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des terrains agricoles

Chapitre III : Études comparatives et protocole appliqué à Tlemcen

Chapitre IV : Résultats – Cartes LULC, impacts de l’urbanisation, ICU, EVAP à Tlemcen

Chapitre V : Solutions – Script GEE, carte prospective 2050, plateforme Fadaeldjazair, recommandations pour Tlemcen

Conclusion Générale

CHAPITRE I

L'agriculture et l'urbanisation : une corrélation à
mettre en évidence

1.1. Introduction :

Le foncier agricole constitue l'un des piliers majeurs de l'économie algérienne, jouant un rôle central dans la sécurité alimentaire, la création d'emplois ruraux et la stabilisation des territoires. Cependant, ce potentiel est menacé par des défis complexes, tels que la régression des surfaces cultivables, l'urbanisation accélérée et la dégradation environnementale. En Algérie, où près de 80 % du territoire est aride ou semi-aride, la préservation des terres agricoles revêt une urgence stratégique. Les lois encadrant leur exploitation, comme la loi 08-16 de 2008, et les instruments d'aménagement du territoire, tels que le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), illustrent les efforts législatifs pour concilier développement économique et durabilité.

L'urbanisation galopante, marquée par un taux de 70 % de population urbaine, exacerbe les pressions sur les espaces agricoles périurbains. L'artificialisation des sols, conséquence directe de l'étalement urbain, grignote annuellement des milliers d'hectares de terres fertiles, comme le montre l'exemple de la wilaya de Tlemcen. Cette dynamique territoriale, couplée à des enjeux climatiques (salinisation, désertification), met en lumière les tensions entre croissance démographique et préservation des ressources.

Les politiques publiques sectorielles, telles que la Stratégie nationale pour la biodiversité (2020-2024) ou le Plan d'Action pour les Systèmes Alimentaires Durables, tentent de répondre à ces défis. Toutefois, leur efficacité est limitée par des lacunes structurelles : centralisation excessive, conflits fonciers et manque de coordination interinstitutionnelle. La wilaya de Tlemcen, étudiée ici en détail, incarne ces paradoxes. Dotée d'atouts agricoles et culturels, elle subit une pression urbaine intense, avec une perte de 5 000 hectares de terres cultivables en deux décennies.

Ce contexte appelle une réflexion sur les mécanismes de gouvernance, les outils de planification spatiale et les innovations techniques nécessaires pour réconcilier développement urbain et préservation du foncier agricole. L'analyse des cadres juridiques, des instruments d'urbanisme (PDAU, POS) et des stratégies sectorielles révèle à la fois des avancées et des lacunes persistantes, soulignant l'impératif d'une approche intégrée et décentralisée.

1.2. Le foncier agricole : un vrai potentiel économique

Le foncier agricole constitue l'un des piliers fondamentaux de l'économie algérienne. Il représente une ressource stratégique pour le développement du secteur agricole, la sécurité

alimentaire et la création d'emplois en milieu rural. Cependant, ce potentiel économique est confronté à des défis majeurs, notamment la régression des surfaces agricoles, la pression urbaine et les problèmes environnementaux. Les données officielles et les études disponibles mettent en lumière les enjeux liés à la gestion de ce patrimoine foncier, ainsi que les perspectives pour en maximiser la valeur économique^{1 2 3}.

1.2.1. Le foncier agricole : fondement d'une agriculture épanouie

Le foncier agricole est la base sur laquelle repose toute stratégie de développement agricole durable. En Algérie, les terres agricoles, bien que soumises à des contraintes naturelles et anthropiques, représentent une ressource essentielle pour assurer la sécurité alimentaire du pays et générer des revenus pour les populations rurales. Les lois encadrant l'exploitation des terres agricoles, telles que la loi 87-19 du 8 décembre 1987 et la loi 08-16 du 23 août 2008, témoignent de l'importance accordée par l'État à la gestion et à la mise en valeur de ces terres. Ces textes juridiques visent à organiser l'accès au foncier agricole, à réguler son utilisation et à encourager les investissements dans le secteur agricole^{4 5}.

Les efforts de recensement et de concession des terres agricoles, comme le mentionne l'article de l'APS, illustrent la volonté de l'État de rationaliser l'utilisation du foncier agricole. En recensant plus de 63 000 hectares à octroyer par voie de concession, les autorités cherchent à optimiser l'exploitation des terres et à les rendre accessibles aux investisseurs et aux agriculteurs. Ces initiatives visent à moderniser l'agriculture algérienne, à améliorer sa productivité et à renforcer sa compétitivité sur les marchés nationaux et internationaux⁶.

Pour que le foncier agricole soit un véritable fondement d'une agriculture épanouie, il est essentiel de relever les défis liés à la dégradation des sols, à la salinisation et à la pression urbaine. Une gestion durable des terres agricoles, couplée à des politiques d'investissement et de modernisation, est indispensable pour libérer le potentiel économique de ce secteur. Par exemple, la perspective de création d'une banque de données dédiée au foncier agricole, annoncée par le Land Portal, pourrait renforcer la transparence et la gestion efficace de ces

¹ Land Portal, 2023

² APS, 2022

³ Radio Algérienne, 2021

⁴ Loi n° 87-19, 1987

⁵ Loi n° 08-16, 2008

⁶ APS, 2022

ressources. Cette initiative permettrait de centraliser les informations sur les terres agricoles, facilitant ainsi leur allocation et leur exploitation optimale.

Les politiques de mise en valeur des terres arides, analysées dans les Cahiers Agricultures, montrent que l'Algérie a entrepris des efforts pour développer les zones agricoles marginales. Ces politiques incluent des mesures d'irrigation, de lutte contre la désertification et de promotion de cultures adaptées aux conditions climatiques difficiles. Ces initiatives sont cruciales pour maximiser l'utilisation des terres disponibles et pour assurer une production agricole durable ⁷.

1.2.2. L'Algérie : des espaces agricoles en régression

Malgré leur importance stratégique, les espaces agricoles en Algérie sont en régression, principalement en raison de l'urbanisation croissante et des défis environnementaux. Comme le rapporte Radio Algérienne, de nombreuses parcelles de terres agricoles ont été déclassées pour la réalisation de logements et d'équipements publics. Cette tendance reflète la pression exercée par l'expansion urbaine sur les zones agricoles, menaçant ainsi la disponibilité des terres cultivables et la durabilité de l'agriculture algérienne ⁸.

La conversion des terres agricoles en zones urbaines est un phénomène préoccupant, notamment dans les wilayas où la demande en logements et en infrastructures est élevée. Cette pression urbaine non seulement réduit la superficie des terres agricoles, mais aussi fragmente les exploitations, rendant leur gestion plus complexe et moins rentable. Par exemple, dans les régions côtières, où la densité de population est élevée, les terres agricoles sont souvent sacrifiées au profit de projets immobiliers ou industriels. Cette situation compromet la capacité du pays à maintenir une production agricole suffisante pour répondre aux besoins de sa population ⁹.

Les défis environnementaux exacerbent également la régression des espaces agricoles. La salinisation des terres, causée par l'irrigation avec des eaux salines et l'insuffisance de drainage, est l'un des problèmes les plus graves. Comme le souligne l'étude de Purdue University, la salinisation réduit la fertilité des sols et limite leur capacité à soutenir une production agricole viable. Ce phénomène est particulièrement préoccupant

⁷ Cahiers Agricultures, 2020

⁸ Radio Algérienne, 2021

⁹ IBID, 8

dans les régions sahariennes, où les ressources en eau sont rares et souvent de mauvaise qualité. L'article de La France Agricole met en lumière les risques liés à la salinité croissante des eaux d'irrigation, qui menace la fertilité des terres sahariennes et compromet les efforts de développement agricole dans ces zones ¹⁰.

La désertification et l'érosion des sols contribuent à la dégradation des terres agricoles. Les pratiques agricoles non durables, telles que la surutilisation des sols et le défrichement excessif, aggravent ces problèmes. Ces phénomènes réduisent la superficie des terres cultivables et menacent la sécurité alimentaire du pays. Pour inverser cette tendance, il est essentiel de mettre en place des politiques de préservation et de réhabilitation des terres agricoles¹¹. Cela inclut des mesures de lutte contre la désertification, la promotion de pratiques agricoles durables et l'amélioration des systèmes d'irrigation et de drainage.

1.2.3. Perspectives et initiatives pour une gestion durable du foncier agricole

Face aux défis de la régression des espaces agricoles et de la dégradation des sols, plusieurs initiatives et perspectives se dessinent pour une gestion durable du foncier agricole en Algérie. La création d'une banque de données dédiée au foncier agricole, annoncée par le Land Portal, représente une avancée majeure. Cette initiative vise à centraliser les informations sur les terres agricoles, facilitant ainsi leur gestion et leur allocation¹². Une telle base de données permettrait de mieux planifier l'utilisation des terres, de prévenir les conflits fonciers et de promouvoir une exploitation rationnelle des ressources.

Les politiques de mise en valeur des terres arides, analysées dans les Cahiers Agricultures, montrent que l'Algérie a entrepris des efforts pour développer les zones agricoles marginales¹³. Ces politiques incluent des mesures d'irrigation, de lutte contre la désertification et de promotion de cultures adaptées aux conditions climatiques difficiles. Ces initiatives sont cruciales pour maximiser l'utilisation des terres disponibles et pour assurer une production agricole durable.

La thèse disponible sur Thèses.fr, qui examine les pratiques foncières et sociales liées au foncier agricole en Algérie, met en lumière l'importance de prendre en compte les dimensions sociales et culturelles dans la gestion des terres agricoles. Les communautés

¹⁰ Purdue University, 2019

¹¹ La France Agricole, 2021

¹² IBID, 1

¹³ IBID, 7

locales jouent un rôle clé dans la préservation et la valorisation des terres, et leur implication est essentielle pour assurer le succès des politiques agricoles¹⁴.

1.3. L'urbanisation, un processus et une réalité nationale

L'urbanisation en Algérie est un phénomène majeur qui a profondément transformé le territoire national depuis l'indépendance. Ce processus, marqué par une croissance rapide de la population urbaine et une expansion spatiale des villes, a des implications économiques, sociales et environnementales significatives. Les études et analyses disponibles permettent de dresser un bilan statistique de cette urbanisation, tout en mettant en lumière ses conséquences, notamment l'artificialisation des sols et la pression sur les espaces agricoles périurbains^{15 16 17}.

1.3.1. L'urbanisation, aspect d'un territoire en évolution

L'urbanisation en Algérie est un phénomène complexe qui reflète les transformations profondes du territoire national depuis l'indépendance. Comme le souligne l'article de Persée, l'évolution de l'urbanisation en Algérie a été marquée par une croissance rapide de la population urbaine, passant de moins de 30 % en 1962 à plus de 70 % au début des années 2000¹⁸. Cette transition urbaine s'est accompagnée d'une redistribution spatiale de la population, avec une concentration croissante dans les grandes agglomérations, notamment Alger, Oran et Constantine.

La croissance urbaine en Algérie est également caractérisée par le rôle des petites et moyennes villes, comme l'explique l'article de Journals.openedition.org. Ces agglomérations, souvent situées à la périphérie des grandes villes, ont joué un rôle clé dans l'absorption de la croissance démographique et dans la répartition spatiale de la population¹⁹. Cependant, cette dynamique a également entraîné une pression accrue sur les espaces périurbains, conduisant à leur artificialisation progressive.

L'article de Ruralm.hypotheses.org fournit des chiffres clés sur l'évolution de la population urbaine en Algérie, illustrant l'ampleur du phénomène urbain. Entre 1966 et 2018, la population urbaine est passée de 4,5 millions à plus de 30 millions d'habitants,

¹⁴ Thèses.fr, 2022

¹⁵ Persée, 2020

¹⁶ Cairn.info, 2019

¹⁷ Journals.openedition.org, 2021

¹⁸ IBID, 15

¹⁹ IBID,17

reflétant une urbanisation rapide et massive²⁰. Cette croissance s'est accompagnée d'une expansion spatiale des villes, avec un étalement urbain qui a souvent empiété sur les terres agricoles et les espaces naturels.

L'urbanisation en Algérie est également marquée par des disparités régionales. Les grandes villes du nord, en particulier Alger, ont connu une croissance exponentielle, tandis que les régions du sud ont été moins touchées par ce phénomène²¹. Cependant, comme le montre l'étude de Cairn.info sur l'agglomération algéroise, cette urbanisation rapide a des conséquences sur la durabilité des ressources environnementales, notamment en termes de gestion de l'eau, des sols et des déchets.

L'article d'Areion24.news discute de la transition urbaine en Algérie et des nouvelles formes d'urbanité qui en découlent. Cette transition se caractérise par une diversification des modes de vie, une transformation des paysages urbains et une complexification des enjeux de gouvernance locale²². L'urbanisation en Algérie est donc un processus multidimensionnel qui reflète les mutations profondes de la société et du territoire national.

1.3.2. L'artificialisation des sols, conséquence directe de l'urbanisation

L'artificialisation des sols est l'une des conséquences les plus visibles et les plus préoccupantes de l'urbanisation en Algérie. Ce phénomène, qui consiste en la transformation des terres naturelles ou agricoles en espaces urbanisés, a des implications majeures sur l'environnement, l'agriculture et la gestion du territoire. Comme l'explique l'étude de Journals.openedition.org, la pression urbaine sur les espaces agricoles périurbains a conduit à leur artificialisation progressive, menaçant ainsi la durabilité des ressources foncières²³.

L'analyse de l'artificialisation des sols dans les wilayas d'Oran Ouest et de Tipaza Centre, disponible sur Virtuallibrary.enssmal.edu.dz, illustre ce phénomène. En utilisant des systèmes d'informations géographiques, cette étude montre comment les zones côtières, particulièrement attractives pour les projets immobiliers et touristiques, ont été largement artificialisées au détriment des terres agricoles et des écosystèmes naturels²⁴. Cette tendance est particulièrement préoccupante dans un contexte de pression démographique et de demande croissante en logements et en infrastructures.

²⁰ Ruralm.hypotheses.org, 2022

²¹ IBID, 16

²² Areion24.news, 2023

²³ IBID, 17

²⁴ Virtuallibrary.enssmal.edu.dz, 2022

L'article de Fonciers-en-debat.com analyse les facteurs qui influencent l'artificialisation des sols, en mettant en avant le rôle des dynamiques démographiques, économiques et sociales. En Algérie, la croissance rapide de la population urbaine, combinée à une demande accrue en logements et en équipements publics, a conduit à une expansion spatiale des villes et à une consommation excessive des terres²⁵. Cette artificialisation des sols a des conséquences directes sur la disponibilité des terres agricoles, la biodiversité et la résilience des écosystèmes.

L'étalement urbain, comme le décrit l'étude de Ummto.dz, est un mode de croissance dominant des villes algériennes. Ce phénomène, caractérisé par une expansion spatiale désorganisée et peu dense, a des impacts négatifs sur les espaces périurbains et agricoles. L'étalement urbain entraîne une fragmentation des paysages, une perte de terres agricoles et une augmentation des coûts d'infrastructure. De plus, il contribue à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, en raison de la dépendance accrue à la voiture individuelle²⁶.

L'article de Persée déconstruit certaines idées reçues sur l'urbanisation en Algérie, en mettant en lumière les réalités complexes de ce phénomène. L'artificialisation des sols n'est pas seulement le résultat de la croissance démographique, mais aussi des choix politiques et économiques en matière d'aménagement du territoire²⁷. Pour limiter ce phénomène, il est essentiel de mettre en place des politiques de planification urbaine durable, qui privilégient la densification des villes existantes plutôt que leur expansion spatiale²⁸.

1.4. Législation, instruments de planification, politiques et stratégies sectorielles pour la protection et le développement du foncier agricole

La protection et le développement du foncier agricole en Algérie reposent sur un cadre juridique solide, des instruments de planification spatiale et des politiques publiques sectorielles. Ces outils visent à encadrer l'utilisation des terres agricoles, à préserver leur intégrité face à la pression urbaine et à promouvoir une gestion durable des ressources foncières. Cette section explore en détail les aspects législatifs, les instruments de planification spatiale et les stratégies sectorielles mises en place pour assurer la durabilité du foncier agricole.

²⁵ Fonciers-en-debat.com, 2023

²⁶ Ummto.dz, 2021

²⁷ IBID,15

²⁸ Fonciers-en-debat.com, 2023

1.4.1. Cadre juridique régissant la protection du foncier agricole

Le cadre juridique algérien relatif à la protection du foncier agricole est constitué de plusieurs lois et textes réglementaires qui définissent les règles d'exploitation, de gestion et de protection des terres agricoles. Ces lois visent à préserver les terres agricoles contre les mutations illégales, l'urbanisation anarchique et la dégradation environnementale.

1) Loi n° 87-19 du 8 décembre 1987

Cette loi, disponible sur FAO.ORG, détermine le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixe les droits et obligations des producteurs. Elle établit que l'État est propriétaire des terres agricoles, mais consent aux collectifs agricoles un droit d'exploitation. Cette disposition vise à encourager l'exploitation collective des terres, tout en maintenant un contrôle étatique sur leur utilisation. La loi prévoit également des sanctions en cas de non-respect des règles d'exploitation. Elle constitue l'un des piliers du cadre juridique régissant le foncier agricole en Algérie.

2) Loi n° 90-25 du 18 novembre 1990

Portant orientation foncière, cette loi, consultable sur INTERIEUR.GOV.DZ, fixe la consistance technique et le régime juridique du patrimoine foncier. Elle définit les instruments d'intervention de l'État, des collectivités locales et des organismes publics dans la gestion des terres agricoles. La loi vise à rationaliser l'utilisation des terres et à prévenir les conflits fonciers en établissant des règles claires pour l'attribution et l'exploitation des terres. Elle interdit notamment l'utilisation des terres agricoles à des fins non agricoles sans autorisation préalable, renforçant ainsi la protection de ces espaces.

3) Loi n° 08-16 du 3 août 2008

Cette loi, disponible sur FAO.ORG, porte sur l'orientation agricole et interdit toute utilisation autre qu'agricole d'une terre classée agricole ou à vocation agricole. Elle introduit également la concession comme unique forme d'attribution foncière pour les terres publiques à vocation agricole aménagées et équipées par l'État. Cette disposition vise à promouvoir une gestion plus rigoureuse des terres agricoles et à prévenir leur détournement à des fins non agricoles. La loi renforce également le rôle de l'État dans la régulation du marché foncier agricole.

4) Loi n° 10-03 du 15 août 2010

Cette loi, consultable sur FR.MADR.GOV.DZ, fixe les conditions et les modalités d'exploitation des terres agricoles du domaine privé de l'État. Elle renforce le cadre juridique pour une gestion durable du foncier agricole en introduisant des mesures de protection contre la dégradation des sols et en encadrant strictement l'utilisation des terres agricoles. La loi vise également à promouvoir une exploitation rationnelle des terres, en tenant compte des impératifs de durabilité et de préservation des ressources naturelles.

5) Loi n° 23-18 du 28 novembre 2023

Cette loi récente, disponible sur DROIT.MJUSTICE.DZ, relative à la protection et à la préservation des terres de l'État, vise à renforcer la protection des terres appartenant à l'État, incluant les terres agricoles. Elle introduit des mesures strictes pour prévenir l'aliénation illégale des terres agricoles et pour sanctionner les infractions liées à leur exploitation. La loi vise également à promouvoir une gestion durable des terres agricoles, en intégrant des considérations environnementales et sociales. Elle s'inscrit dans une logique de renforcement de la souveraineté alimentaire et de préservation du patrimoine foncier national.

1.4.2.1 Instruments d'aménagement du territoire

Instruments d'aménagement du territoire en Algérie constituent un cadre structuré pour organiser l'espace national, régional et local de manière cohérente et durable. Ils visent à harmoniser les objectifs économiques, sociaux et environnementaux tout en répondant aux défis démographiques, climatiques et de développement. Les trois principaux instruments sont le **Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)**, le **Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT)** et le **Plan d'Aménagement de Wilaya (PAW)**. Chacun joue un rôle distinct mais complémentaire dans la planification spatiale.

1. Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)

Le SNAT est l'instrument suprême de planification territoriale à l'échelle nationale. Il définit une vision stratégique à long terme (20-30 ans) pour guider l'organisation spatiale, économique et environnementale du pays.

Objectifs :

- **Équilibre territorial** : Réduire les disparités entre régions côtières, intérieures et sahariennes.
- **Gestion durable des ressources** : Protéger les terres agricoles, les forêts, les nappes phréatiques et les écosystèmes fragiles.
- **Compétitivité économique** : Structurer des pôles économiques intégrés (industrie, agriculture, tourisme).
- **Adaptation aux changements climatiques** : Intégrer des mesures de résilience face à la désertification, aux inondations et à la raréfaction de l'eau.

Cadre juridique :

- Approuvé par décret présidentiel, le SNAT s'appuie sur des lois fondatrices telles que la **Loi 01-20 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire**.
- Il est aligné sur les engagements internationaux de l'Algérie (Objectifs de Développement Durable, Accords de Paris).

Contenu structurel :

1. **Diagnostic territorial** : Analyse des dynamiques démographiques, économiques et environnementales.
2. **Orientations stratégiques** :
 - Délimitation des zones à protéger (agricoles, forestières, littorales).
 - Identification des corridors de développement (axes routiers, ferroviaires, énergétiques).
 - Planification des villes nouvelles pour désengorger les métropoles.
3. **Feuille de route opérationnelle** :
 - Programmation des infrastructures majeures (ports, aéroports, barrages).
 - Mécanismes de financement (fonds publics, partenariats public-privé).

Processus d'élaboration :

- **Phase préparatoire** : Collecte de données par l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (ANAT).
- **Concertation institutionnelle** : Coordination entre ministères (Intérieur, Agriculture, Environnement).
- **Validation** : Adoption après consultation du Conseil National de l'Aménagement du Territoire (CNAT).

2. Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT)

Le SRAT décline les orientations du SNAT à l'échelle régionale, en adaptant les stratégies nationales aux spécificités géographiques, économiques et culturelles des régions algériennes.

Objectifs :

- **Développement régional intégré** : Valoriser les ressources locales (agricoles, minières, touristiques).
- **Cohérence inter-wilayas** : Harmoniser les politiques d'urbanisme, de transport et d'environnement entre wilayas voisines.
- **Préservation des équilibres écologiques** : Gestion transrégionale des bassins hydriques et des corridors biologiques.

Cadre juridique :

- Régi par le **Décret exécutif 07-104** fixant les modalités d'élaboration des SRAT.
- Doit être compatible avec le SNAT et les plans sectoriels (énergie, agriculture).

Contenu structurel :

1. Analyse régionale :

- Cartographie des potentiels économiques et des contraintes environnementales.
- Évaluation des besoins en infrastructures (écoles, hôpitaux, réseaux d'eau).

2. Zonage fonctionnel :

- Zones économiques prioritaires (industrielles, agricoles, touristiques).

- Zones à risques (sismiques, inondables, désertification).

3. Projets structurants :

- Création de pôles urbains secondaires pour rééquilibrer la répartition démographique.
- Développement de réseaux de transport interwilayas.

Processus d'élaboration :

1. **Comité régional** : Piloté par le wali (gouverneur) et associant élus locaux, experts et société civile.
2. **Validation** : Approbation par les Assemblées Populaires de Wilaya (APW) et le ministère de l'Intérieur.

3. Plan d'Aménagement de Wilaya (PAW)

Le PAW est l'outil opérationnel qui traduit les orientations du SRAT à l'échelle provinciale. Il détaille les règles d'occupation des sols et les projets concrets pour chaque commune.

Objectifs :

- **Planification locale** : Définir l'affectation des sols (urbains, agricoles, industriels).
- **Gestion des ressources** : Optimiser l'utilisation de l'eau, des terres et de l'énergie.
- **Lutte contre l'étalement urbain** : Encadrer l'expansion des villes pour préserver les espaces ruraux.

Cadre juridique :

- Régi par la **Loi 90-29 relative à l'urbanisme** et ses textes d'application.
- Doit respecter les normes du SRAT et du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU).

Contenu structurel :

1. **Cartographie détaillée** :
 - Périmètres urbains (zones d'habitat, activités économiques).

- Zones naturelles et agricoles inconstructibles.
- Servitudes d'utilité publique (lignes électriques, gazoducs).

2. Règles d'urbanisme :

- Coefficient d'Occupation des Sols (COS).
- Hauteurs maximales des bâtiments.
- Normes environnementales (assainissement, espaces verts).

3. Programmation des projets :

- Logements sociaux.
- Équipements publics (écoles, centres de santé).

Processus d'élaboration :

1. **Diagnostic communal** : Identification des besoins en logements, services et infrastructures.
2. **Concertation citoyenne** : Consultations publiques et ateliers participatifs.
3. **Validation** : Adoption par le conseil de wilaya et publication au Journal Officiel.

4. Synergies et hiérarchie entre SNAT, SRAT et PAW

Ces instruments s'articulent selon une logique descendante :

1. **SNAT** : Fixe une vision nationale intégrant les enjeux globaux (climat, sécurité alimentaire).
2. **SRAT** : Adapte cette vision aux spécificités régionales (ressources locales, dynamiques transfrontalières).
3. **PAW** : Opérationnalise les orientations via des règles et projets concrets à l'échelle communale.

Mécanismes de coordination :

- **Comités de suivi** : Instances interministérielles et interwilayas pour éviter les chevauchements.

- **Outils numériques** : Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour harmoniser les cartographies.

5. Défis et perspectives

Défis majeurs :

- **Pression foncière** : Conflits entre urbanisation et protection des terres agricoles.
- **Décentralisation limitée** : Centralisation des décisions malgré la déconcentration administrative.
- **Financements insuffisants** : Retards chroniques dans la réalisation des infrastructures.

Perspectives d'amélioration :

- **Renforcement légal** : Sanctions accrues contre les violations des zonages.
- **Technologie** : Utilisation de drones et d'IA pour surveiller l'utilisation des sols.
- **Participation citoyenne** : Plateformes digitales pour impliquer les populations locales.

1.4.2.2 Instruments d'urbanisme

Les instruments d'urbanisme en Algérie, principalement le **Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU)** et le **Plan d'Occupation des Sols (POS)**, constituent le cadre réglementaire de la gestion spatiale et foncière. Ils encadrent l'utilisation des sols, régulent les projets d'aménagement et protègent les espaces stratégiques (agricoles, naturels, urbains). Cette section explore leur structure, leurs mécanismes juridiques, leurs processus d'élaboration et leurs défis, conformément aux références fournies.

1. Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU)

1.1 Définition et finalités

Le **PDAU** est un document stratégique de planification spatiale qui définit, à l'échelle communale ou intercommunale, les orientations générales d'aménagement pour une période de 15 à 25 ans. Il vise à :

- **Organiser l'espace urbain et rural** en délimitant les zones d'habitat, d'activités économiques, d'équipements publics et de protection environnementale.
- **Contrôler l'étalement urbain** en préservant les terres agricoles et les écosystèmes sensibles.
- **Anticiper les besoins futurs** en intégrant des projections démographiques, économiques et climatiques.

1.2 Cadre juridique et réglementaire

- **Loi 90-25 du 18 novembre 1990** : Pose les bases légales de l'urbanisme en Algérie et définit le rôle du PDAU.
- **Décret exécutif 91-176 du 28 juillet 1991** : Détaille les procédures d'élaboration, de révision et d'approbation du PDAU.
- **Loi 08-16 du 3 août 2008** : Renforce la protection des terres agricoles en interdisant leur conversion sans autorisation préalable.

1.3 Structure et contenu

1. Diagnostic territorial :

- Analyse des dynamiques démographiques (croissance, densité, migration).
- Évaluation des ressources naturelles (eau, sols, biodiversité).
- Identification des risques (inondations, glissements de terrain, désertification).

2. Orientations stratégiques :

- **Zonage fonctionnel :**
 - **Zones urbaines (U) :**
 - Ua : Zones d'habitat dense.
 - Ub : Zones mixtes (habitat et activités).
 - Uc : Zones industrielles et commerciales.
 - **Zones naturelles et agricoles (NA et A) :**

- NA : Espaces boisés, parcs naturels.
- A : Terres agricoles, périmètres irrigués.
- **Règles d'utilisation des sols :**
 - Densité maximale (logements/hectare).
 - Hauteur des constructions (R+2 à R+5 selon les zones).
 - Emprise au sol (pourcentage de terrain constructible).
- 3. **Programmation des infrastructures :**
 - Transport (routes, transports en commun).
 - Énergie (réseaux électriques, énergies renouvelables).
 - Eau et assainissement (stations d'épuration, réseaux d'irrigation).

1.4 Processus d'élaboration

1. **Initiation :**
 - Portée par la wilaya ou la commune, avec validation préalable du ministère de l'Intérieur.
2. **Études techniques :**
 - Réalisées par des bureaux d'études agréés, incluant :
 - Cartographie SIG (Systèmes d'Information Géographique).
 - Analyse SWOT (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces).
3. **Concertation institutionnelle :**
 - Consultations des collectivités locales, chambres de commerce et associations environnementales.
4. **Enquête publique :**
 - Affichage en mairie et recueil des observations citoyennes pendant 30 jours.
5. **Validation finale :**
 - Adoption par décret du wali (gouverneur) après avis conforme du Conseil municipal.

1.5 Mécanismes de suivi et révision

- **Comités de suivi** : Instances interministérielles pour évaluer la mise en œuvre.
- **Révision périodique** : Tous les 10 ans pour intégrer les nouvelles données socio-économiques.

2. Plan d'Occupation des Sols (POS)

2.1 Définition et rôle

Le **POS** est un document opérationnel qui précise, à l'échelle parcellaire, les règles d'utilisation des sols définies par le PDAU. Il a pour objectifs :

- **Réguler l'occupation des sols** en fixant les droits à construire et les servitudes.
- **Prévenir les conflits d'usage** entre zones résidentielles, industrielles et agricoles.
- **Protéger les espaces sensibles** (zones inondables, corridors écologiques).

2.2 Cadre juridique

- **Loi 90-29 du 1er décembre 1990** : Définit les principes généraux du POS.
- **Décret exécutif 91-178 du 28 juillet 1991** : Fixe les normes techniques et les procédures de révision.
- **Circulaire ministérielle n° 05/2015** : Intègre des critères environnementaux stricts (gestion des déchets, économie d'eau).

2.3 Structure et contenu

1. Découpage parcellaire :

- **Zones urbaines (U) :**
 - U1 : Habitat individuel (COS 0,4).
 - U2 : Habitat collectif (COS 0,6).
 - U3 : Zones d'activités (entrepôts, bureaux).
- **Zones naturelles (N) :**
 - N1 : Espaces verts publics.
 - N2 : Zones agricoles inconstructibles.

2. Règles détaillées :

- **Coefficient d'Occupation des Sols (COS)** : Limite la surface constructible (ex. : COS 0,5 = 50 % de la parcelle).
- **Hauteur maximale** : Définie en nombre d'étages (ex. : R+3 en zone U1).
- **Servitudes** :
 - Bandes non aedificandi (retrait de 5 m des axes routiers).
 - Droit de passage pour les réseaux (eau, électricité).

3. Annexes techniques :

- Cartes à échelle 1/2 000 ou 1/5 000.
- Fiches parcellaires détaillant les contraintes et les droits.

2.4 Processus d'élaboration

1. Alignement sur le PDAU :

- Le POS doit respecter les orientations du PDAU sous peine d'illégalité.

2. Études complémentaires :

- Analyses géotechniques (risques sismiques).
- Études hydrologiques (zones inondables).

3. Concertation locale :

- Ateliers participatifs avec les citoyens et les professionnels de l'immobilier.

4. Validation :

- Adoption par arrêté du wali après avis du Conseil municipal.

2.5 Mécanismes de contrôle et sanctions

- **Permis de construire** : Obligation de conformité au POS.
- **Sanctions** :
 - Amendes pour constructions illégales (jusqu'à 1 million de dinars).
 - Démolition des ouvrages non conformes.

3. Interaction et hiérarchie entre PDAU et POS

3.1 Complémentarité fonctionnelle

- **PDAU :**
 - Fixe la vision stratégique.
 - Délimite les zones à urbaniser et à protéger.
- **POS :**
 - Traduit les orientations en règles contraignantes.
 - Définit les modalités pratiques de construction.

3.2 Hiérarchie juridique

- Le **POS** est subordonné au **PDAU**, qui lui-même s'aligne sur le **Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT)** et le **Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)**.

3.3 Processus de révision coordonnée

- Toute révision du PDAU entraîne une mise à jour du POS.
- Les révisions du POS doivent être validées par la wilaya pour garantir la cohérence territoriale.

4. Défis et contraintes

4.1 Défis techniques

- **Manque de données fiables :** Absence de cartographie précise dans certaines régions.
- **Complexité des normes :** Difficultés d'interprétation des COS et des servitudes.

4.2 Défis institutionnels

- **Centralisation excessive :** Retards dans les validations par les autorités centrales.
- **Chevauchement des compétences :** Conflits entre communes et wilayas sur les zonages.

4.3 Défis socio-économiques

- **Pression foncière :** Spéculation immobilière dans les zones périurbaines.

- **Déficit de logements** : Conflit entre objectifs de densification et préservation des terres.

5. Perspectives d'optimisation

5.1 Modernisation des outils

- **Systèmes d'Information Géographique (SIG)** :
 - Cartographie dynamique pour un suivi en temps réel.
 - Bases de données intégrées (sol, eau, démographie).
- **Plateformes numériques** :
 - Consultation en ligne des règles d'urbanisme.
 - Démarches dématérialisées pour les permis de construire.

5.2 Renforcement légal

- **Lutte contre la corruption** : Contrôles renforcés sur les attributions de terrains.
- **Sanctions alourdies** : Confiscation des parcelles en cas de violations répétées.

5.3 Formation et sensibilisation

- **Ateliers pour élus locaux** : Maîtrise des outils d'urbanisme.
- **Campagnes citoyennes** : Sensibilisation à l'importance des terres agricoles.

6. Intégration des enjeux climatiques

6.1 Normes environnementales

- **Écoconstruction** : Obligation d'isolation thermique, panneaux solaires.
- **Gestion des eaux pluviales** : Bassins de rétention, revêtements perméables.

6.2 Résilience aux risques

- **Cartographie des zones à risque** : Intégration dans les POS.
- **Plans de prévention des risques (PPR)** : Obligation de respect des normes parasismiques.

1.4.3 Stratégies et politiques publiques sectorielles et la gestion durable du foncier agricole

La gestion durable du foncier agricole en Algérie s'appuie sur un ensemble de stratégies et politiques publiques sectorielles visant à concilier productivité agricole, préservation des ressources naturelles et équité sociale. Ces politiques, élaborées depuis les années 1980 et renforcées par des initiatives récentes, répondent à des enjeux complexes tels que l'urbanisation accélérée, la désertification, la salinisation des sols et la pression sur les ressources en eau. Cette section analyse les principales stratégies, leurs fondements conceptuels, leurs mécanismes de mise en œuvre et leurs défis, en s'appuyant sur les références fournies.

1. Politique de mise en valeur des terres arides (1983)

Initiée en 1983, cette politique vise à valoriser les terres arides et semi-arides, qui représentent près de 80 % du territoire algérien. Elle s'articule autour de trois axes majeurs :

- **Redistribution foncière** : Attribution de terres domaniales à des collectifs agricoles pour lutter contre l'exode rural.
- **Aménagement hydraulique** : Construction de barrages collinaires et de systèmes d'irrigation localisée.
- **Promotion de cultures adaptées** : Développement de l'arboriculture (oliviers, pistachiers) et de céréales résistantes à la sécheresse.

Enjeux de justice sociale :

- **Inégalités d'accès** : Les terres redistribuées ont souvent bénéficié à des acteurs proches des réseaux politiques, marginalisant les petits paysans (CahiersAgricultures.fr).
- **Conflits fonciers** : Litiges entre éleveurs nomades et agriculteurs sédentarisés dans les Hauts Plateaux.

Impact environnemental :

- **Surexploitation des nappes phréatiques** : Les forages illégaux ont aggravé la raréfaction de l'eau (Foncier-Developpement.fr).

2. Stratégie nationale pour la biodiversité (2020-2024)

Alignée sur les objectifs d'Aichi et l'Agenda 2030, cette stratégie intègre la gestion durable des terres agricoles comme pilier de la conservation de la biodiversité.

Mesures clés :

- **Corridors écologiques** : Protection des zones tampons entre terres agricoles et espaces naturels.
- **Agroécologie** : Promotion de pratiques respectueuses des pollinisateurs et des sols.
- **Lutte contre la désertification** : Reboisement de 2 millions d'hectares d'ici 2030 (FAO.org).

Limites :

- **Manque de coordination** : Chevauchement des compétences entre ministères de l'Agriculture et de l'Environnement.

3. Plan d'Action National pour les Systèmes Alimentaires Durables (2020)

Ce plan, soutenu par l'ONU, vise à transformer les systèmes alimentaires algériens en s'appuyant sur :

- **Revitalisation des oasis** : Réhabilitation des palmeraies et gestion communautaire de l'eau.
- **Lutte contre la salinisation** : Introduction de cultures halophytes (orges, sorgho) dans les zones sahariennes.
- **Mobilisation des eaux non conventionnelles** : Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (UNFoodSystemsHub.org).

Défis :

- **Coûts élevés** : Les technologies de dessalement et de traitement des eaux restent inaccessibles aux petits agriculteurs.

4. Stratégie de développement rural (2020-2024)

Portée par le gouvernement algérien, cette stratégie repose sur :

- **Densification des zones rurales** : Création de pôles agro-industriels pour limiter l'exode vers les villes.
- **Appui aux coopératives agricoles** : Subventions pour l'achat de semences et d'équipements modernes.
- **Digitalisation de l'agriculture** : Plateformes en ligne pour la commercialisation des produits (GTAL.de).

Critiques :

- **Centralisation persistante** : Les décisions restent concentrées à Alger, limitant l'autonomie locale.

5. Politiques de gestion du foncier irrigué

Face à la raréfaction des ressources en eau, l'Algérie a adopté des mesures pour optimiser l'usage des terres irriguées :

- **Contingentement des forages** : Permis obligatoires pour les puits dépassant 50 m de profondeur.
- **Tarification progressive de l'eau** : Incitation à l'utilisation efficiente via des compteurs intelligents.
- **Promotion du goutte-à-goutte** : Subventions couvrant 60 % des coûts d'installation (Foncier-Developpement.fr).

Problématiques :

- **Détournement des subventions** : Fraudes liées à la surfacturation des équipements.

6. Agriculture périurbaine et pression foncière

Les espaces agricoles périurbains, soumis à une forte pression immobilière, font l'objet de politiques spécifiques :

- **Zones Agricoles Protégées (ZAP)** : Classement de 12 000 hectares autour d'Alger et d'Oran.
- **Agriparc urbains** : Projets intégrant maraîchage et circuits courts dans les périphéries urbaines (HAL.INRAE.FR).

Enjeux :

- **Spéculation foncière** : Alliances entre promoteurs immobiliers et propriétaires terriens pour contourner les ZAP (Journals.OpenEdition.org).

7. Transition vers une gouvernance décentralisée

Depuis les années 2000, l'Algérie tente de passer d'un modèle centralisé à une gouvernance participative :

- **Comités locaux de gestion foncière** : Implication des élus, agriculteurs et ONG dans l'attribution des terres.
- **Contrats de mise en valeur** : Obligation pour les concessionnaires de terres publiques de respecter des cahiers des charges environnementaux (AJOL.info).

Obstacles :

- **Résistance bureaucratique** : Réticence des administrations à partager le pouvoir décisionnel.

8. Innovations institutionnelles et techniques

Pour répondre aux défis climatiques, l'Algérie explore des solutions innovantes :

- **Banques de semences résilientes** : Conservation de variétés traditionnelles adaptées à la sécheresse.
- **Agriculture contractuelle** : Partenariats entre agro-industries et petits producteurs pour sécuriser les débouchés.
- **SIG (Systèmes d'Information Géographique)** : Cartographie dynamique des terres dégradées ([Notes de synthèse, Foncier-Developpement.fr](http://Notes%20de%20synth%C3%A8se,%20Foncier-Developpement.fr)).

9. Défis structurels persistants

Malgré ces politiques, plusieurs défis entravent la durabilité du foncier agricole :

- **Désertification** : 200 000 hectares perdus annuellement sous l'effet de l'érosion éolienne.
- **Salinisation** : 30 % des terres irriguées du Sahara affectées par la remontée des sels.

- **Démographie rurale vieillissante** : 60 % des agriculteurs ont plus de 50 ans, limitant l'adoption de nouvelles technologies.

10. Recommandations pour une gestion durable

Pour renforcer l'efficacité des politiques, les experts préconisent :

1. **Décentralisation effective** : Transfert des compétences foncières aux wilayas et communes.
2. **Contrôle renforcé** : Création d'une police rurale pour lutter contre l'urbanisation illégale.
3. **Incitations fiscales** : Réduction de la TVA sur les intrants biologiques et les équipements économes en eau.
4. **Éducation et formation** : Intégration de modules d'agroécologie dans les cursus agricoles.

1.5 La Wilaya de Tlemcen : une dynamique territoriale accentuée

Cette section analyse la wilaya de Tlemcen, située au nord-ouest de l'Algérie, en mettant en lumière sa position stratégique, son évolution démographique, ses atouts économiques et les défis liés à l'étalement urbain. L'objectif est de comprendre les spécificités territoriales, les pressions sur le foncier agricole et les contraintes freinant son développement équilibré.

1.5.1 Tlemcen : une position stratégique

1. Localisation géographique et administrative

- **Position frontalière** :
 - Frontière de **200 km avec le Maroc**, faisant de Tlemcen un carrefour historique et économique entre l'Algérie et le Maghreb.
 - Proximité des villes marocaines (Oujda, Nador), renforçant son rôle de pont transfrontalier (Monographie de la wilaya, INTERIEUR.GOV.DZ).
- **Découpage administratif** :
 - Composée de **20 communes**, dont Tlemcen (chef-lieu), Maghnia, et Beni Snous.

- Intégrée à la région Ouest algérien, avec une superficie de **9 061 km²**.

2. Atouts géoéconomiques

- **Réseaux de transport :**
 - **Aéroport international Zenata** : Dessert des destinations européennes (Paris, Marseille) et africaines.
 - **Autoroute Est-Ouest** : Relie Tlemcen à Alger (600 km) et Oran (150 km), facilitant le commerce.
- **Patrimoine culturel :**
 - Sites classés UNESCO : **Mosquée de Sidi Boumediene, Mansourah**, attirant 500 000 visiteurs annuels.

3. Enjeux stratégiques

- **Fermeture de la frontière marocaine :**
 - Coût économique estimé à **150 millions USD/an** en pertes commerciales potentielles ([ASJP.CERIST.DZ](#)).
- **Potentiel inexploité :**
 - Projets de **zone franche transfrontalière** gelés depuis 1994.

1.5.2 Une évolution démographique galopante

1. Données démographiques clés

- **Population :**
 - **1,4 million d'habitants en 2023** (contre 950 000 en 2008), soit une croissance annuelle de **2,4 %** (moyenne nationale : 1,8 %).
 - **Densité** : 155 habitants/km², avec des pics à **1 200 habitants/km²** à Tlemcen-ville ([ONS.DZ](#)).
- **Répartition urbaine/rurale :**
 - **Taux d'urbanisation** : 65 % (contre 55 % en 2000).
 - **Exode rural** : 40 000 migrants/an des zones montagneuses vers Tlemcen

Tableau 1-1 Évolution de la population de Tlemcen (2008-2023)

Année	Population	Taux de croissance annuel
2008	950 000	-
2018	1 200 000	2,3 %
2023	1 400 000	2,4 %
<i>Source : ONS, 2023</i>		

2. Facteurs de croissance

- **Dynamique naturelle** : Taux de fécondité de **3,2 enfants/femme**.
- **Retour des diasporas** : 15 000 rapatriés d'Europe entre 2015 et 2023.

3. Impacts socio-économiques

- **Pression sur le logement** :
 - **Déficit de 30 000 logements**, entraînant l'expansion de bidonvilles (12 % de l'habitat urbain).
- **Saturation des services** :
 - **Santé** : 1,2 lit/1 000 habitants (moyenne nationale : 1,8).
 - **Éducation** : Classes de 45 élèves en primaire.

1.5.3 Atouts économiques et contraintes**1. Secteurs clés**

- **Agriculture** :
 - **Vallée de la Tafna** : 30 % de la production nationale de raisins de table.
 - **Oliviers et céréales** : 50 000 hectares cultivés, soutenus par des périmètres irrigués.
- **Tourisme** :
 - **Sites historiques et religieux** : Génèrent 120 millions USD/an de revenus.
- **Énergies renouvelables** :
 - **Parc solaire de Sebdou** : Projet de 50 MW intégré au plan national 2030.

2. Infrastructures structurantes

- **Zone industrielle de Maghnia** :

- 200 entreprises, dont 30 % dans l'agroalimentaire.
- **Réseau routier :**
 - 1 200 km de routes nationales, dont l'axe Tlemcen-Oran.

3. Défis majeurs

- **Étalement urbain :**
 - **Perte de 5 000 hectares de terres agricoles** entre 2000 et 2023 au profit de l'urbanisation ([PERSEE.FR](https://persee.fr/)).
- **Gestion de l'eau :**
 - Surexploitation des nappes phréatiques (taux de recharge à -15 %).
- **Chômage des jeunes :**
 - Taux de **28 %** (contre 22 % au niveau national).

1.5.4 Projections et recommandations

1. Projections démographiques (2025-2030)

- **Population :**
 - **1,6 million d'habitants en 2030**, avec un taux d'urbanisation de 70 %.
- **Enjeux futurs :**
 - **Besoin de 50 000 logements supplémentaires** d'ici 2030.

2. Recommandations stratégiques

- **Contrôle de l'étalement urbain :**
 - Renforcement des **Plans Directeurs d'Aménagement Urbain (PDAU)** pour protéger les terres agricoles.
- **Développement rural intégré :**
 - Création de pôles agro-industriels dans les zones montagneuses (Beni Snous, Aïn Fezza).
- **Gestion durable de l'eau :**
 - Promotion de l'irrigation goutte-à-goutte (subventions à 60 %).

1.6 Conclusion

L'étude menée sur le foncier agricole et l'urbanisation en Algérie, illustrée par le cas de la wilaya de Tlemcen, révèle des enjeux complexes à l'intersection de l'économie, de l'environnement et de la gouvernance. Le foncier agricole, pilier stratégique de la sécurité alimentaire et de l'emploi rural, subit une pression croissante sous l'effet conjugué de l'urbanisation galopante, de la dégradation environnementale et des lacunes institutionnelles. Les dynamiques observées à Tlemcen, où 5 000 hectares de terres agricoles ont disparu en deux décennies, symbolisent les défis nationaux : artificialisation des sols, développement urbain incontrôlable, conflits d'usage entre logements et terres arables.

Les cadres juridiques et les instruments de planification (SNAT, SRAT, PDAU) témoignent d'une volonté étatique de structurer le territoire. Cependant, leur efficacité est limitée par une centralisation excessive, une coordination interinstitutionnelle défailante et un manque de moyens techniques et financiers. La loi 08-16 de 2008, bien qu'ambitieuse, peine à contenir l'étalement urbain, tandis que les stratégies sectorielles (biodiversité, systèmes alimentaires durables) restent fragmentées.

La wilaya de Tlemcen incarne ces paradoxes. Dotée d'atouts agricoles (vallée de la Tafna), et économiques (zone industrielle de Maghnia), elle souffre d'une croissance urbaine désorganisée, d'une saturation des services publics et d'une gestion inefficace des ressources hydriques. Les projections démographiques (1,6 million d'habitants d'ici 2030) appellent à une refonte urgente des politiques d'aménagement.

Pour répondre à ces défis, plusieurs pistes se dégagent :

1. **Gouvernance intégrée** : Décentralisation des décisions, renforcement des comités locaux et harmonisation des outils de planification (SIG, drones).
2. **Protection active des terres** : Extension des Zones Agricoles Protégées (ZAP), densification urbaine et sanctions contre les conversions illégales.
3. **Innovation agricole** : Promotion de l'agroécologie, irrigation goutte-à-goutte subventionnée et banques de semences résilientes.
4. **Participation citoyenne** : Implication des communautés dans les PDAU et plateformes numériques de suivi foncier.

5. Résilience climatique : Plans de lutte contre la salinisation et intégration des risques environnementaux dans les POS.

En définitive, la préservation du foncier agricole en Algérie exige une approche holistique, mêlant rigueur juridique, technologies spatiales et inclusion sociale. L'exemple de Tlemcen montre que sans une réforme profonde de la gouvernance territoriale et un engagement collectif en faveur de la durabilité, l'équilibre entre développement urbain et sécurité alimentaire restera précaire. Les solutions proposées, ancrées dans les réalités locales et les avancées globales, pourraient servir de modèle pour d'autres régions confrontées à des défis similaires, où la terre nourricière doit redevenir un bien commun protégé.

CHAPITRE II

Outils de modélisation spatiale pour la gestion
intégrée des terrains agricoles

2.1. Introduction

Dans un contexte mondial marqué par des enjeux croissants liés à la sécurité alimentaire, la gestion Durable des ressources naturelles et l'adaptation aux changements climatiques, la cartographie agricole revêt une importance stratégique. Elle permet non seulement de mieux comprendre la répartition des cultures, l'état des sols et les dynamiques environnementales, mais aussi d'orienter les politiques publiques et les pratiques agricoles vers une meilleure résilience. Pour répondre à ces défis, les technologies de télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) se positionnent comme des outils incontournables.

La télédétection, depuis ses origines avec les premières photographies aériennes au XIXe siècle jusqu'aux satellites haute résolution d'aujourd'hui, a révolutionné notre capacité à observer et analyser la surface terrestre. Couplée aux SIG, qui intègrent, traitent et visualisent des données spatialisées, elle offre une approche intégrée pour cartographier les paysages agricoles, surveiller les cultures et optimiser l'utilisation des ressources. Ce travail explore comment ces technologies, combinant imagerie satellitaire, capteurs multispectraux et modèles analytiques, transforment notre compréhension des écosystèmes agricoles.

À travers une revue des concepts clés (résolutions spatiale, spectrale et temporelle, modes vecteur et raster, etc.) et des applications pratiques (suivi des cultures, gestion de l'eau, détection des changements), ce document met en lumière les avancées technologiques et méthodologiques qui façonnent l'agriculture de précision. Il souligne également les défis persistants, tels que l'accessibilité des données ou la complexité des analyses, tout en illustrant le potentiel de ces outils pour une gestion plus durable et éclairée des territoires agricoles.

2.2. Cartographie agricole à partir de l'observation de la terre

2.2.1. Télédétection comme un outil de l'observation de la terre

La première utilisation de la télédétection a été au XIXe siècle avec des photographies aériennes prises depuis des ballons en 1858 par Nadar. Au début du XXe siècle durant la guerre mondiale la photographie aérienne est devenue un outil fort pour la cartographie. Après la deuxième guerre mondiale le lancement des capteurs et multispectraux a amélioré l'analyse des paysages. 4 octobre 1957 le lancement du premier satellite de l'histoire suivi par les premières images satellitaires de la terre avec TIROS en 1960 et LANDSAT en 1972

marquant un tournant dans l'observation de l'environnement^{29 30}. Depuis, la télédétection a connu des avancées majeurs grâce aux nouveaux satellites de haute résolution et aux capteurs hyperspectraux, ce qu'il a rendu très utilisée en géomatique, en climatologie et surtout dans la gestion des ressources naturelles^{31 32}.

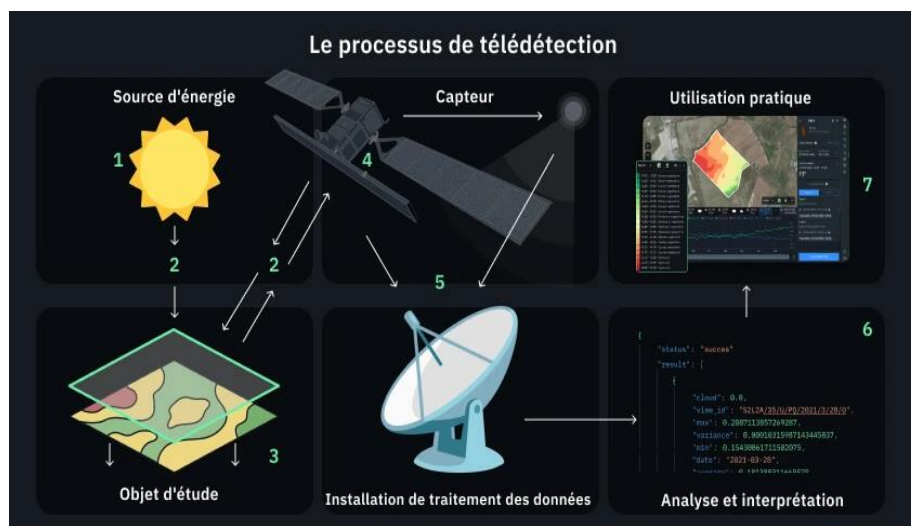
La télédétection est un ensemble de techniques permettant d'obtenir de l'information sur la surface terrestre sans contact direct par l'acquisition des images satellitaires³³, elle englobe tout le processus qui consiste à :

- Enregistrer et capter l'énergie du rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi.
- Traiter et analyser les données qu'il représente.
- Mettre en application de ces informations.

D'une manière simple la télédétection est une technique permet d'observer notre planète depuis l'espace en utilisant des capteurs pour obtenir des données sur la terre³⁴ (végétation, sol, ressources en eau, urbanisation, pollution atmosphérique, changements climatiques ...)

Le processus de la télédétection pour l'acquisition des données et son interprétation comporte les septes étapes suivante^{35 36}.

Figure 2-1 : Processus de la Télédétection (Centre National D'Etude Spatiales CNES)



²⁹ CNES, 2023

³⁰ ESA.int, 2022

³¹ NASA Earthdata, 2023

³² FAO, 2022

³³ JRC-Commission européenne, 2021

³⁴ GEO, 2020

³⁵ Chuvieco, 2016

³⁶ NASA Earth Observatory, 2022

1. **Source d'énergie ou d'illumination** : Une source d'énergie est essentielle pour illuminer la cible et elle est nécessaire dans le processus de télédétection.
2. **Rayonnement et atmosphère** : Le rayonnement interagit avec l'atmosphère durant son parcours entre la cible et la source d'énergie. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
3. **Interaction avec la cible** : Une fois le rayonnement atteint la cible, il interagit avec la surface de la cible. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
4. **Enregistrement de l'énergie par le capteur** : Une fois la cible diffuse ou émet l'énergie, elle doit être captée par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible pour être enfin enregistrée.
5. **Transmission, réception et traitement** : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en image numérique.
6. **Interprétation et analyse** : L'image traitée est ensuite interprétée numériquement et visuellement pour pouvoir ensuite extraire l'information qu'on veut obtenir sur la cible.
7. **Application** : L'utilisation de l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible afin de découvrir de nouveaux aspects et aider à résoudre un problème particulier.

2.2.2. Télédétection passive et télédétection active

Le principe fondamental de la télédétection peut être résumé comme une source d'énergie illumine une cible avec un rayonnement électromagnétique. L'atmosphère influe sur le rayonnement électromagnétique ce que signifie que ce dernier ne parvient pas intégralement à la cible³⁷. Cette cible interagit avec ce rayonnement en le réfléchissant, en le transmettant ou en l'absorbant ou l'émettant tout dépend de la longueur d'onde impliquée et la structure chimique et physique de la cible³⁸.

Une fois la cible interagit avec le rayonnement vient le rôle du capteur qui est un instrument conçu pour acquérir des données sur une cible à distance et sans un contact direct. Il enregistre le rayonnement émis, réfléchi ou diffusé par la cible en le transformant en

³⁷ Sabins, 1996

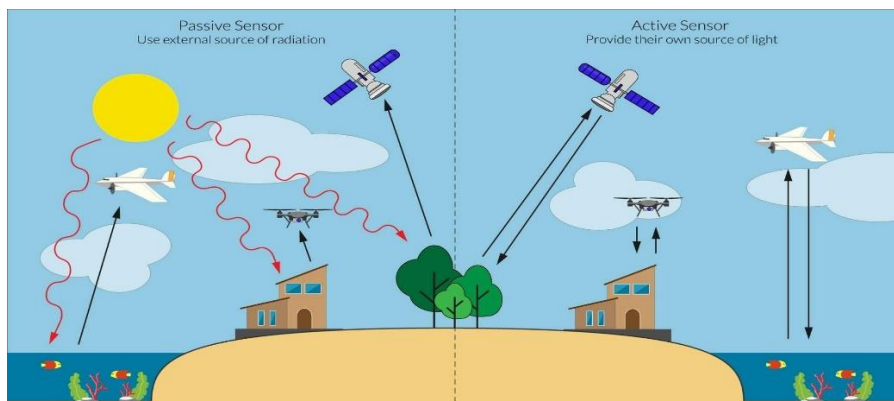
³⁸ ESA.int, 2022

données numériques exploitables. Ces capteurs peuvent être embarquer dans des satellites, des drones, ou des avions même en station terrestre (spectromètre) sans oublier qu'ils fonctionnent dans des bandes spectrales différentes³⁹ (visible, infrarouge, micro-ondes, ...etc.).

Pour l'application de la télédétection terrestre le spectre électromagnétique réfléchi par la cible est important car il est traduit en réflectance par le capteur, cette réflectance représente la quantité de lumière réfléchi par la cible a déférente longueur d'onde. La télédétection utilise la réponse spectrale enregistrée au capteur pour la comparer avec les signatures spectrales caractéristiques des objets afin de les identifier. Cette analyse des signatures spectrales permet de reconnaître les différents types de matériaux, d'objets ou de caractéristiques géographiques⁴⁰.

Il y a deux types de capteur, un capteur passif qui nécessite une source d'énergie (soleil) pour capter le rayonnement donc ce capteur peut seulement percevoir l'énergie réfléchi lorsque le soleil illumine la terre. Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchi le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (l'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit. Le capteur actif a sa propre source d'illumination il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Ce capteur a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison⁴¹.

Figure 2-2 : La différence entre la télédétection active et la télédétection passive (ITC-Unesco 2021)



³⁹ ITC-Unesco, 2021

⁴⁰ Lillesand et al., 2015

⁴¹ USGS, 2022

2.2.3. L'imagerie satellitaire

L'imagerie satellitaire représente les images acquises d'une surface du globe terrestre par un satellite équipé de capteurs. Ces images peuvent être utilisées dans plusieurs domaines tels que la cartographie du territoire, la détection des catastrophes naturelles, le suivi du changement de l'occupation du sol...etc^{42 43}.

2.2.4. Types d'images satellitaires

Il existe plusieurs types d'imagerie satellite, chacun ayant ses propres caractéristiques et domaines d'application. L'imagerie optique capte la lumière visible et infrarouge et fonctionne comme un appareil photo numérique, ce qui en fait un outil adapté à l'observation des surfaces en conditions de ciel dégagé⁴⁴. L'imagerie radar, quant à elle, utilise les ondes micro-ondes, ce qui lui permet de fonctionner en fonction de la luminosité ou de la couverture nuageuse. Enfin, l'imagerie thermique capte les émissions infrarouges thermiques de la surface terrestre, utile notamment pour détecter la température des sols ou des bâtiments⁴⁵.

Tableau 2-1 : Types d'images satellitaires avec description

Type d'image	Description
Optique	Capte la lumière visible et infrarouge. Fonctionne comme un appareil photo.
Radar	Utilise les ondes radar, fonctionne même de nuit ou à travers les nuages.
Thermique	Capte la chaleur émise par les objets à la surface.

2.2.4.1. Résolutions des images

Plusieurs types de résolutions caractérisent les images satellitaires, parmi ces types⁴⁶ :

- **Résolution spatiale** : elle est déterminée par la taille du pixel (ex. : 10 m, 15 m, 30 m...)

⁴² IBID, 29

⁴³ USGS, 2021

⁴⁴ IBID,29

⁴⁵ IBID,38

⁴⁶ Lillesand et al., 2015

- **Résolution spectrale** : elle est liée au nombre de bandes spectrales (rouge, infrarouge, infrarouge thermique, etc.).
- **Résolution temporelle** : elle dépend de la fréquence de revisite du satellite (ex. tous les 5 jours).
- **Résolution radiométrique** : elle repose sur la capacité de détecter les différences de radiance (niveaux de gris).

2.2.4.2. Traitement des images

- **Correction radiométrique** : elle est appliquée à l'image afin de réaffecter une valeur radiométrique proche à celle observée sur le terrain à chaque pixel. Son but est de corriger les erreurs dues aux anomalies du capteur, aux bruits dus à ce dernier ou aux effets atmosphériques. Cette correction est essentielle pour s'assurer que la valeur radiométrique reflète le rayonnement réfléchi ou émis avec précision, comme le capteur l'a capturé.
- **Correction atmosphérique** : Le signal lumineux mesuré par les capteurs d'un satellite traverse deux fois l'atmosphère terrestre, la première fois lors du trajet soleil - cible et la seconde lors du trajet cible - capteurs. A chacun de ces deux traversées, le rayonnement électromagnétique va subir des transformations dues aux propriétés physico-chimiques des deux composants majeurs de l'atmosphère terrestre qui sont les gaz (oxygène, ozone, vapeur d'eau...) et les aérosols (poussières, pollens...) (UNIGE 2001)⁴⁷.

2.3. Généralités sur les Systèmes d'Information Géographiques (SIG)

2.3.1. Définition des SIG

L'idée des systèmes d'information géographique a commencé lors des premières tentatives de la représentation spatiale pour la réalisation des cartes utilisées pour l'exploration et la planification stratégique. En 1854 Dr John Snow a cartographié les cas de Choléra à Londres où il a identifié la source de l'épidémie et il a illustré l'efficacité de l'analyse spatiale. Dans les années 1960 Roger Tomlinson (le père des SIG) a développé le premier SIG, ce système permet de stocker, analyser et manipuler des données géographiques pour l'inventaire des terres canadiennes. Depuis les SIG sont devenus des

⁴⁷ UNIGE, 2001

outils essentiels dans plusieurs domaines, de la gestion des ressources naturelles à l'urbanisme ou ils ont évolué en intégrant des nouvelles technologies^{48 49}.

Un système est défini comme quelque chose (n'importe quoi identifiable) qui fait quelque chose (activité, fonction) et qui est doté d'une structure qui évolue dans le temps, dans quelque chose (environnement) pour quelque chose (finalité). **J. L. LE MOIGNE, 1977⁵⁰**.

Selon l'association pour l'information géographique (*Association for geographic information du Royaume Uni, 1991*), l'information géographique se correspond à un emplacement sur le Globe terrestre, lieu qui peut être déterminé à travers un point, une surface ou un volume⁵¹. L'information géographique se concentre spécifiquement sur les phénomènes naturels, culturels ou les ressources économiques.

Un SIG est un système informatique qui regroupe un ensemble d'outils, programmes et techniques, élaboré pour faciliter la collecte, la gestion, le traitement et la représentation des données spatiales dans le but de résoudre des problèmes liés à l'aménagement, la gestion...etc.

Plusieurs définitions ont été données pour les SIG à savoir :

- Selon FICCDC (*Federal Interagency Coordinating Committee for Digital Cartograph*), les SIG peuvent être définis comme étant un système constitué de matériels informatiques, logiciels, personnel qualifié et un ensemble de procédures et permettant la saisie, la gestion, le stockage, la manipulation ou analyse, la modélisation, l'affichage et l'édition de données géo-référencées pour résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion⁵².
- Selon ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) c'est un ensemble organisé de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques et de personnel visant à saisir, stocker, maintenir, manipuler, analyser

⁴⁸ Tomlinson, 2007

⁴⁹ Longley et al., 2011

⁵⁰ Le Moigne, 1977

⁵¹ AGI, 1991

⁵² FICCDC, 1994

et afficher de façon efficace toutes les formes d'informations géographiques à référence spatiale⁵³.

- Selon la SFPT (Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection) les SIG comme étant des outils permettent, à partir de diverses sources de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées contribuant à la gestion de l'espace et même des ressources⁵⁴.
- Selon CNIG (Conseil National de l'Information Géolocalisée) c'est un ensemble de données géographiques, structuré de manière à pouvoir extraire des informations ou synthèses d'informations utiles pour la prise de décision⁵⁵.

Figure 2-3 : Les SIG en général (Freepik)



2.3.2. Les principales composantes d'un SIG

Le but des SIG est l'aide des utilisateurs à la prise de décisions en présentant les données dans un contexte spatiale. Il le décompose cinq principaux composants sont :

- **Matériel** : le matériel SIG est les appareils physiques utilisés pour l'exécution des logiciels et le stockage des données spatiales. Sans matériel adéquat il est impossible de faire des analyses spatiales complexes et de faire des restitutions à grand ensemble de données⁵⁶.
- **Logiciel** : l'ensemble des programmes utilisés pour le stockage, la gestion, l'analyse et la visualisation des données géospaciales, comme ARCGIS, QGIS et ARCMAP

⁵³ ESRI, 2020

⁵⁴ SFPT, 2015

⁵⁵ CNIG, 2022

⁵⁶ ESRI, 2020

...etc. son but est de fournir les outils et les fonctions qui transforment les données en informations⁵⁷.

- **Données** : les données représentent le cœur des SIG, elles peuvent être représentées comme vecteur (point, ligne ou polygone) ou comme raster (images satellitaires). Sans les données les SIG ne servent à rien car elles sont ce qu'on essaye d'analyser et de comprendre pour prendre une décision⁵⁸.
- **Personnes** : les géomètres, les topographes, les analystes, les cartographes ...etc. sans les professionnels qualifiés les SIG seront inutile⁵⁹.

Méthodes : l'ensemble des techniques utilisés pour la collecte, l'analyse et la présentation des données. L'emploi de techniques appropriées et normalisées assure que les résultats SIG demeurent constants, sûres et uniformes. C'est la distinction entre formuler une hypothèse éclairée et établir une conclusion basée sur des preuves scientifiques⁶⁰.

Figure 2-4 : Composantes d'un SIG (Longley et al 2011)



⁵⁷ Longley et al., 2011

⁵⁸ Goodchild, 2007

⁵⁹ IBID, 56

⁶⁰ IBID, 57, 58

2.3.3. Les données SIG

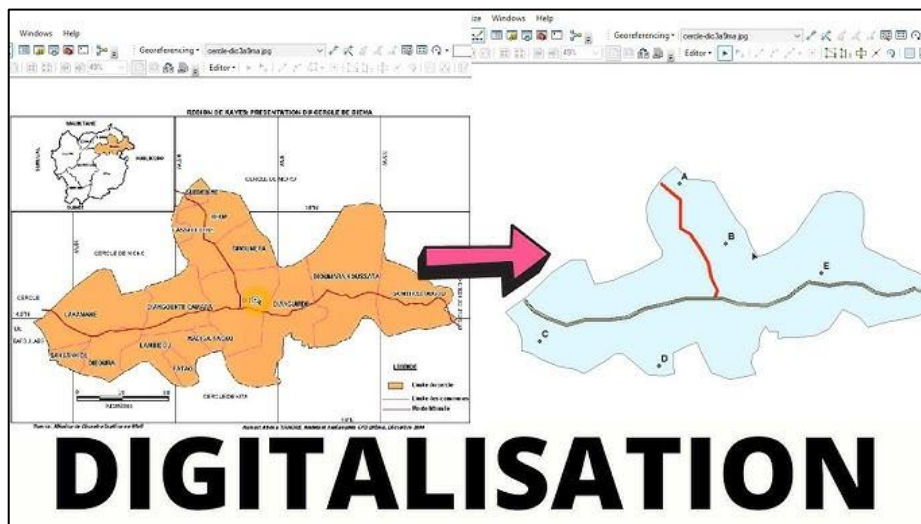
2.3.3.1. Modes d'acquisition de données

Dans la pratique il existe beaucoup de sources de données qui ont de différents modes d'acquisition aidant à obtenir des données géographiques. Certaines d'elles peuvent être mesurées directement sur terrain (levé topographique) ou captées à distance comme le GPS (Global Positioning system), les photographies aériennes et même les images satellitaires ; les cartes précédentes ; les plans existants ou contacter les organismes spécialisés pour les obtenir. L'intégration de ces données diverses qui se diffère par leur qualité, fiabilité et la précision restera nécessaire^{61 62}.

a. Numérisation

La numérisation connue avec le nom vectorisation ou digitalisation permet de récupérer la forme exacte de l'objet mentionné sur la carte ou le plan. Elle consiste à utiliser un curseur qui peut se déplacer sur le plan posé sur la table à vectorisation et calé en coordonnées. Cette table capte les signaux électriques émis par le curseur et elle est capable de repérer ces signaux sur la surface de la table avec une exactitude pouvant atteindre le dixième de millimètre⁶³.

Figure 2-5 : Exemple d'acquisition de données par numérisation (digitalisation) (IGN 2020)



⁶¹ IGN.fr, 2020

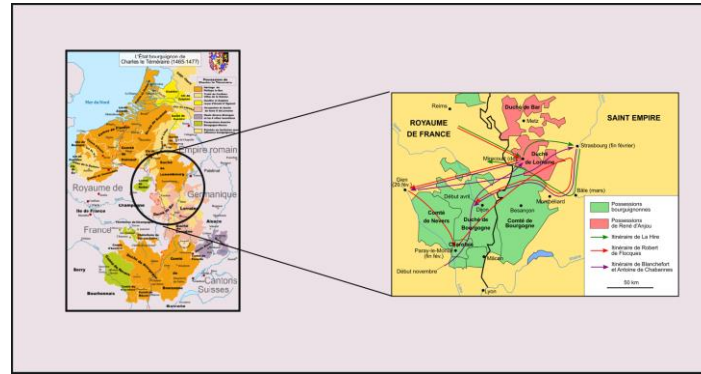
⁶² Geopole.org, 2021

⁶³ Esrifrance.fr, 2022)

b. Scannérisation

La scannérisation ou nommée avec le balayage électronique est une technique permettant de passer d'une carte ou d'un plan en format numérique tout en utilisant un scanner. Elle est plus rapide que la vectorisation manuelle⁶⁴.

Figure 2-6 : Exemple d'acquisition de données par scannérisation (Geopole 2021)



c. Photogrammétrie

C'est une technique généralement utilisée pour la cartographie à moyenne échelle offrant une vision détaillée et prise des territoires. Elle joue un rôle crucial dans les régions où il y'a une couverture insuffisante car elle permet de combler les lacunes en données géospatiales. Vue à son cout et son efficacité elle est aussi utilisée dans des domaines différents comme l'urbanisme, l'aménagement du territoire et la gestion foncière. Les photographies aériennes permettant aussi de réaliser des cartes précises qui sont essentiels dans la planification et la prise de décision⁶⁵.

Figure 2-7 : Exemple d'acquisition de données par photogrammétrie (images aériennes)

⁶⁴ Geopole.org, 2021

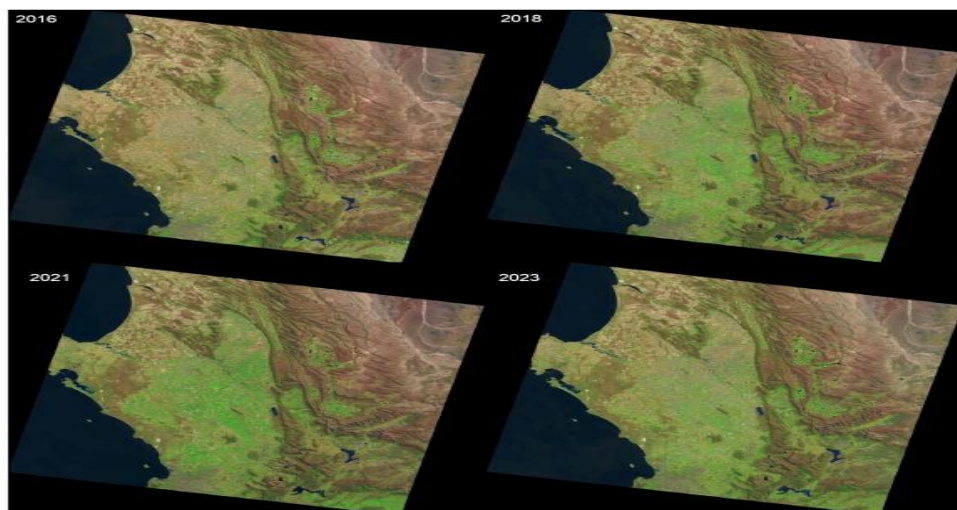
⁶⁵ Copernicus.eu, 2023



d. Télédétection

Elle s'agit des images satellitaires utilisées pour créer les données à introduire dans le SIG.

Figure 2-8 : Exemple d'acquisition de données par images satellitaires



2.3.3.2. Types de données dans un SIG

Pour bien décrire un objet spatial et soit prêt à être utilisé par un SIG il faut fournir trois informations qui sont⁶⁶ :

- La position géographique de l'objet dans l'espace
- La relation spatiale de l'objet avec les autres objets
- Identifier l'objet avec un code (l'attribution)

⁶⁶ ESRI (2023)

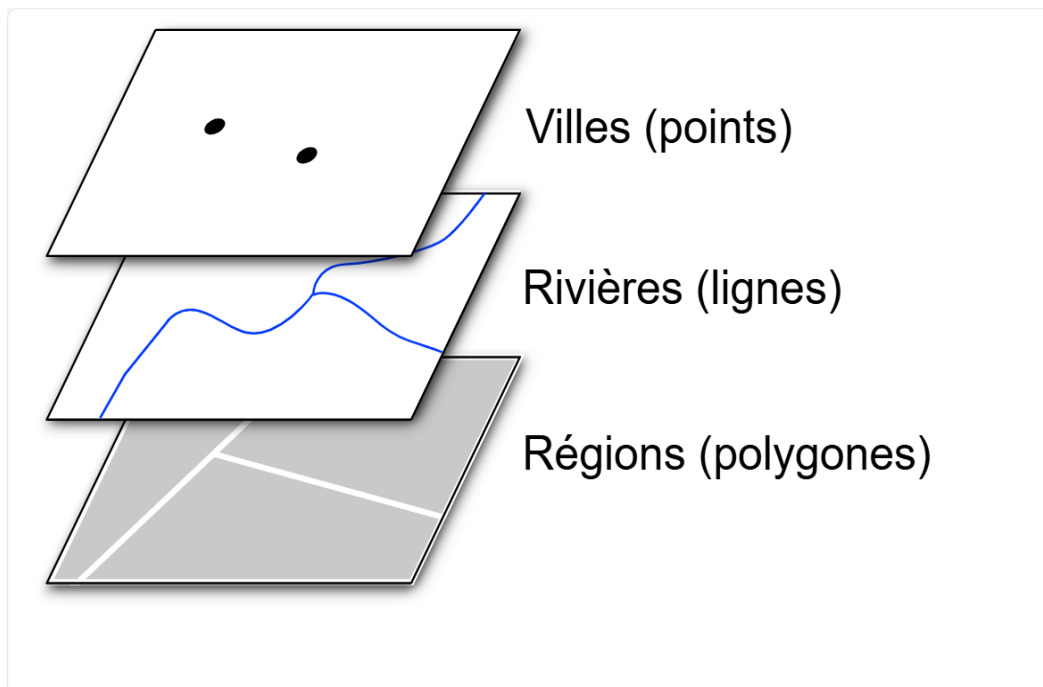
2.3.3.2.1. Données spatiales

Son but est de déterminer les données géométriques d'un objet géographique ; ces données sont la localisation, la forme (points ; lignes ; polygone) et la taille (superficie, périmètre, longueur)⁶⁷.

Les informations font référence à des objets de trois types :

- Point : il est défini par ses coordonnées et il représente la plus petite dimension spatiale.
- Ligne : elle a une dimension spatiale formée d'un ensemble de points successifs proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

Figure 2-9 : Les données spatiales (ESRI 2020)



2.3.3.2.2. Données associées

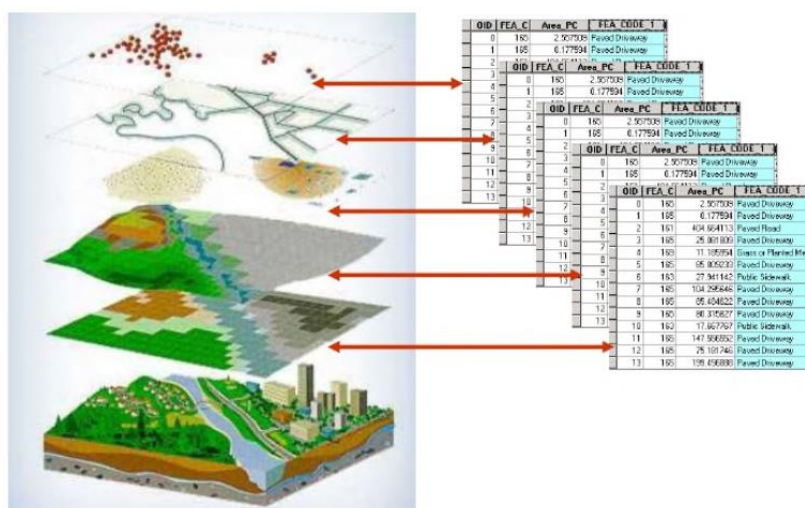
Les données associées d'un élément spatial participent dans le complètement de son illustration géométrique. Un code d'identification, pouvant être numérique ou littéral, est

⁶⁷ Esrifrance.fr, 2022

attribué à chaque élément de l'espace. Ce code constitue une étiquette identifiant le point, la ligne ou le polygone. Il faut identifier distinctement parmi ces données⁶⁸ :

- **Données de classification** : Ces données facilitent la classification des points isolés, les lignes quelques soient ouvertes ou fermées dans une catégorie spécifique : les limites administratives, les contours de parcelles, les bordures de trottoirs ... etc. L'organisation de la saisie suit une approche par étapes, en distinguant plusieurs couches d'informations successives.
- **Données d'identification** : Ces données aident à déterminer chaque élément présent sur plan : nom spécifique de l'objet tel que le nom de la wilaya ou le numéro de l'identification.

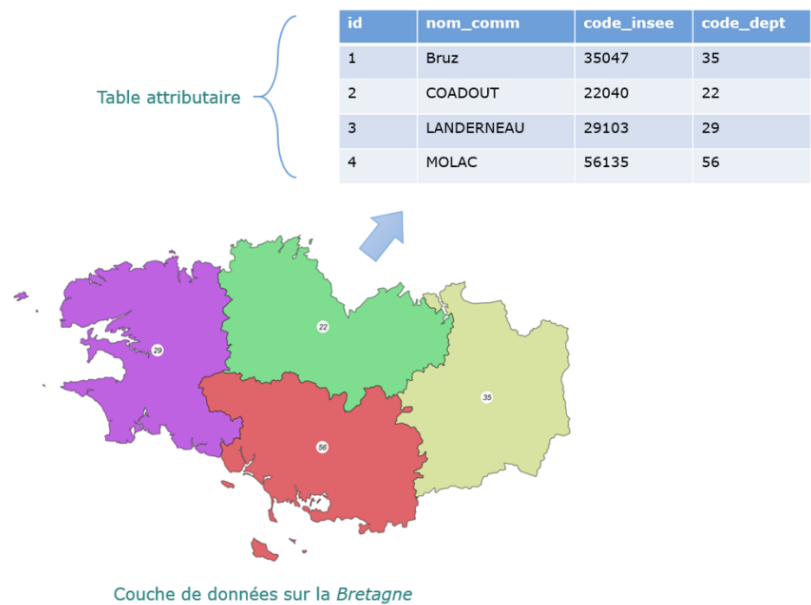
Figure 2-10 : Données d'identification (ESRI 2020)



- **Données attributaires** : Ces données ajoutent des informations spécifiques à chaque objet identifié, telles que le propriétaire d'une parcelle ou le diamètre d'une conduite d'eau. Elles sont souvent déjà enregistrées sous forme de fichiers informatiques, associées à l'identifiant de chaque objet. Généralement, la classification des objets est définie, au moins en partie, lors du processus de digitalisation, tandis que les identifiants sont souvent attribués en bloc à la fin.

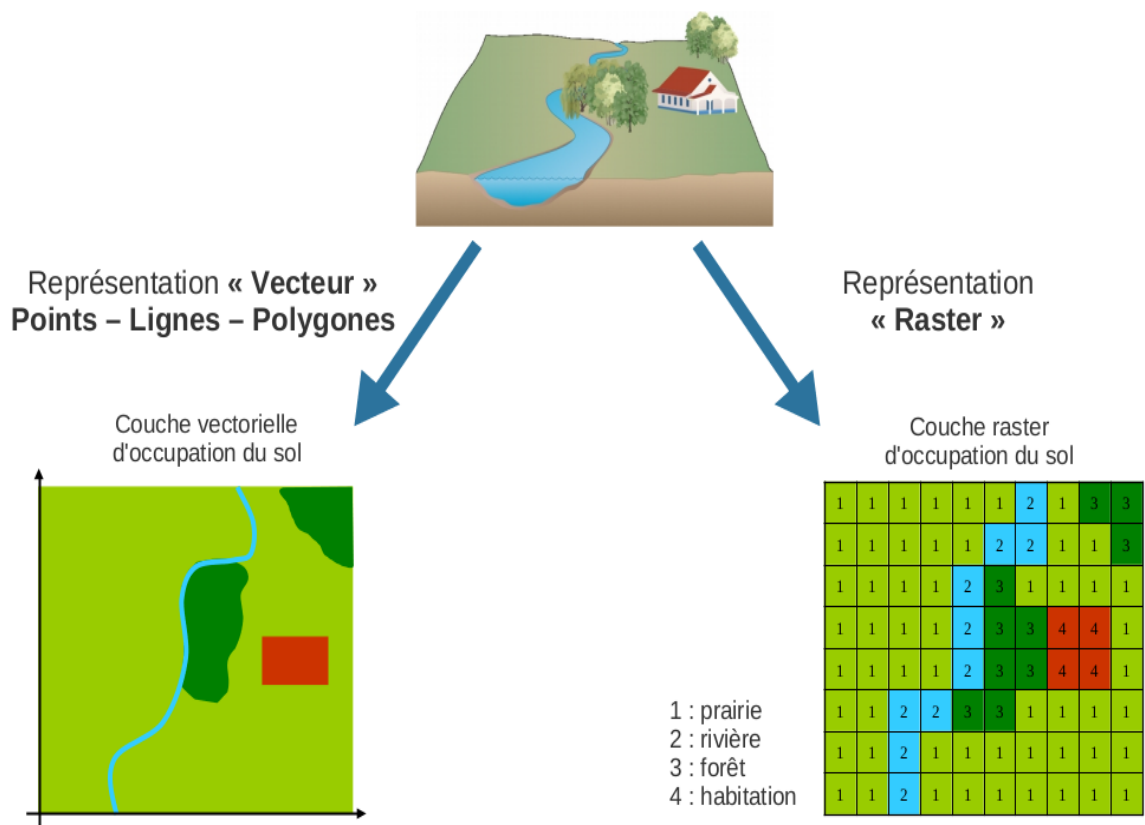
Figure 2-11 : Données attributaire (IGN 2020)

⁶⁸ Cnig.gouv.fr, 2021



2.3.3.3. Modes de données dans les SIG

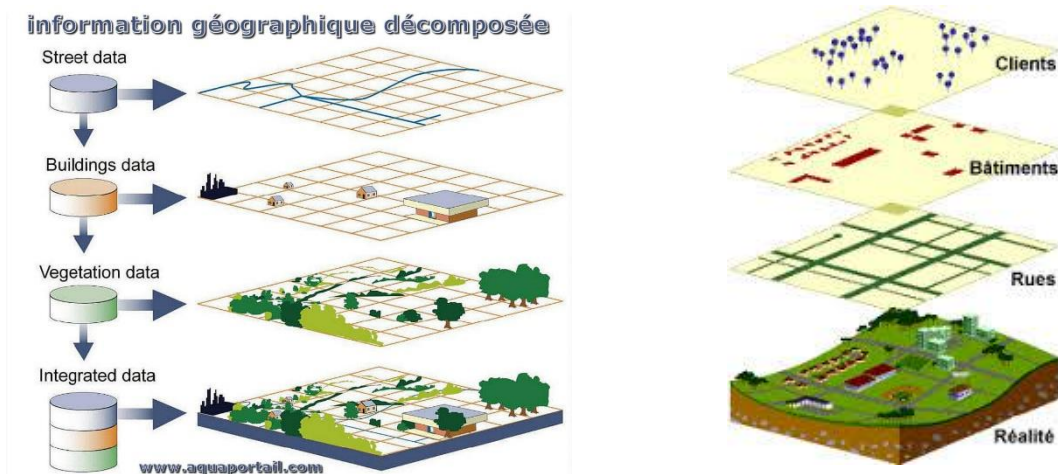
Figure 2-12 : Les modes de données dans un SIG (IGN 2020)



2.3.3.3.1. Mode vecteur :

Ce mode est basé sur la division du territoire en couches thématiques comme les routes, les bâtiments, le relief ...etc. chacune étant structurée dans une base de données numérique (figure 2-13) afin d'atteindre la plus haute précision de la représentation de l'objet réel⁶⁹.

Figure 2-13 : Mode vecteur (Surepath)

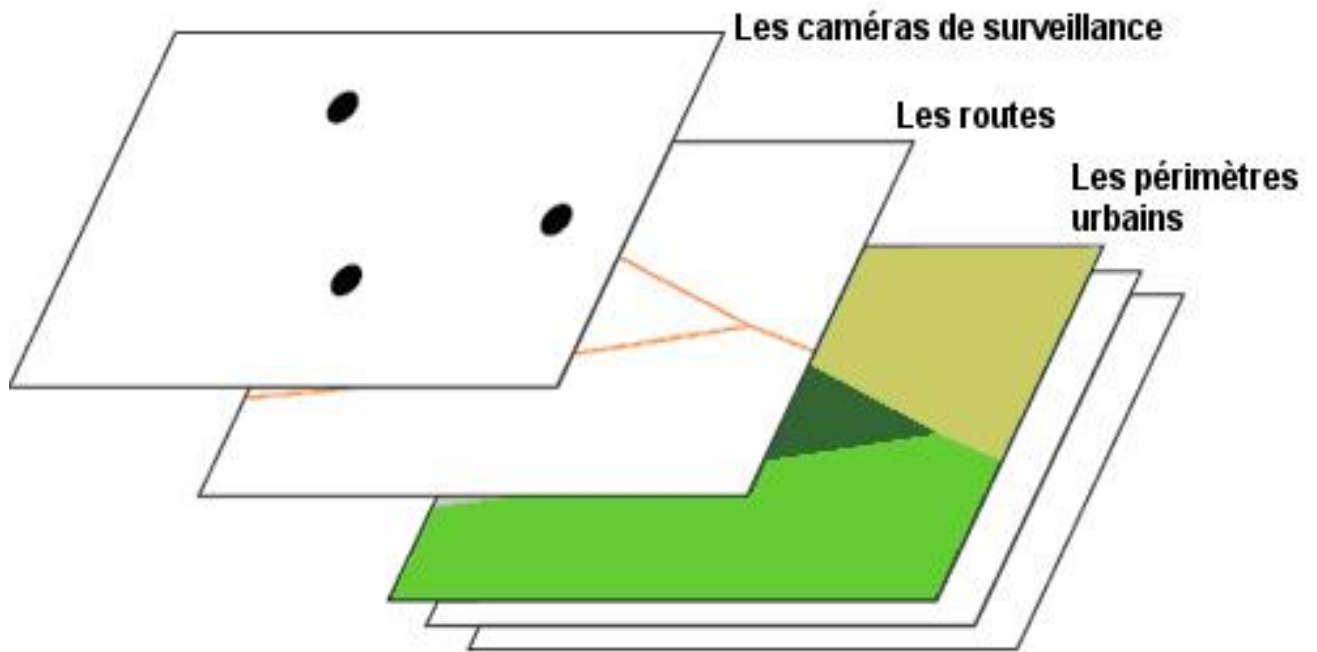


Les objets spatiaux de mêmes catégories sont regroupés dans une couche, laquelle permet de structurer l'information géographique. Chaque objet peut être représenté sur la carte par des points, lignes ou polygones (figure 2-14)⁷⁰.

Figure2-14 : Décomposition du monde réel en couches d'information (Surepath)

⁶⁹ IBID, 66

⁷⁰ IBID,68



Les avantages du mode vecteur :

- Position et formes des objets très précise : Si on souhaite représenter une parcelle de terrain ou un bâtiment dans une ville, le mode vecteur permet de décrire avec précision ses contours, angles et dimensions.
- Bonne qualité d’affichage : Lorsque l'on agrandit une carte, les lignes (comme celles des routes ou des frontières) restent nettes et précises, ce qui est idéal pour la cartographie à grande échelle.
- Format de données léger : Si on a une carte représentant uniquement les écoles d'une région, le fichier sera généralement plus petit que dans le mode raster, car il ne contient que les points d'intérêt, sans informations continues.
- Lisible et précis : Chaque élément géographique, comme un point représentant un puits ou une ligne représentant une route, peut être facilement identifié et analysé.
- Approche par objet : Chaque bâtiment dans une ville peut être traité comme un objet indépendant avec ses propres attributs (hauteur, usage, propriétaire, etc.), facilitant ainsi l'analyse et la gestion des données.

Les inconvénients du mode vecteur :

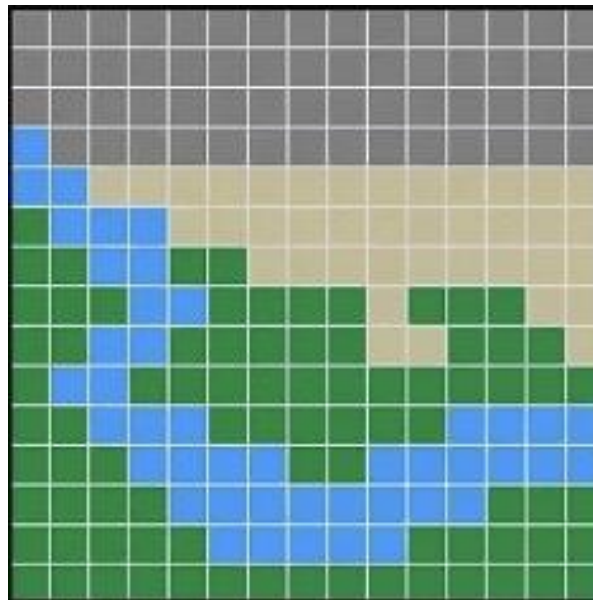
- Structure de données complexe : Pour représenter des rivières qui se croisent ou des zones urbaines complexes, il faut organiser les données sous forme de nœuds et d'arcs, ce qui peut être difficile à gérer.

- Risque de recouvrement des données : Si on superpose une couche représentant des routes et une autre pour les bâtiments, il y a un risque de chevauchement ou d'intersection incorrecte des éléments, ce qui peut fausser les résultats de l'analyse.
- Croisement de couches complexe : Si on veut analyser les zones inondables d'une ville et identifier celles qui sont proches d'une rivière (deux couches distinctes), l'opération de croisement (intersection) peut devenir compliquée et nécessite des outils de traitement avancés.

2.3.3.2. Mode raster :

Le mode raster appelé le mode trame est un mode basé sur une matrice. Ce dernier s'agit d'une représentation matricielle de la surface cartographique ou chaque pixel contient une valeur spécifique ou il dépeint la surface pixel par pixel. Généralement il est utilisé dans les systèmes de balayages comme les capteurs de télédétection et les scanners⁷¹.

Figure 2-15 : Mode raster (Surepath)



Avantages du mode raster :

⁷¹ IBID, 65

- Structure de données simple : Une image satellite ou une carte de température est simplement composée de pixels (cellules), chacune ayant une valeur qui représente une caractéristique de l'environnement (comme la température, l'humidité, etc.).
- Bonne représentation des réalités continues : Le mode raster est parfait pour représenter des phénomènes comme la couverture végétale ou la température, car ces phénomènes varient continuellement d'un endroit à l'autre.
- Analyse spatiale aisée : Il est facile de réaliser des analyses spatiales simples comme le calcul des zones à risques (ex. : zones inondables) ou l'identification des changements dans l'utilisation des sols à partir de séries temporelles d'images satellite.
- Combinaison de couche aisée : On peut facilement superposer plusieurs couches raster, comme l'altitude, la pente et l'utilisation des sols, pour déterminer les meilleures zones pour un projet de construction.

Inconvénients du mode raster :

- Assez lourd : Une carte à haute résolution (par exemple, une image satellite couvrant une grande zone avec une résolution de 1 mètre) peut produire un fichier volumineux, ce qui rend son traitement et son stockage plus complexes.
- Moins précis : Si on veut représenter avec précision la frontière d'une ville ou les limites d'un bâtiment, le mode raster perd en détail par rapport au mode vecteur, car il est composé de pixels qui ne peuvent pas suivre les contours exacts.
- Moins adapté à la représentation : Si on veut cartographier des infrastructures comme des routes ou des bâtiments, le mode raster n'est pas idéal, car il simplifie ces objets en les représentant sous forme de zones de pixels plutôt que sous forme de lignes ou de polygones distincts.
- Faible qualité d'affichage et d'impression : Lorsque l'on agrandit une carte raster, les pixels deviennent visibles, ce qui peut rendre l'image floue et moins précise, surtout lors de l'impression à grande échelle.

2.3.4. Caractéristiques des SIG :

Selon (ELFATIHI et al, 2003) les caractéristiques principales d'un SIG sont⁷² :

⁷² Elfathi et al., 2003

- Possibilité de l'intégration et de l'analyse de plusieurs couches d'information telles que les limites administratives, les réseaux routiers, les données topographiques ...etc.
- Habilité à fusionner des données issues de diverses sources, qu'elles soient spatiales ou thématique.
- Capacité d'interaction dans les analyses et les requêtes.
- Aptitude du système à considérer les requêtes et les règles précédentes lors du traitement des données.
- Un outil d'aide à la prise de décision.
- Contribution à la mise à jour et la création de nouveaux objets spatiaux.
- Capacité à trier et accéder à des données géolocalisées selon leur existence, leur position ou leurs attributs via des requêtes spécifiques.

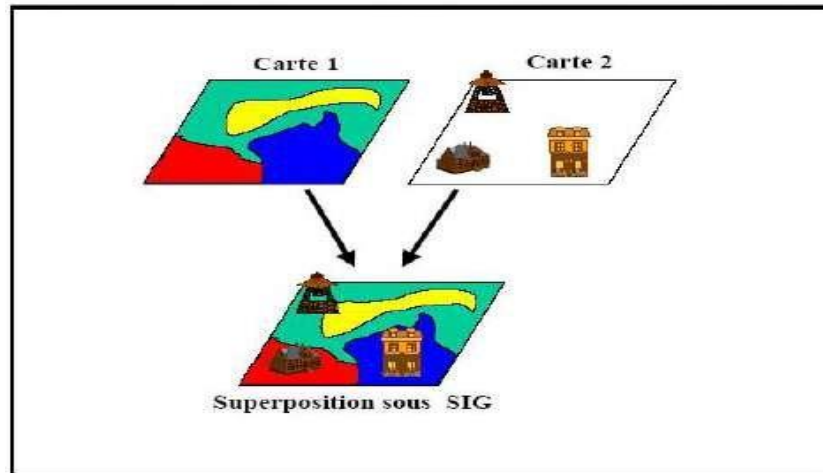
2.3.5. Fonctionnalités des SIG :

Cela ne se limite pas à un plan, car un SIG complet n'est pas simplement un dessin automatique ou un traceur de plan. Il possède plusieurs fonctionnalités pratiques de l'environnement⁷³, par exemple :

- Placer des objets sur une carte selon un référentiel géographique donné et les convertir facilement d'un système de coordonnées à un autre.
- Comparer et superposer des cartes provenant de deux sources différentes, qui sont publiées sur une seule image, afin de faciliter leur lecture et interprétation (**Figure 2-16**).

Figure 2-16 : Superposition sous SIG (ESRI France)

⁷³ IBID, 66



- Corriger les contours d'une carte jugée moins fiable, en s'aidant des coordonnées précises d'une carte de meilleure qualité.
- Identifier tous les objets situés à une certaine distance d'un point d'intérêt, par exemple d'un carrefour, d'une route ou du bord d'un lac.
- Sélectionner tous les objets présents dans une zone précise.
- Regrouper des objets ayant des caractéristiques communes, par exemple des parcelles voisines ayant le même taux de construction.
- Trouver le chemin le plus court entre deux points à travers un réseau, comme on le ferait dans une application de navigation.

2.4. Conclusion

Ce travail a permis de démontrer le rôle central de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans la cartographie agricole moderne. Depuis les premières images satellitaires de Landsat dans les années 1970 jusqu'aux capteurs hyperspectraux et aux drones actuels, ces technologies ont considérablement amélioré notre capacité à observer, analyser et modéliser les paysages agricoles. La télédétection, qu'elle soit passive ou active, offre une diversité de données (optiques, radar, thermiques) adaptées aux besoins spécifiques de l'agriculture, comme le suivi de la croissance des cultures ou la détection précoce des stress hydriques.

Les SIG, quant à eux, structurent ces données hétérogènes en couches spatialisées, permettant des analyses multicritères essentielles pour la prise de décision. Que ce soit par le mode vecteur, idéal pour une précision millimétrique des parcelles, ou le mode raster, adapté à la modélisation de phénomènes continus comme l'humidité des sols, ces systèmes transforment des informations brutes en connaissances actionnables. Les fonctionnalités avancées des SIG (superposition de couches, requêtes spatiales, analyses de réseau) en font des outils polyvalents pour l'aménagement du territoire et la gestion des risques.

Cependant, malgré ces avancées, des défis subsistent : l'accès aux données haute résolution reste coûteux, l'interprétation des images nécessite une expertise pointue, et l'intégration des données terrain demeure complexe. Néanmoins, avec l'émergence de l'intelligence artificielle et l'ouverture croissante des données satellitaires (programmes Copernicus, Sentinel), ces limites tendent à s'estomper.

En conclusion, la synergie entre télédétection et SIG ouvre des perspectives prometteuses pour une agriculture plus durable, précise et résiliente. Ces outils ne se contentent pas de cartographier le présent ; ils anticipent les changements, optimisent les ressources et contribuent à bâtir des systèmes alimentaires adaptés aux défis du XXI^e siècle. Leur adoption généralisée, couplée à une formation adéquate des acteurs locaux, sera déterminante pour relever les enjeux agricoles et environnementaux de demain.

CHAPITRE III

Études comparatives et protocole appliqué à
Tlemcen

3.1. Introduction

L'expansion urbaine constitue l'un des défis majeurs du XXI^e siècle, engendrant des transformations profondes des paysages naturels et agricoles. À l'échelle mondiale, ce phénomène, souvent non maîtrisé, exerce une pression croissante sur les ressources terrestres, menaçant la sécurité alimentaire, la biodiversité et l'équilibre climatique. Les études préliminaires menées en Égypte, en Malaisie et au Pakistan illustrent clairement l'ampleur de ces enjeux : régression des terres agricoles, augmentation des températures de surface et fragmentation des écosystèmes. Ces recherches, fondées sur des technologies géospatiales avancées (télédétection, SIG), démontrent l'urgence d'une gestion territoriale éclairée.

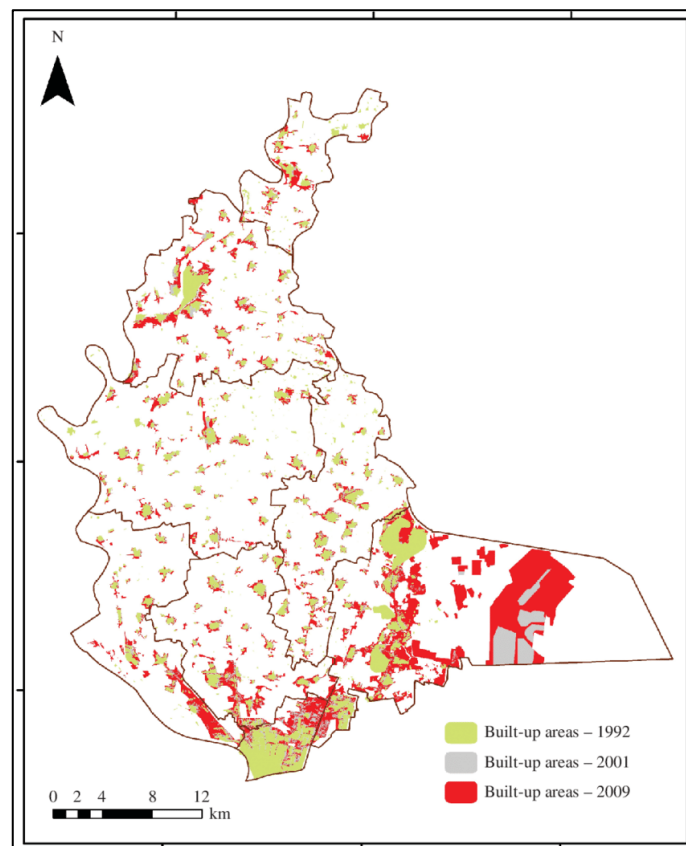
Dans ce contexte, la wilaya de Tlemcen, région agricole stratégique du nord-ouest algérien, n'échappe pas à ces dynamiques. Son territoire, marqué par une diversité géographique et une urbanisation croissante, sert de cadre à cette étude visant à analyser l'impact de l'étalement urbain sur les sols agricoles et les équilibres environnementaux. En s'appuyant sur des outils tels qu'ArcGIS, Google Earth Engine et des données satellitaires (Landsat, MODIS), ce chapitre explore les mutations spatiales survenues entre 1985 et 2025. L'objectif est de produire des cartes thématiques révélatrices des tendances (occupation des sols, îlots de chaleur urbain) et d'offrir des clés pour une planification durable.

3.2. Etudes similaires

1. **Première étude** : qui a été publiée par un groupe de chercheurs égyptien, intitulée : *“Urban sprawl impact assessment on the agricultural land in Egypt using remote sensing and GIS : a case study, Qalyubiya Governorate”* ou “Évaluation de l'impact de l'étalement urbain sur les terres agricoles en Égypte à l'aide de la télédétection et du SIG : une étude de cas, gouvernorat de Qalyubiya”. Elle s'articule sur l'utilisation des images satellitaires de LANDSAT Thematic Mapper (TM) et Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) pour faire l'étude sur l'étalement urbain et son impact sur les terres agricoles du gouvernorat de Qalubiya. L'application des techniques de classification supervisée basée sur l'algorithme maximum de vraisemblance et la détection des changements post-classification qui est une méthode utilisée en télédétection pour l'identification des changements d'occupation du sol entre différentes dates pour la surveillance de l'étalement urbain de cette zone d'étude. Des sorties sur

terrain pour l'obtention de données et l'utilisation d'une carte topographique de 1992 pour faire une évaluation de la précision des résultats de classification ; et pour affiner les résultats ils ont utilisé les SIG. L'utilisation de la technique de détection des changements post-classification a aidé pour produire une image des changements par tabulation croisée. La combinaison des cartes des sols et des terres, d'une part, et des couches thématiques urbaines, d'autre part, à l'aide des SIG, a permis de mettre en évidence le risque d'expansion urbaine au détriment des sols de la classe à forte capacité. Les chercheurs de cette étude ont trouvé que depuis 1992 jusqu'au 2009 la superficie des sols à forte capacité a diminué, passant de 683,2 km² à 618,5 km². La superficie des sols à capacité moyenne a diminué, passant de 100,5 km² à 93,8 km², tandis que celle des sols à capacité marginale a diminué, passant de 209,1 km² à 198,3 km². En guise de conclusion cette étude a montré qu'au cours de la période 1992-2001 l'empiètement urbain sur les terres non aptes a été très limité par contre au cours de la période 2001-2009 l'expansion urbaine s'étant principalement faite au détriment des sols non aptes. (Shalaby et autres : 2012,7(3) /261-273)

Figure 3-1 : Evolution spatiale de l'urbanisation (Shalaby et autre)



En tant qu'étudiant j'ai trouvé que ces trois études sont très enrichissantes car elles montrent comment l'expansion urbaine a influencé sur les LULC et les LST. L'utilisation de la télédétection et des SIG permet de bien comprendre comment le territoire a évolué et de déterminer les conséquences de cette évolution. Elles m'ont permis de prendre en considération l'importance de la végétation urbaine pour garder une température modérée.

2. Deuxième étude : est une étude réalisée par des chercheurs indonésiens, intitulée : « *Designing an Early Detection System for Agricultural Land to Reduce the Risk of Crop Failure Based on Information Technology* » ou « Conception d'un système de détection précoce pour les terres agricoles afin de réduire les risques d'échec des cultures basé sur les technologies de l'information ». Cette recherche s'est appuyée sur l'utilisation de l'Internet des objets (IoT) et de la télédétection pour surveiller la qualité des terres agricoles en Indonésie et détecter les changements illégaux ou les menaces potentielles. Les chercheurs ont déployé des capteurs dans les champs pour collecter des données en temps réel sur les conditions des sols et du climat, combinées à des images satellitaires pour identifier les modifications d'occupation des sols. Une classification supervisée des images a été utilisée pour cartographier les changements, et des données de terrain ont servi à valider les résultats. Les SIG ont été employés pour superposer les couches d'information (sols, climat, utilisation des terres) et produire des cartes thématiques des zones à risque. L'étude a révélé une diminution des terres agricoles productives due à des empiétements urbains entre 2015 et 2023. Un système d'alerte basé sur l'IoT a été proposé, permettant d'envoyer des notifications par SMS aux agriculteurs en cas de détection de changements illégaux. Ce modèle est adaptable à la wilaya de Tlemcen, où une application mobile liée au site « fadaeldjazair » pourrait être développée pour alerter les agriculteurs sur les empiétements. (International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS)).

Figure3-2 : installation et principe de fonctionnement de l'équipement (Aditya R 2021)



3. Troisième étude : une étude conduite par des chercheurs italiens, intitulée : « *Agri-urban Patterns in Mediterranean Urban Regions : The Case Study of Pisa* » ou « Modèles agri-urbains dans les régions urbaines méditerranéennes : Étude de cas de Pise ». Cette recherche a examiné l'impact de l'expansion urbaine sur les terres agricoles dans la région de Pise, en Italie, en utilisant la télédétection et les SIG pour surveiller les changements d'occupation des sols. Les images satellitaires ont été traitées à l'aide de techniques de classification supervisée basées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance pour détecter les empiétements illégaux. Des sorties sur le terrain ont permis de collecter des données pour évaluer la précision des classifications, tandis que des cartes topographiques historiques ont servi de référence. Les SIG ont été utilisés pour superposer des couches thématiques (sols, utilisation des terres, zones urbaines) afin d'identifier les zones vulnérables à l'étalement urbain. L'étude a montré une réduction des terres agricoles à forte capacité entre 2000 et 2018, passant d'une superficie de 450 km² à 410 km², principalement en raison de l'expansion urbaine. Les chercheurs ont proposé un système de surveillance combinant des données satellitaires et des rapports communautaires, permettant aux citoyens de signaler les empiétements via des plateformes numériques. Ce modèle est pertinent pour Tlemcen, où une combinaison de télédétection et de rapports citoyens pourrait renforcer la protection des terres agricoles. (Journal of Land Use Science, 15(6), 721–739).

Figure 3-3 : méthode d'agencement spatial (CNES)

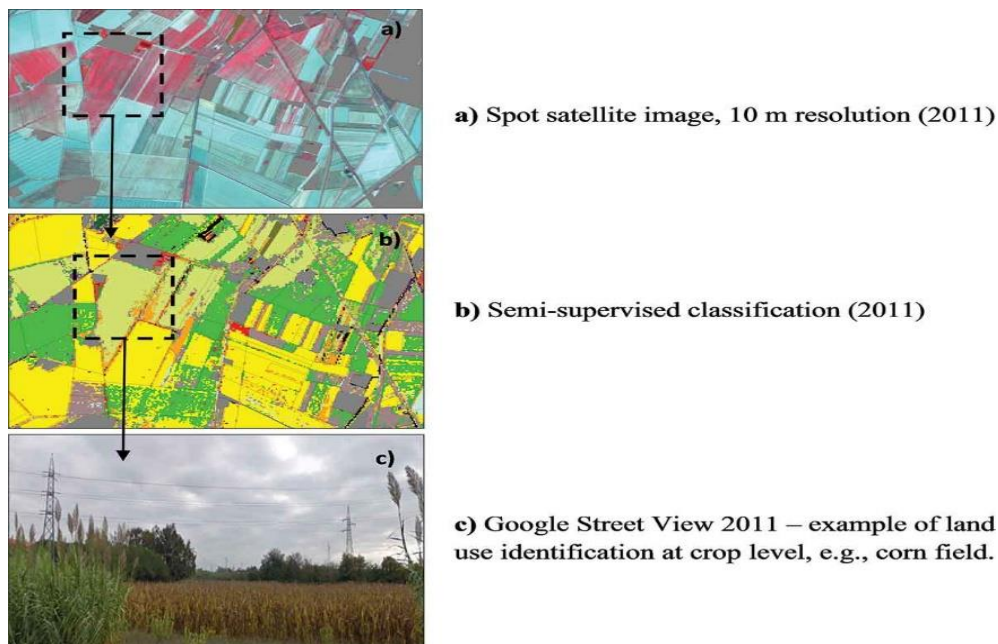
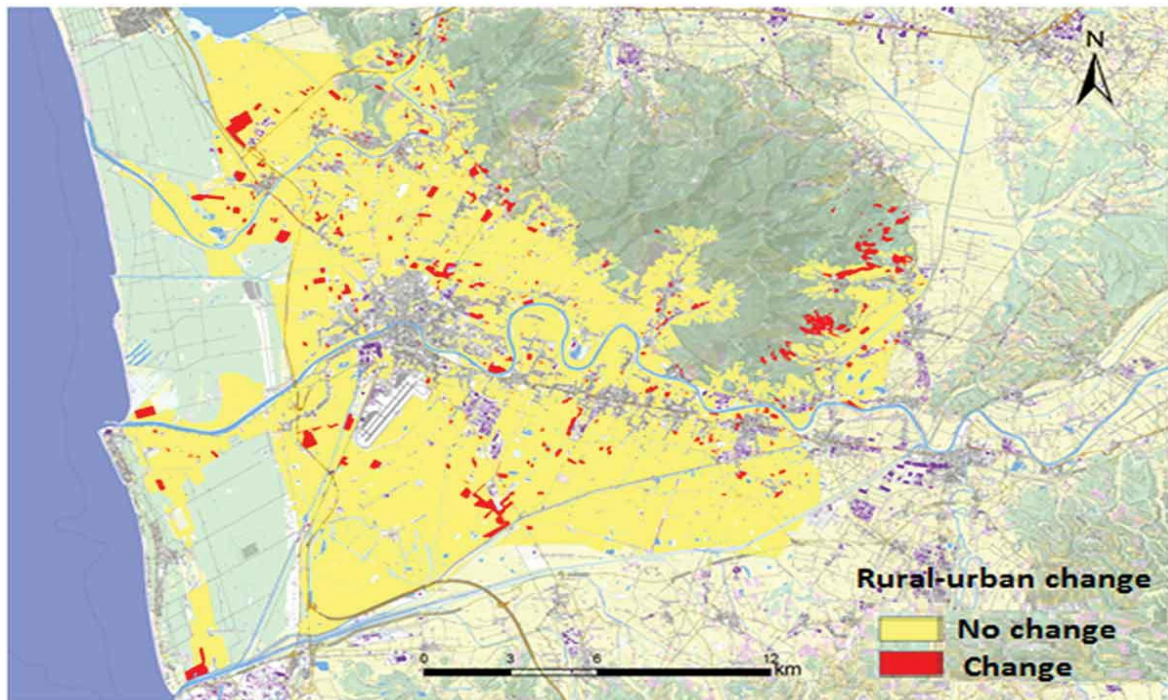


Figure 3-4 : évolution des modèles agro-urbains dans la région urbaine de pise entre 2003 et 2011 (Bianchini)



3.3. Données et outils utilisés

3.3.1. Outils et données

3.3.1.1. Outils mis en œuvre

- **Arcgis 10.8** : est un SIG développé par ESRI (une société américaine). Il permet de visualiser, analyser, gérer et produire des données spatiales. La version 10.8 de Arcgis est couramment utilisée dans le milieu professionnel et académique, la principale différence entre cette version et la version Pro c'est que la dernière est une application 64bits ce qui permet d'offrir une modélisation 3D plus fluide et performante. Parmi ces modules : ArcMap ; ArcToolbox et ArcCatalog. Arcgis 10.8 offre une opportunité d'automatisation via le langage du Python plus que ça il peut même supporter des divers formats comme SHP, GDB, GeoTIFF, KML, CSV ...etc. Dans cette étude on a utilisé cet outil pour la cartographie, le traitement et l'analyse des données.
- **ENVI 4.5:** (*Environment for Visualizing Images*) est un logiciel dédié aux traitements et aux analyses des images satellitaires et des données de télédétection. Élaboré par Harris Geospatial pour les analystes et les scientifiques qui utilisent des données hyper-spectrales et multispectrales. Il est utilisé pour le calcul des indices, la correction atmosphérique et radiométrique des images

satellitaires et la classification des images ...etc. On l'a utilisé pour essayer la classification supervisée par la méthode de vraisemblance maximale.

- **QGIS 3.38.3** : c'est un logiciel similaire à Arcgis mais il est open-source, il est élaboré par une vaste communauté internationale. QGIS supporte des formats différents tels que SHP, GeoTIFF, GeoJSON, PostGIS, KML, GPKG ...etc. Dans notre étude on a utilisé ce logiciel pour transformer les fichiers GeoJSON en shapefile car Arcgis 10.8 n'offre pas cette fonctionnalité.
- **Google Earth Engine (GEE)** : c'est une plateforme cloud développée par google, elle sert à traiter et analyser des données géospatiales à l'échelle planétaire. GEE offre une possibilité d'accès à une large gamme d'images satellitaires (Landsat, Modis, Sentinel ... etc.) et même à des données environnementales et climatiques. Le traitement des données peut se faire sur le cloud à l'aide du Javascript ou Python. On a utilisé cette plateforme dans notre étude pour faire une analyse sur le changement qui s'est produit sur l'utilisation et l'occupation des sols, la cartographie de l'urbanisation et l'analyse des changements climatiques.

3.3.1.2. Données et caractéristiques

- **BBBIKE** : BBBIKE est un serveur de téléchargement gratuit qui dispose des extraits de données géographiques vectorielles telles que les limites administratives, les routes et d'autres éléments du projet OpenStreetMap dans plusieurs formats tels que OSM, PBF, GEOJSON, SHAPEFILE et autres formats. Dans cette étude ce site web a été utilisé pour l'obtention des limites administratives de la wilaya de Tlemcen, qui aident au géoréférencement dans les SIG et à la structuration du territoire.
- **USGS Earth Explorer** : Earth Explorer (EE) c'est un site web développé par l'USGS (United States Geological Survey), offrant un accès gratuit aux archives du Centre d'observation et de science des ressources terrestres (EROS). Dans ces archives on trouve des données de couverture du monde entier de plus de 50 ans. EE permet un accès à plus de 180 collections de données telles que les photographies aériennes, les images satellitaires, les données d'élévation ...etc. L'interface graphique d'EE permet aux utilisateurs de définir une zone d'intérêt (AOI) par adresse, code postal, nom de lieu, ou directement via une carte interactive. Les recherches peuvent être affinées par plage de dates et des critères spécifiques à chaque collection. EE même propose des alternatives d'exportation (KML, shapefile, tableau) pour faciliter la gestion des données. Dans cette recherche ces images satellitaires ont été utilisées pour extraire des

indices de végétation (NDVI) et d'urbanisation (NDBI), dans le but de l'analyse du changement d'occupation et d'utilisation des sols entre 1985 et 2025.

- **Copernicus Open Access Hub** : Le Copernicus Open Access Hub fournit un accès complet, gratuit et ouvert aux données des missions Sentinel. Les types de ces données sont des données satellites et des images aériennes fournies par l'agence spatiale européenne (ESA). Ces données sont particulièrement adaptées à la cartographie de la végétation, des sols nus, de l'eau, et ont été intégrées ici pour améliorer la précision des cartes thématiques. Ces données, particulièrement adaptées à la cartographie de la végétation, des sols nus et de l'eau, ont été intégrées ici pour améliorer la précision des cartes thématiques.
- **Spatialthoughts.project** : Spatialthoughts.project est une plateforme éducative gratuite offrant des formations spécialisées dans l'utilisation du QGIS et GEE, aussi fournissant des tutoriels, des scripts et des données pour l'occupation des sols l'analyse de séries temporelles et la cartographie de l'occupation du sol. Elle a été utilisée dans cette étude pour la production des cartes d'occupation et de couverture des sols sur différentes années afin de faciliter l'évaluation de la dynamique territoriale.
- **Microsoft buildings footprints**: Microsoft buildings footprints est une base de données regroupant un ensemble de données vectorielles sur les bâtiments générées à l'aide des images satellitaires ou aériennes en basant sur des techniques d'intelligence artificielle, elle est développée par Microsoft. Cette base de données permet de détecter avec précision les structures bâties à l'échelle globale. Dans cette recherche ces données ont été utilisées pour la cartographie de l'expansion urbaine et la mesure de son impact sur les terres agricoles.
- **LaRC.nasa.gov** : LaRC.nasa.gov (Langley Research Center de la NASA) est un centre de recherche appartenant à la National Aeronautics and Space Administration (NASA), spécialisé dans l'étude de l'atmosphère terrestre et du climat. Son portail de données met à disposition des chercheurs un accès à un vaste ensemble de données atmosphériques issues de capteurs satellitaires (tels que MODIS, AIRS, CERES) ainsi que des stations météorologiques terrestres. Ces données incluent des variables telles que les précipitations, la température de l'air, l'humidité relative, l'albédo, la radiation solaire, etc. Dans le cadre de cette étude, les séries temporelles issues du LaRC ont été utilisées pour analyser les tendances climatiques sur plusieurs décennies, permettant d'identifier l'impact potentiel du changement climatique sur les terres agricoles de la wilaya de Tlemcen. Ces données ont également permis de croiser les résultats issus des

indices de végétation avec les évolutions climatiques afin de comprendre les variations de la productivité agricole.

- **Earth Map** : Earth Map est une application gratuite développée par la FAO en partenariat avec Google. Elle repose sur Google Earth Engine et permet de visualiser, traiter et analyser facilement d'importants volumes de données géospatiales et satellitaires. Grâce à son interface intuitive, elle donne accès à des informations multi temporelles et multiparamétriques en quasi temps réel, sans nécessiter de compétences en codage. Cet outil est particulièrement utile pour la surveillance environnementale, le suivi des changements d'affectation des terres, et l'évaluation des impacts du changement climatique. Dans cette étude, EarthMap a été utilisé pour visualiser l'état écologique et climatique des zones agricoles, et pour comparer les conditions environnementales entre différentes zones de la wilaya (côtière, des hauts plateaux et saharienne). Sa facilité d'utilisation et son interface conviviale ont permis d'intégrer efficacement ces données dans une analyse spatiale globale.

3.3.2. Génération des cartes thématiques

3.3.2.1. Cartes d'occupation et de couverture du sol

Dans chaque étude d'analyse spatiale du territoire l'utilisation des LULC joue un rôle important et elle est une étape cruciale dans l'étude. Les LULC aident à l'identification des différentes catégories d'usage des sols et facilitent l'observation de leur évolution dans le temps, particulièrement en raison de l'expansion urbaine et de la diminution des terres agricoles.

3.3.2.1.1. Définition

Les cartes des LULC sont des représentations spatiales qui déterminent les diverses formes d'utilisation des terres et de couverture végétale. Ces cartes font la classification du territoire en fonction de différents types d'occupation des sols : zones bâties, terrains agricoles, rairies, forêts, étendues d'eau, etc.

La différence entre la couverture et l'occupation du sol c'est que la couverture du sol représente les caractéristiques physiques (végétation, terrain nu, eau) et l'occupation du sol représente l'usage socio-économique (agriculture, habitation, activité industrielle). La connaissance de ces informations est importante pour bien comprendre la dynamique de l'espace, offrir une meilleure planification d'aménagement du territoire et aider à la protection des ressources naturelles. Les terrains agricoles, essentiels pour la sécurité

alimentaire et l'économie locale, Les prairies naturelles importantes pour l'écosystème, les zones urbaines indicatrices de la pression anthropique et de l'artificialisation des sols.

3.3.2.1.2. Objectifs

Objectifs L'élaboration de la carte d'occupation et de couverture du sol pour la wilaya de Tlemcen permet d'atteindre plusieurs objectifs majeurs :

- **Analyser l'état actuel du territoire** : établir une photographie précise de l'état actuel de l'occupation des sols. Les principales zones dominantes et minoritaires sont identifiées de manière exhaustive.
- **Observer les dynamiques spatiales** : mettre en évidence les tendances d'urbanisation ainsi que la fragmentation des terres agricoles et la transformation des prairies.
- **Quantifier les surfaces** : qui sont affectées et dédiée à l'urbanisation par rapport aux espaces naturels et aux terres agricoles
- **Servir de base à d'autres analyses ultérieures** : puisqu'elle peut être utilisée pour analyser les îlots de chaleur urbains, évaluer la dégradation des terres, ou encore planifier la gestion de l'utilisation des terres de façon durable.
- **Facilité l'interprétation croisée** : avec d'autres indicateurs spatiaux, puisqu'elle peut être croisée avec d'autres indicateurs de végétation NDVI, SAVI ou encore avec des données climatiques. Ainsi, une carte minutieusement géoréférencée sert au mieux, à orienter les politiques de préservation du foncier agricole et à accompagner l'urbanisation contrôlée.

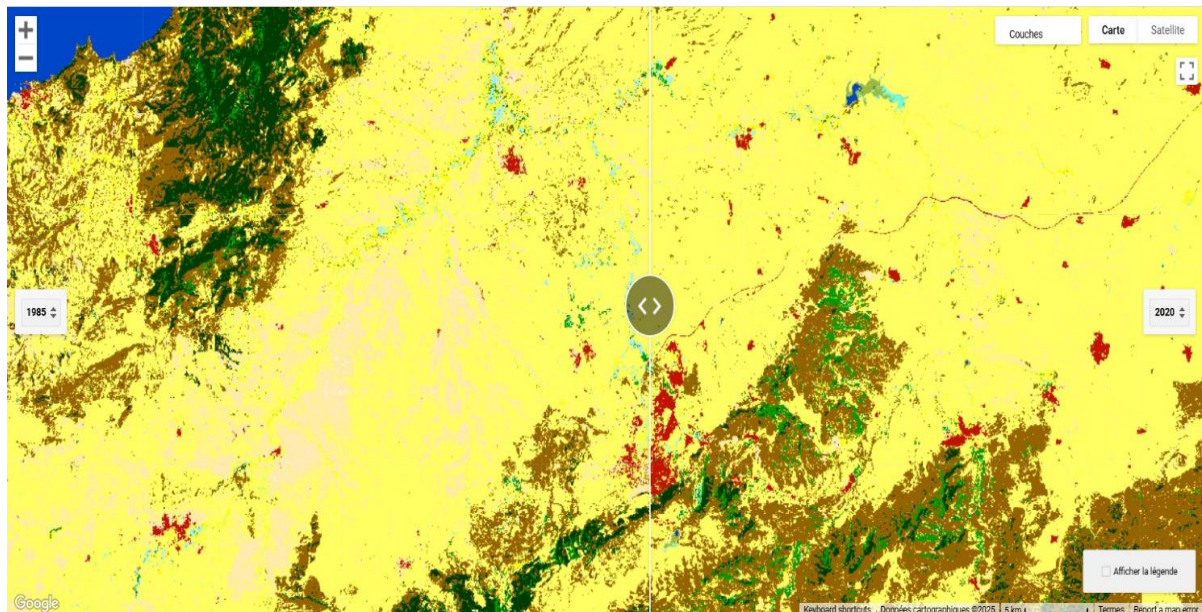
3.3.2.2. Technique de réalisation

La réalisation de la carte d'occupation et de couverture du sol a suivi un processus très précis regroupant plusieurs outils d'analyse spatiale :

1. Analyse préliminaire Spatial Thoughts Project

Au début du projet, nous avons utilisé les sources d'apprentissage et de pratique du Spatial Thoughts Project pour comprendre les méthodes modernes de cartographie d'occupation du sol via Google Earth Engine. L'étape préparatoire nous a donné une idée de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des terres de la wilaya de Tlemcen et des meilleures données nécessaires à l'analyse.

Figure 3-3 : Example sur Spatial Thoughts Project



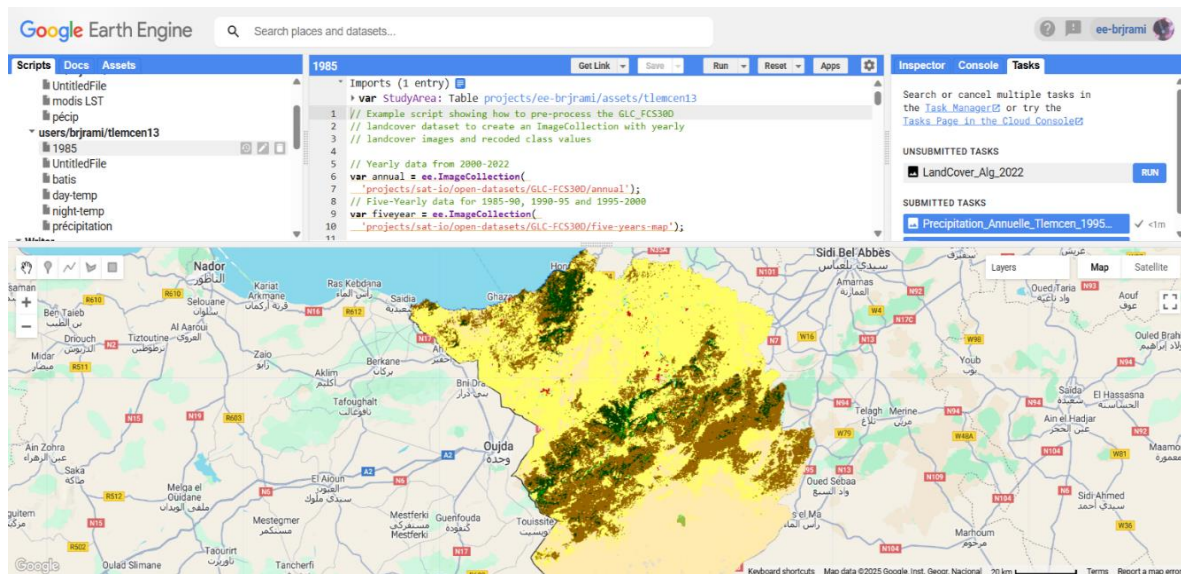
2. Collecte des données par Google Earth Engine

Un script personnalisé créé dans Google Earth Engine a permis de :

- Délimiter la zone d'étude, qui correspond aux frontières administratives de la Wilaya de Tlemcen,
- Sélectionner des images satellites classées récentes qui proviennent des satellites tels que Sentinel-2 ou des produits comme ESA WorldCover,
- Exporter les résultats sous forme d'image GeoTIFF classifiée directement exploitable.

GEE donne accès aux données des images déjà prétraitées à un niveau prédéfini (corrections atmosphériques de base, calibrages radiométriques) et classifie également de manière automatique grâce à l'utilisation des algorithmes de l'apprentissage profonds comme Random Forest, Classification and Regression Trees, en ce qui réduit considérable l'utilisation du temps pour processus de la classification.

Figure 3-4 : Exemple sur le téléchargement des LULC avec GEE



3. Correction atmosphérique sous ArcGIS

Malgré les images téléchargées sont déjà corrigées à un premier niveau, une correction atmosphérique supplémentaire a été réalisée sous ArcGIS 10.8 pour notamment :

- Réduire les distorsions causées par la présence d'aérosols et de vapeur d'eau.
- Uniformiser les données radiométriques pour améliorer la précision des classifications finales.
- Assurer une meilleure comparabilité entre des inégales images comme variable.

Cette correction a été fait à l'aide de l'outil « Radiometric Correction » intégré dans ArcGIS.

4. Classification des données finales

Pour atteindre l'objectif de l'extraire de catégories spécifiques comme les terrains agricoles, les prairies, les zones urbaines, une classification supervisée a été appliquée pour :

- Creation des échantillons d'apprentissage dans chaque classe.
- Application de l'algorithme de la classification maximum de vraisemblance.
- Validation de la classification par les points de contrôle que nous les avons obtenus à partir de l'interprétation visuelle sur Google Earth et Spatial Thoughts Project.

5. Production de la carte finale

Après tous ces traitements, la carte d'occupation et de la couverture du sol a été produite avec une précision spatiale optimale, et elle a été utilisée comme la base sur laquelle nous avons produit les différentes cartes nécessaires pour l'analyse comme pour l'impact d'urbanisation sur les sols agricoles et la dynamique des prairies.

3.3.2.3. Carte de l'évolution urbaine (1985-2025)

Le cartographie de l'évolution urbaine sur la période allant de 1985 à 2025 est indispensable pour saisir et schématiser la dynamique spatiale de la wilaya de Tlemcen. Elle donne une idée claire sur l'expansion des zones bâties, la pression exercée sur les terres agricoles et visualisation des tendances globales d'urbanisation.

3.3.2.3.1. Définition

La carte de l'évolution urbaine est un document spatial représentant la croissance et le progrès sur une période donnée des zones urbaines. Plus précisément, il montre comment les villes, les villages et les infrastructures se sont développés, parfois aux dépens d'espaces verts ou d'agricoles. Il s'agit d'une cartographie temporelle avec une grande signification dans l'analyse des dynamiques d'urbanisation, planification urbaine, construction durable et préservation des ressources terrestres.

3.3.2.3.2. Objectifs

Les principaux objectifs de réalisation de la carte d'évolution urbaine sont :

- Analyser la progression spatiale des zones bâties au fil des décennies.
- Évaluer l'impact de l'urbanisation sur les terres agricoles et naturelles.
- Identifier les périodes et les zones de forte croissance urbaine.
- Fournir un support visuel pour orienter les politiques d'aménagement du territoire.
- Un appui pour les analyses futures, par exemple sur les risques urbains, les îlots de chaleur, la consommation d'espace, etc.

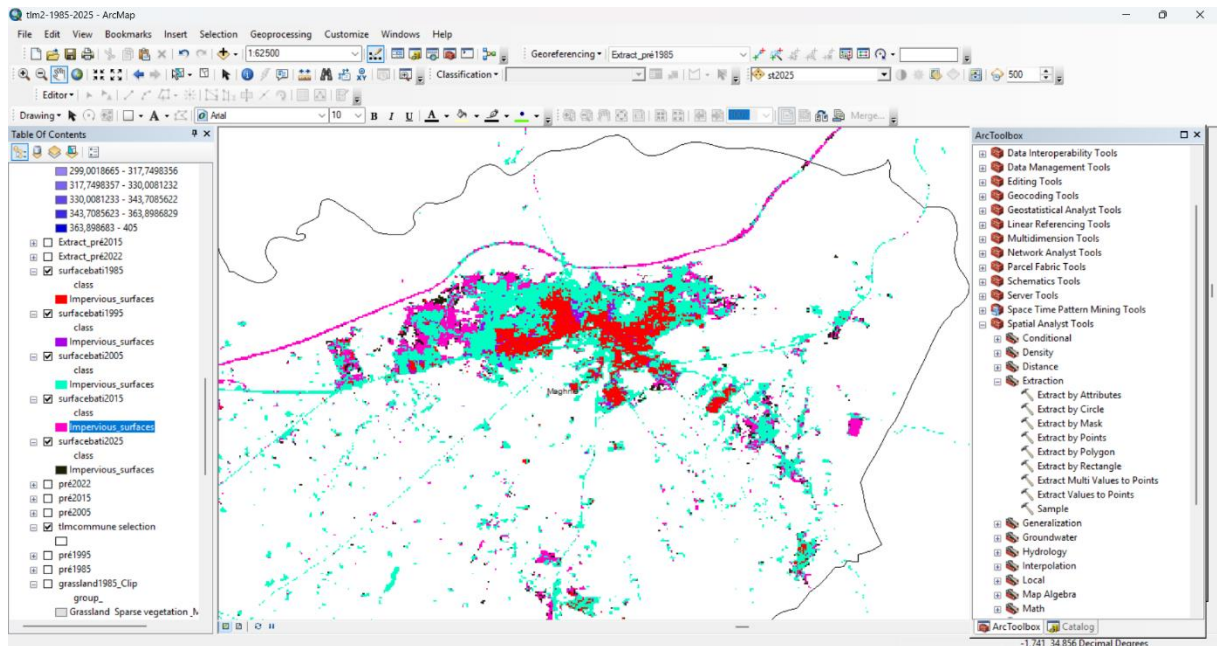
3.3.2.3.3. Technique de réalisation

La réalisation de cette carte s'est appuyée sur une méthodologie spécifique qui a combiné plusieurs sources de données et traitements géopataux :

1. Extraction des zones urbaines à partir des cartes de l'occupation du sol

Sur la base des cartes d'occupation et de couverture du sol générées pour différentes dates 1985, 1995, 2005, 2015, 2025, nous avons identifiée et isoler les zones pour chaque année de référence.

Figure 3-5 : Exemple sur l'extraction des zones urbaines



2. Comparaison intertemporelle

En superposant les zones urbaines extraites pour chaque période, on a pu analyser l'évolution spatiale de l'urbanisation. Grâce à cette approche, nous avons pu voir si les aires urbanisées se sont agrandies progressivement ou rapidement.

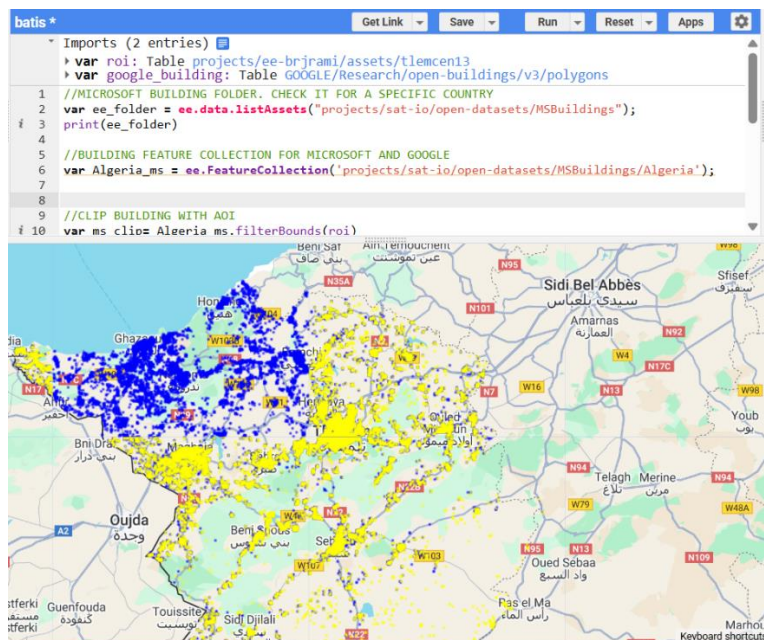
3. Téléchargement des bâtis numérisés

Pour approfondir notre analyse, nous avons téléchargé les données des bâtis digitalisés de notre zone d'étude. Cette démarche a été précieuse pour comparer la croissance des surfaces urbaines. Les données ont été téléchargées de sources ouvertes de confiance telles que :

- Microsoft building footprints
- Bâtiments numérisés de Google Earth

Ces fichiers se distinguent par un niveau de détail élevé puisque chaque bâtiment est considéré ceci séparément.

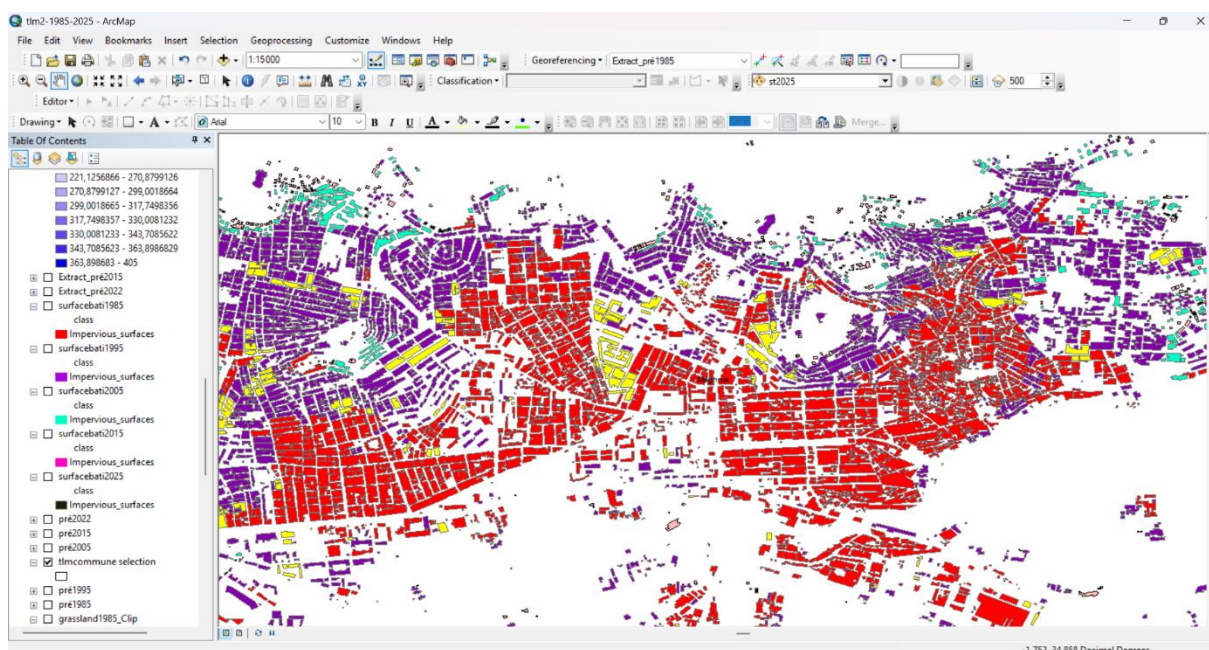
Figure 3-6 : Exemple sur le téléchargement des données microsoft et google avec GEE



4. Association des bâtis aux surfaces urbaines

À l'aide de l'outil Spatial Join sur Arcgis, on a associé les polygones des bâtis digitalisés avec les surfaces urbaines extraites pour chaque année. La date d'apparition supposée a ainsi été attribuée à chaque bâtiment.

Figure 3-7 : Exemple sur l'association des bâtis aux surfaces urbaines



5. Production à la carte finale

À la fin du traitement, on a réalisé une publication à la carte dynamique qui indiquait l'année d'apparition de chaque bâtiment entre 1985 et 2025. On peut observer la présence:

- Ancienne zone urbaine centrale,
- Nouvelle extension péri-urbaine,
- Zone de forte densification

La carte finale permet de bien comprendre la dynamique du paysage urbain de la wilaya de Tlemcen sur quarante ans.

3.3.2.4. Carte des terres agricoles et des prairies

L'étude de la dynamique des terres agricoles et des prairies comporte voir un enjeu important pour une meilleure gestion du territoire de la wilaya de Tlemcen. L'analyse permet d'une part d'évaluer la pression affectant les surfaces naturelles des empiétements urbains, d'autre part comprendre la perte des surfaces productives.

3.3.2.4.1. Définition :

La carte des terres agricoles et des prairies est un document concerne les surfaces dédiées aux cultures et autres vergers pour révéler leurs extensions et dynamiques. Aussi, observer son évolution pour analyser les divers facteurs qui l'affecte tel que l'urbanisation, intensification de lots ...

Les terres agricoles : il s'agit des terres dédiées pour les cultures qu'elles soient annuelles, permanentes ou bien les vergers.

Les prairies : sont des zones recouvertes de végétation herbacée sauvage ou de broussailles, utilisées pour le pâturage ou la fauche.

3.3.2.4.2. Objectifs

L'objectif général de cette réalisation est de :

- Représenter les surfaces agricoles et les prairies et localiser les existantes aux dates suivantes : 1985, 1995, 2005, 2015, 2025.
- Analyser l'évolution de ces surfaces dans le temps et repérer les trends ou la régression ou la stabilité.

- Évaluer l'influence de l'urbanisation et l'émergence de constructions sur les zones stratégiques, ainsi que leur impact sur les aires de conservation.
- Contribuer à la prise de décision liée à la protection du foncier en lien avec les aires de conservation de la nature.

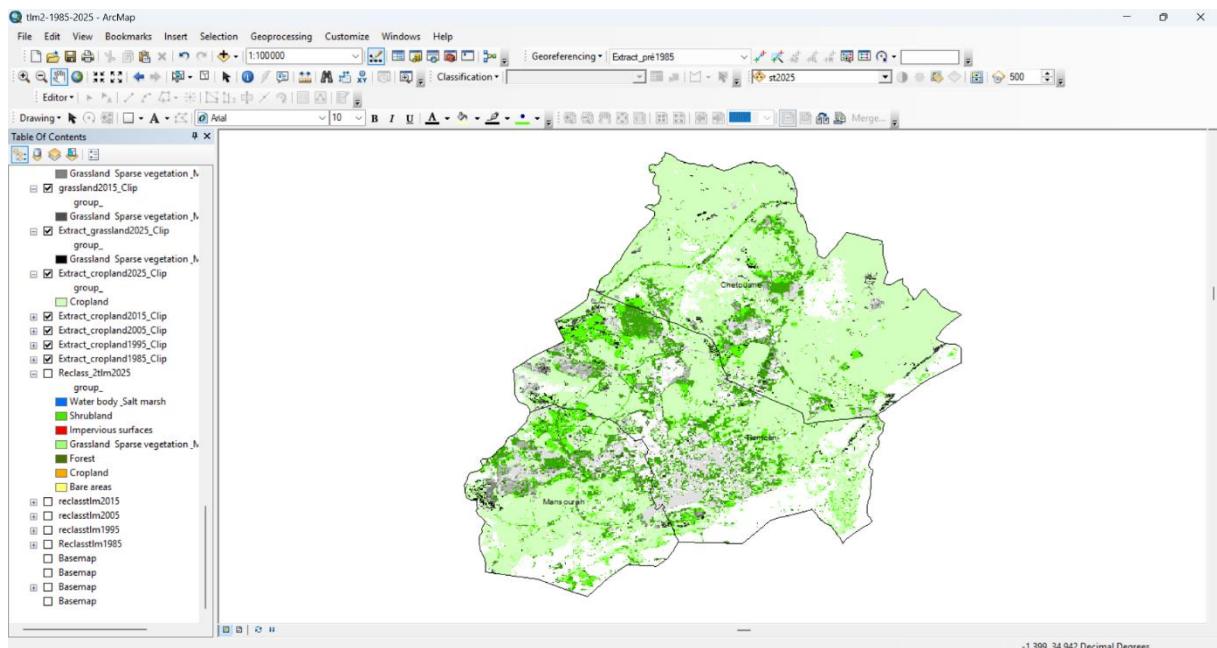
3.3.2.4.3. Techniques de réalisation

La réalisation de la carte des terres agricoles et prairies a nécessité les étapes méthodologiques suivantes :

1. Extraction des surfaces agricoles et prairies

À partir des cartes d'occupation et de couverture du sol précédemment produites, nous avons isolé les terrains agricoles et les prairies, ce qui nous a permis d'extraire, pour chaque étude et pour chaque année, les autorisations issues de la classification.

Figure 3-8 : Exemple sur l'extraction des terres agricoles et des prairies du grand Tlemcen

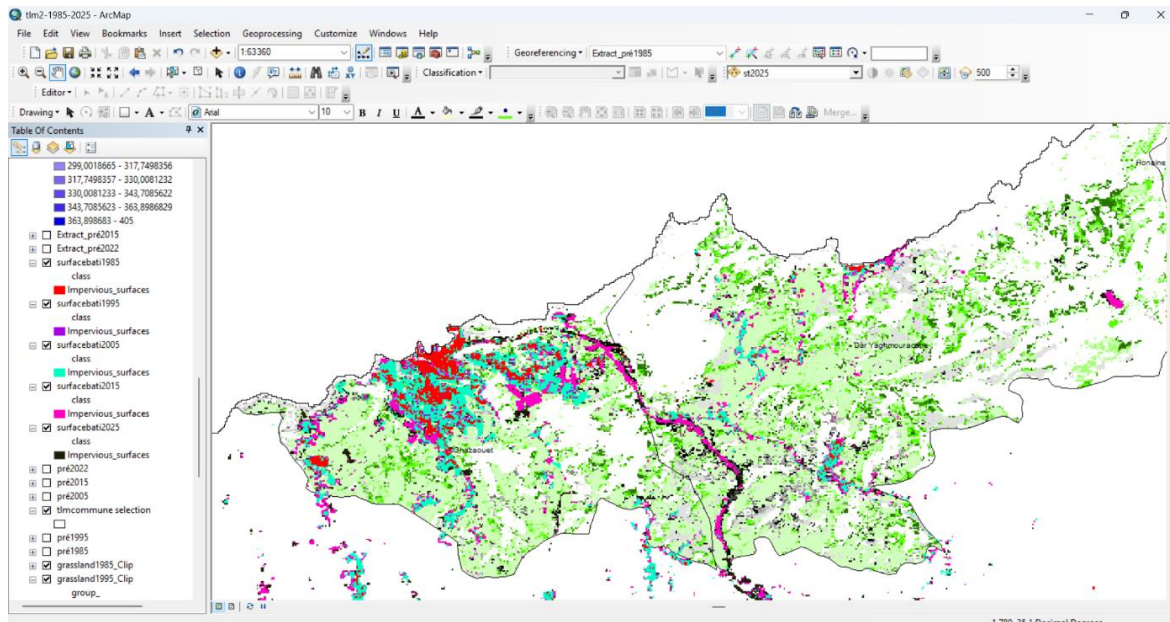


2. Analyse de l'impact de l'urbanisation

Grâce à l'approche définie pour la cartographie du développement de l'urbanisation, une jonction spatiale a été réalisée entre les polygones de bâtiments numérisés et les terres agricoles et les prairies. Elle a permis d'identifier :

- Les bâtiments construits directement sur des terres agricoles ou des prairies.
- Le taux d'artificialisation des terres naturelles.

3. Figure 3-9 : Exemple sur l'analyse de l'impact de l'urbanisation



4. Analyse de la dynamique spatiale

Après avoir défini les zones affectées, une analyse quantitative a été réalisée, incluant :

- La perte de terres agricoles et des prairies entre 1985 et 2025 ;
- Les zones géographiques fortement touchées par l'urbanisation ;
- Le pourcentage de terres agricoles transformées en zones constructibles.

5. Élaboration de la carte finale

La carte finale présente :

- La superficie des terres agricoles et des pâturages restants ;
- Les portions converties en zones urbaines ;
- Les éléments de dégradation ou de maintien dans ces zones.

La carte peut servir d'outil de sensibilisation à la nécessité de préserver les terres agricoles et d'orienter les stratégies de durabilité de la wilaya de Tlemcen.

3.3.2.5. Carte de bâtis ayant impacté les terres agricoles et les prairies

La cartographie des bâtis ayant impacté les terres agricoles et les prairies représente une étape clé pour identifier et répartir la perte d'usage culturel des terres agricoles et des

prairies dans la wilaya de Tlemcen. Ça permet de localiser où se sont implantées les surfaces productives converties en usage du sol sous la pression démographique et urbaine.

3.3.2.5.1. Définition

La carte des bâtis ayant impacté les terres agricoles et les prairies est une carte géospatiale qui montre les constructions ; cette dernière construite sur les espaces naturels ou culturels. Elle illustre les coins disparus des terres agricoles et prairies à cause de l'urbanisation non maîtrisée. C'est une aide pour comprendre la séparation des espaces productifs, l'échange de l'utilisation du sol, et les sociétés alimentaires et la destruction des écosystèmes.

3.3.2.5.2. Objectifs

Les objectifs de cette carte sont les suivants :

- Pointer les bâtiments construits sur les anciennes terres agricoles et les prairies.
- Situer les dimensions et le rythme du durcissement.
- Mettre en évidence les zones critiques nécessitant des actions pour protéger les terres agricoles.
- Fournir les données nécessaires pour des politiques de gestion durable et de conservation des ressources naturelles.

3.3.2.5.3. Techniques de réalisation

La procédure suivie pour la réalisation de cette carte contient plusieurs étapes :

1. L'accès aux données des terres agricoles et les prairies

Nous avons produit un polygone de terres agricoles et de prairies utilisant le plan d'occupation du sol produit à différentes dates (1985, 1995, 2005, 2015, 2025).

2. L'accès aux données des bâtis

Les bâtis de la wilaya de Tlemcen ont été extraits des empreintes des bâtiments de Microsoft et consultés avec Google Earth Engine, soutenus par la numérisation manuelle ou les produits dérivés.

3. Superposition spatiale

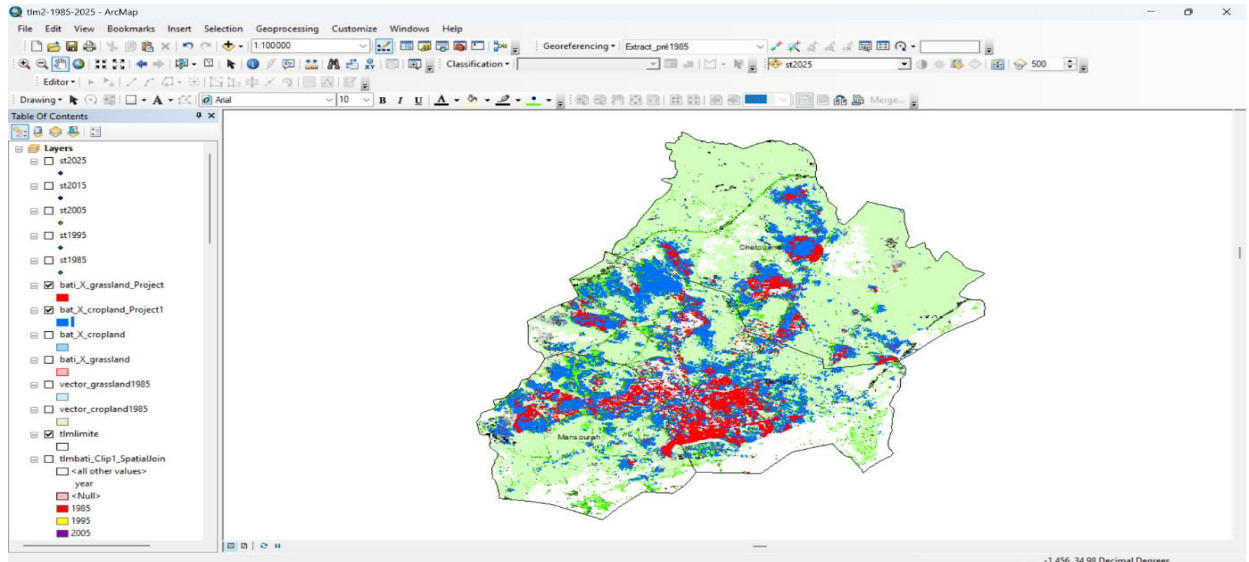
À l'aide de l'outil Spatial Join sous ArcGIS, nous avons opposé spatialement :

- Les polygones de bâtis digitalisés.

- Les surfaces agricoles et prairies extraites.

Le but est alors d'identifier tout bâtiment situé sur des terrains jadis des terres naturelles.

Figure 3-10 : Exemple sur la superposition spatiale



4. Analyse temporelle

Sur la base des années de classification, nous avons attribué à chaque bâti une date approximée d'apparition, pour pouvoir voir :

- Comment l'urbanisation a progressé sur les terres naturelles.
- Quand la conversion a été particulièrement rapprochée.

5. Production finale de la carte

La carte finale présente :

- Les lieux des bâtiments construits sur de vieilles terres agricoles et prairies.
- L'année d'apparition escomptée pour chaque bâtiment.
- Les endroits géographiques où la pression est urbaine.

Il s'agit d'un outil de base incontestable pour la stratégie de protection des terres et de lutte contre la mauvaise urbanisation.

3.3.2.6. Carte des îlots de chaleur urbains (ICU jour)

La carte des îlots de chaleur urbaine jour (ICU jour) est importante pour visualiser comment l'urbanisation affecte les températures locales dans la wilaya de Tlemcen. Elle

montre les zones où la chaleur est concentrée en raison de la densité des bâtiments, du manque de végétation et des matériaux utilisés en milieu urbain.

3.3.2.6.1. Définition

Un îlot de chaleur urbain est une région où la température urbaine est significativement plus élevée que les régions environnantes.

Le ICU est dû à :

- La concentration de bâtiments et d'infrastructures.
- L'imperméabilisation du sol par le bitume ou le béton.
- Le faible taux de végétation.
- L'accumulation de chaleur par les matériaux urbains durant la journée et sa libération durant la nuit.

Cartographier les ICU est censé visualiser l'urbanisation de la localité et aider à lutter contre l'ICU par des jardinets, mode de construction, etc.

3.3.2.6.2. Objectifs

- Identifier les régions urbaines durement touchées par la chaleur,
- Classer les zones en température normale, modérée et élevée,
- Analyser la variation d'ICU jour durant une période de 24 ans, de 2000 à 2024,
- Aider à planifier la construction pour minimiser les effets du changement climatique local,
- Suggérant des méthodes d'intervention durant les périodes de chaleur.

3.3.2.7. Relation entre les îlots de chaleur urbains (ICU jour) et les terres agricoles

L'inclusion des cartes des îlots de chaleur urbains jour (ICU jour) dans cette étude ne se limite pas à la seule visualisation des zones chaudes urbaines : elle répond à un objectif stratégique plus large. En effet, ces cartes permettent de comprendre comment l'urbanisation croissante affecte les terres agricoles et comment le manque de ces dernières augmente les températures, en particulier dans les zones périurbaines de la wilaya de Tlemcen.

Avec l'expansion urbaine, de nombreuses surfaces agricoles sont progressivement transformées en zones bâties. Ce phénomène entraîne :

- Une **augmentation locale de la température** due à la disparition de la végétation,
- Une **imperméabilisation des sols** qui réduit l'évapotranspiration naturelle,
- Une **accumulation de chaleur** par les matériaux urbains (asphalte, béton),
- Une **perte de résilience climatique** des zones anciennement agricoles.

Ainsi, les cartes des ICU permettent de visualiser la pression thermique exercée par l'urbanisation sur les terres agricoles. Elles révèlent que certaines zones historiquement agricoles afficheront désormais des températures similaires à celles des noyaux urbains, ce qui confirme une transformation physique et thermique du paysage.

Pourquoi ces cartes ont-elles été ajoutées à l'étude ?

1. **Mettre en évidence les effets indirects de l'urbanisation sur les terres agricoles :**
Les ICU sont un indicateur spatial indirect mais puissant de l'artificialisation des sols.
2. **Appuyer l'analyse de la régression agricole :**
En croisant les cartes de l'occupation du sol avec celles des ICU, il est possible de quantifier les pertes de surfaces agricoles soumises à un stress thermique croissant.
3. **Identifier les zones critiques à préserver :**
Les cartes permettent de cibler les zones agricoles menacées par l'extension thermique urbaine, pour prioriser les mesures de protection (zones tampons, ceintures vertes, agriculture urbaine, etc.).
4. **Soutenir la planification territoriale durable :**
Comprendre la dynamique spatiale des ICU renforcer les outils de planification urbaine et agricole, en orientant les choix d'aménagement vers une meilleure résilience climatique.
5. **Démontrer le rôle des terres agricoles et des espaces verts dans la régulation thermique :**

Les cartes mettent en évidence l'effet modérateur des terres agricoles et des espaces verts sur les températures, en contraste avec les zones urbanisées marquées par des îlots de chaleur urbains (ICU). Cela souligne leur importance pour atténuer les contraintes thermiques et favoriser un environnement plus tempéré.

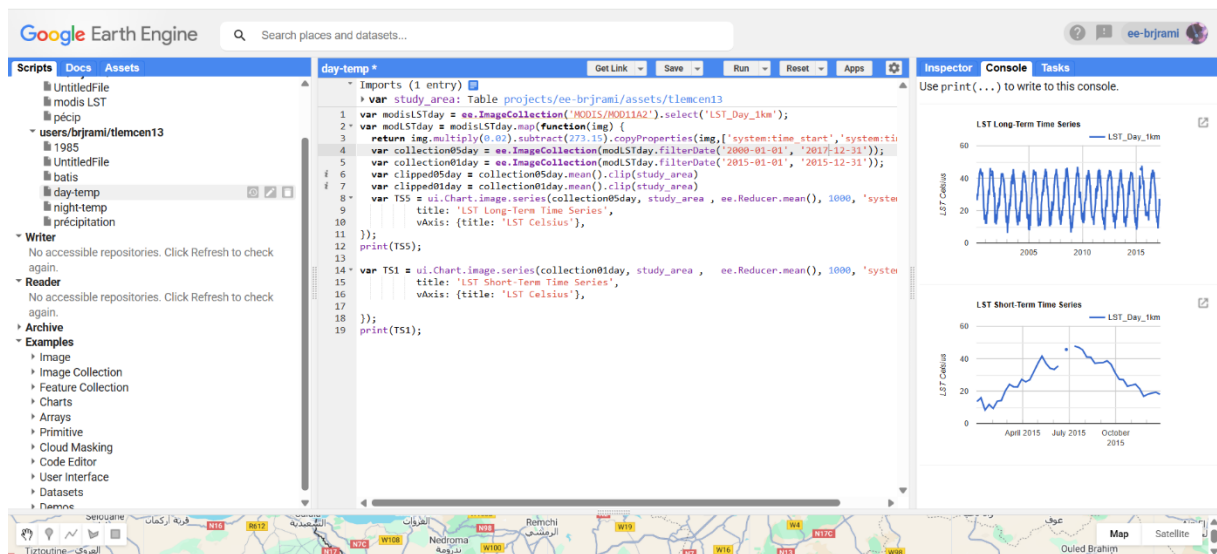
3.3.2.8. Technique de réalisation

La réalisation de la carte des ICU s'est déroulée dans l'ordre suivant :

1. Téléchargement des données MODIS

Les données de température de surface terrestre ou Land Surface Temperature ont été récoltées du capteur MODIS (MOD11A1 – Version 61) via Google Earth Engine et Earthdata (NASA). La période d'étude s'étale entre 2000 et 2024 pour une analyse pluriannuelle.

Figure 3-11 : Exemple sur les téléchargements des images MODIS avec GEE



2. Prétraitement

Prétraitement des images dans le logiciel ArcGIS et GEE pour :

- Le choix des zones caractérisées par les fortes chaleurs,
- La correction des anomalies ou des valeurs nulles apparentes qui indiquent la présence des nuages,
- L'extraction de la température de surface en °C

Figure 3-12 : Exemple sur l'image MODIS pour calculer les ICU

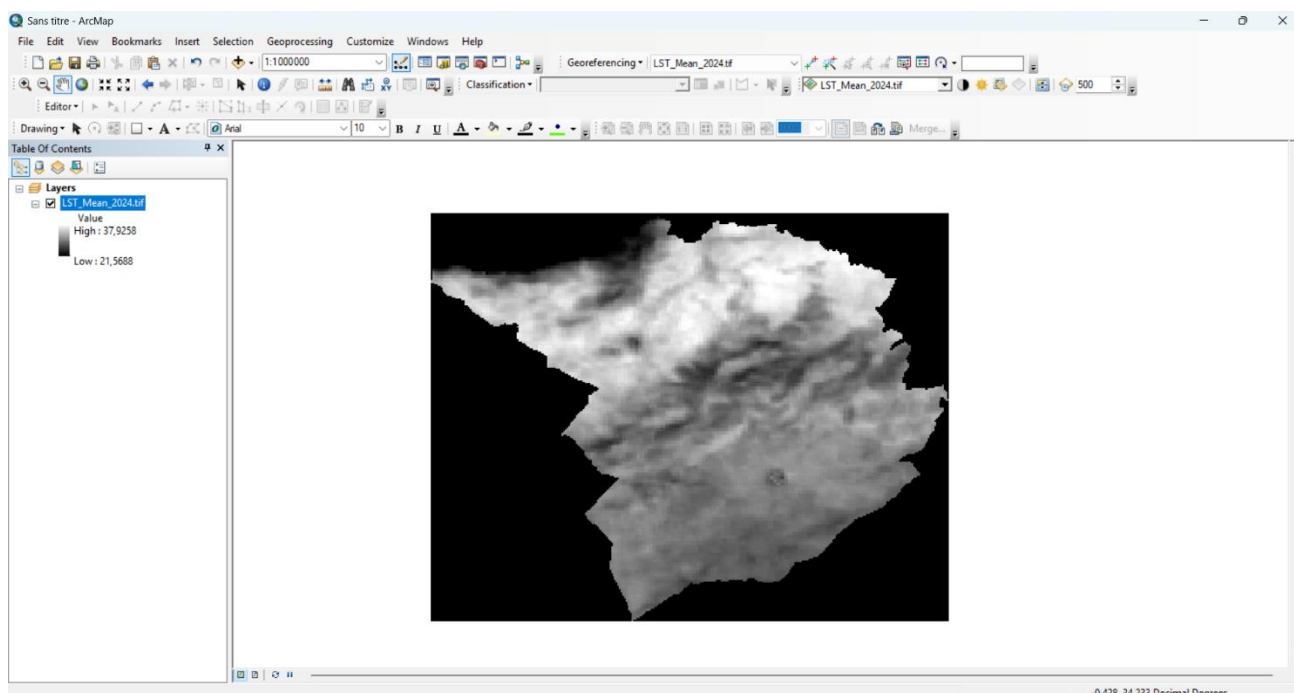
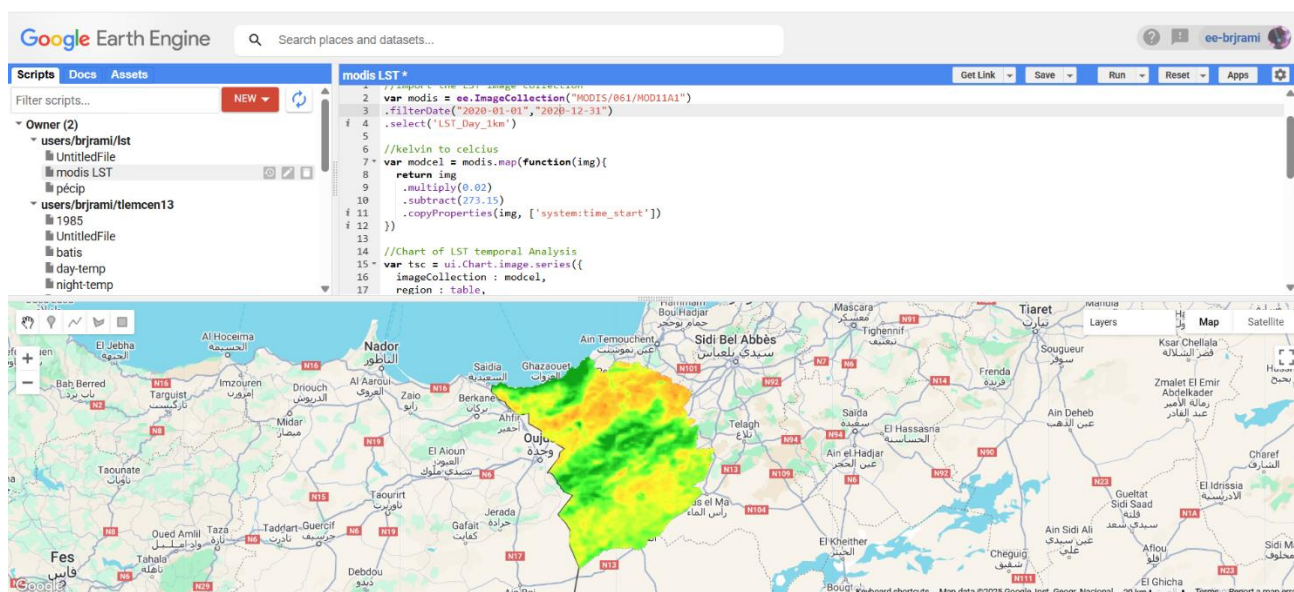


Figure 3-13 : Exemple sur l'image MODIS pour visualiser les températures avec GEE

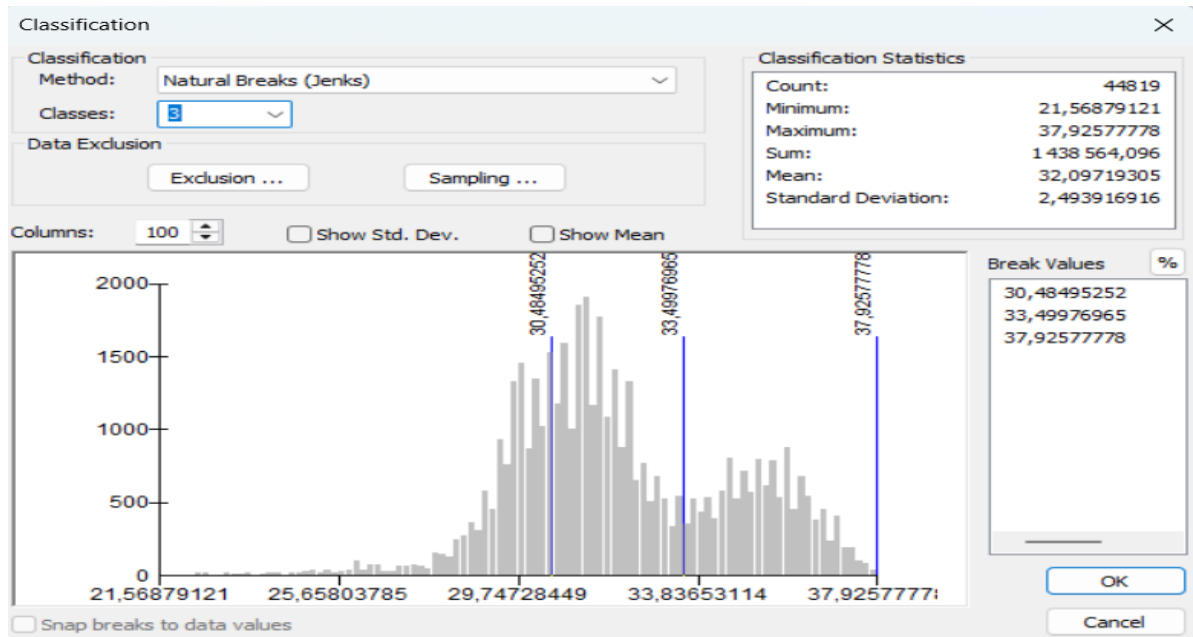


Calculs

Pour chaque image on obtient :

- Les températures moyennes des zones rurales utilisées comme référence,
- Les températures urbaines par rapport aux référentiels,
- Les différences établies permettant par identification des ICU.

Figure 3-14 : Exemple sur les statistiques de classification d'une image MODIS



Cette figure représente les statistiques de classification où le count représente le nombre total de pixels dans la zone sélectionnée (ici 44 819 pixels). Chaque pixel représente une mesure de température jour de la surface (LST), le minimum et le maximum représente la température minimale et maximale, le mean représente la température moyenne (ici 32.09) et standard deviation représente l'écart-type (dans cet exemple 2,49 °C), ce qui indique la variabilité des températures autour de la moyenne. Plus cette valeur est élevée, plus la température varie dans la zone. Donc pour déterminer les zones où il y a un ICU on suit les calculs suivants :

$$\text{minimum} < \text{température normale} < \text{mean}$$

$$\text{mean} < \text{température modérée} < \text{mean} + \text{standard deviation}$$

$$\text{mean} + \text{standard deviation} < \text{ICU} < \text{maximum}$$

Exemple de calcul :

$$21,57 < \text{température normale} < 32,10$$

$$32,10 < \text{température modérée} < 32,10 + 2,49$$

$$32,10 + 2,49 < \text{ICU} < 37,93$$

Donc les zones où la température est entre 21,57 et 32,10 c'est une température normale, les zones où la température est entre 32,10 et 34,59 est une température modérée et les zones où la température est entre 34,59 et 37,93 est une température élevée et il y a un ICU.

La méthode est basée sur la classification de température en trois catégories :

- **La température jour normale** : voisinage de la température moyenne de référence,
- **La température jour modérée** : légère élévation par rapport à la moyenne,
- **La température jour élevée** : en forte augmentation, conséquent avec l'aspect des îlots de chaleur.

Ces classes ont été réalisées à partir de l'outil Reclassify dans ArcGIS.

3. Cartographie finale

Les cartes établies présentent :

- La répartition spatiale de la température jour,
- L'évolution des ICU à travers les années,
- Les zones urbaines les plus touchées.

Ces derniers sont essentiels pour le diagnostic des impacts de l'urbanisation du microclimat et pour le choix des adaptations à promouvoir.

3.4. Conclusion

Ce chapitre a permis d'éclairer les dynamiques spatiales et environnementales liées à l'urbanisation de la wilaya de Tlemcen, en soulignant les interactions complexes entre expansion urbaine, préservation des terres agricoles et équilibres climatiques. Les études internationales analysées (Égypte, Malaisie, Pakistan) ont servi de cadre de référence pour contextualiser les enjeux locaux, confirmant que l'artificialisation des sols et la régression des espaces naturels sont des phénomènes globaux aux conséquences similaires : fragmentation des écosystèmes, réchauffement localisé et tensions sur les ressources.

L'approche géospatiale, combinant télédétection, SIG et données satellitaires, a révélé des tendances alarmantes : l'étalement urbain progresse de manière disproportionnée, empiétant sur des zones autrefois dédiées à l'agriculture ou à la prairie, tandis que les îlots de chaleur urbains se densifient, particulièrement dans les centres urbanisés. Ces résultats mettent en avant le rôle crucial de la végétation comme régulateur thermique et la nécessité de repenser l'aménagement territorial pour limiter la pression sur les sols fertiles.

Les cartes thématiques produites (occupation des sols, évolution urbaine, ICU) offrent une base visuelle et analytique pour guider les décideurs. Elles soulignent l'urgence d'intégrer des stratégies de planification durable, alliant contrôle de l'expansion périphérique, renforcement des ceintures vertes et valorisation des terres agricoles à haute valeur écologique. La convergence des outils technologiques modernes et des politiques territoriales pourrait ainsi atténuer les impacts socio-environnementaux tout en répondant aux besoins de développement.

Cette étude ouvre la voie à des recherches futures approfondies, notamment sur les dimensions socio-économiques de l'urbanisation, les mécanismes de résilience climatique ou la participation communautaire dans la gestion des terres. Elle rappelle que la préservation des équilibres naturels et agricoles n'est pas seulement une question technique, mais un impératif éthique et collectif pour les générations actuelles et futures.

CHAPITRE IV

Résultats – Cartes LULC, impacts de
l'urbanisation, ICU, EVAP à Tlemcen

4.1. Introduction

L'analyse des cartes thématiques présentée dans ce chapitre constitue une étape clé pour comprendre les transformations de l'occupation et de la couverture des sols dans la wilaya de Tlemcen sur une période de quarante ans, de 1985 à 2025. À travers une approche cartographique et quantitative, ce travail met en évidence les dynamiques territoriales qui redessinent le paysage régional, marquées par une urbanisation accélérée, une réduction des terres agricoles et des prairies, ainsi qu'une intensification des îlots de chaleur urbains. Ces évolutions, influencées par des facteurs démographiques, socio-économiques et politiques, reflètent les défis environnementaux et sociaux auxquels la région est confrontée.

Les cartes thématiques, incluant les analyses de l'occupation du sol (LULC), de l'évolution urbaine, des interactions entre les zones bâties et les espaces agricoles ou naturels, ainsi que des îlots de chaleur urbains (ICU), offrent une lecture visuelle et analytique des mutations du territoire. Elles permettent d'identifier les tendances majeures, telles que l'expansion des surfaces imperméabilisées au détriment des terres cultivables et des écosystèmes pastoraux, ou encore l'aggravation des phénomènes thermiques urbains. Ces observations soulignent l'urgence de repenser les stratégies d'aménagement pour concilier développement urbain et préservation des ressources naturelles.

Ce chapitre vise à fournir une base solide pour une planification territoriale durable, en proposant une synthèse des dynamiques observées et en mettant en lumière les enjeux critiques. En combinant des outils cartographiques, des analyses statistiques et des méthodes de calcul rigoureuses, cette étude cherche à outiller les décideurs et les acteurs locaux dans la formulation de politiques foncières et environnementales adaptées. Ainsi, elle contribue à une réflexion plus large sur la résilience des territoires face aux pressions anthropiques et climatiques, tout en posant les jalons pour des actions concrètes visant à préserver la sécurité alimentaire, la biodiversité et le bien-être des populations.

4.2 Cadre spatial de l'étude

La wilaya de Tlemcen est située dans le nord-ouest de l'Algérie à proximité des frontières marocaines, elle s'étend sur une superficie de 9061 km². Grâce à sa position stratégique cette wilaya représente un carrefour entre les zones sahariennes, les Hauts Plateaux et les régions littorales ce que signifie qu'elle a une influence importante sur l'économie et le social.

Tlemcen est composée de 20 daïras et 53 communes où on trouve que l'agriculture dans la plus parts des daïras de la wilaya joue un rôle crucial dans l'économie locale grâce à la disponibilité des terres cultivables pour les céréales, les arbres fruitiers et les légumes. Cependant l'évolution de l'urbain particulièrement dans le grand Tlemcen et d'autres centres tels que Maghnia, Ghazaouet et Remchi provoque une pression sur les terres agricoles. Ce phénomène qui est phénomène mondial soulève des problématiques liées à la durabilité, à la gestion foncière et à la conservation des zones rurales.

En raison de la grande diversité territoriale qu'elle présente, l'étude a porté sur l'ensemble de la wilaya afin de prendre en compte la pluralité de ses dynamiques spatiales. Plusieurs zones d'intérêt ont ainsi été ciblées à travers la wilaya, en tenant compte des territoires à forte pression urbaine ainsi que des espaces agricoles à haute valeur. L'objectif est de comprendre les interactions entre l'urbanisation croissante et la régression des terres agricoles, dans un contexte de développement territorial souvent déséquilibré.

L'adaptation des SIG et de la télédétection a permis d'analyser ces zones de manière approfondie, en utilisant les images satellitaires, les informations géographiques, les données climatiques et topographiques. Cette méthode intégrée a permis une évaluation spatiale exhaustive, cohérente et scientifiquement rigoureuse de la zone d'étude.

Figure 4-1 : Situation géographique et répartition administrative de la wilaya de Tlemcen (Auteur)

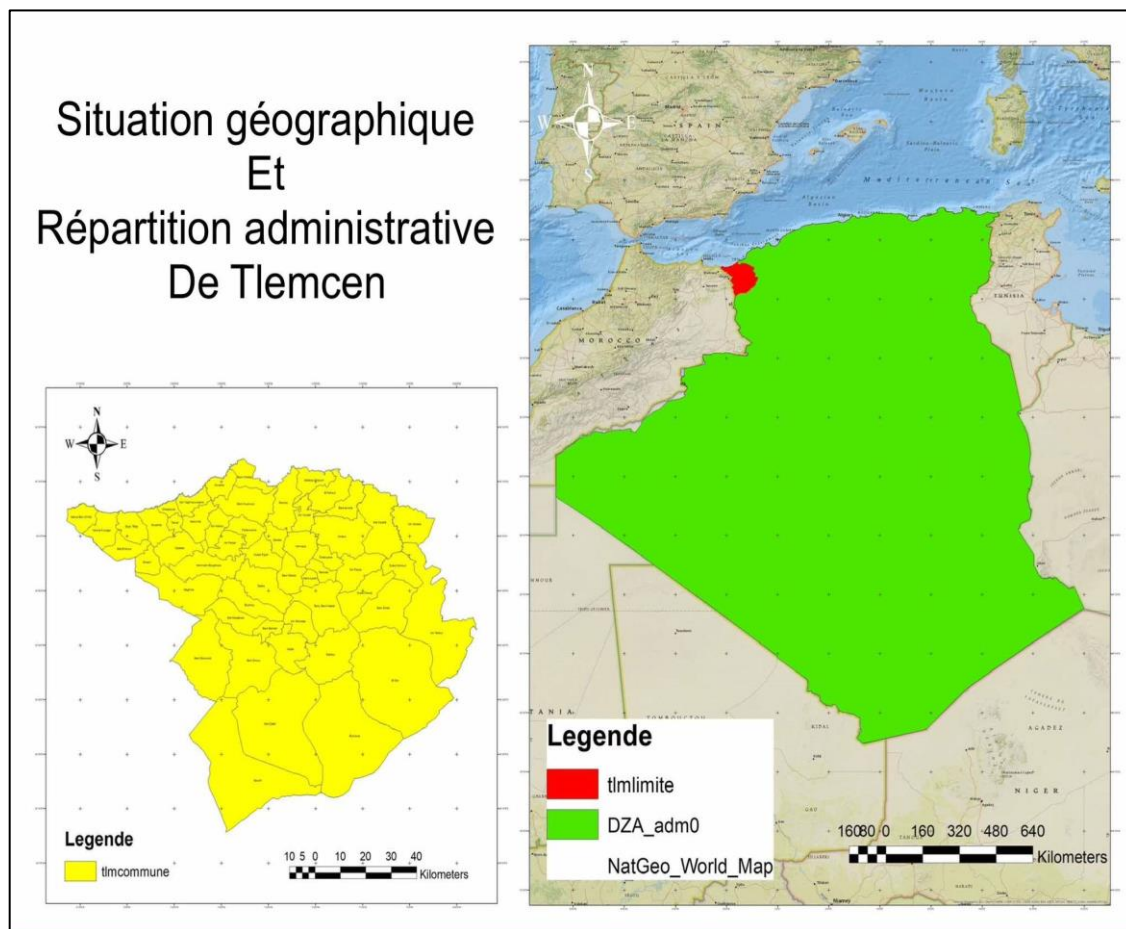
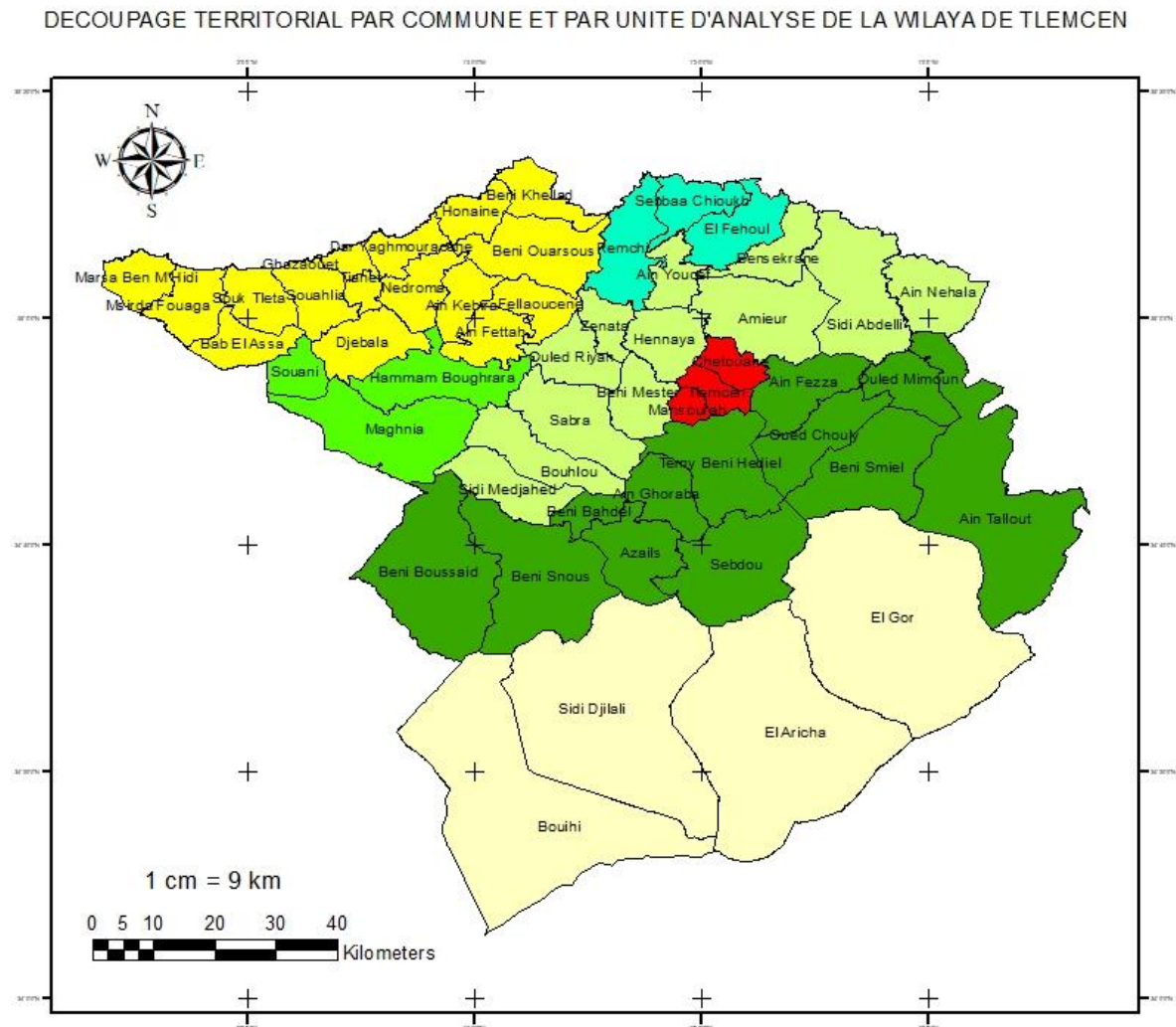


Figure 4-2 : Découpage territorial par commune et par unité d'analyse de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



Légende

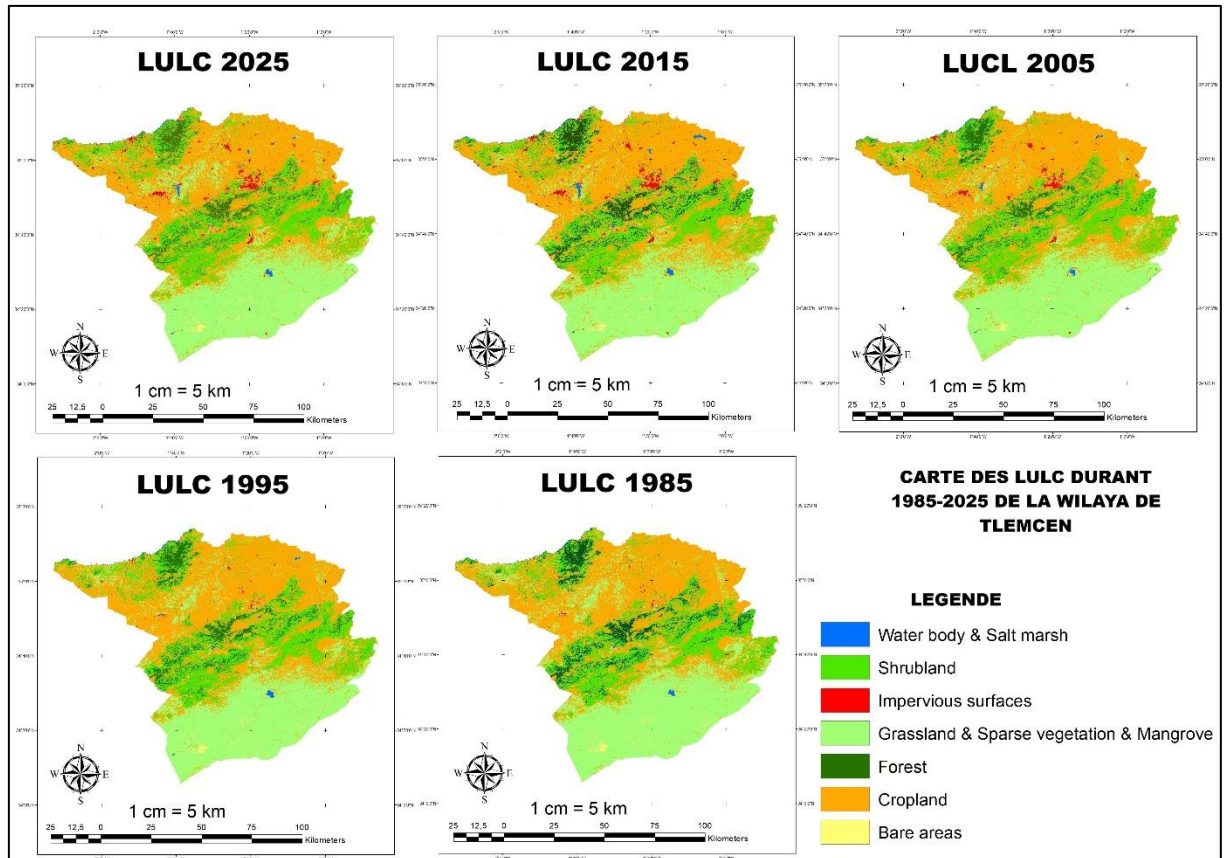
- mont_de_traras
- mont_de_sebaa_chioukh
- zone_steppique
- grand_tlemcen
- monts_de_tlemcen
- plaine_et_plateau_interieurs
- plaine_de_maghnia

4.3 Analyse des cartes thématiques

4.3.1 Carte d'occupation et de couverture du sol

4.3.1.1 Présentation des cartes LULC

Figure 4-3 : Cartes des LULC 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



Cette figure représente une série chronologique des classes LULC, illustrant l'évolution et les changements d'occupation et la couverture des sols dans la wilaya de Tlemcen durant 40 ans de 1985 à 2025. On constate qu'en 1985 la majorité du territoire était équipée par les terres agricoles (*cropland*) et les prairies (*grassland*) qui constituaient les classes dominantes.

Entre 1985 et 2015 on remarque qu'il y a une augmentation progressive des surfaces agricoles, avant que cette dynamique s'inverse en 2025 où on voit qu'il y a une expansion des zones urbaines (*impervious surfaces*) accompagnée d'une réduction des terres agricoles (*cropland*). Cette urbanisation est également associée à une réduction des prairies et des plans d'eau (*water bodies*), illustrant un changement radical de l'utilisation du sol au fil des quatre dernières décennies.

4.3.1.2 Analyse quantitative

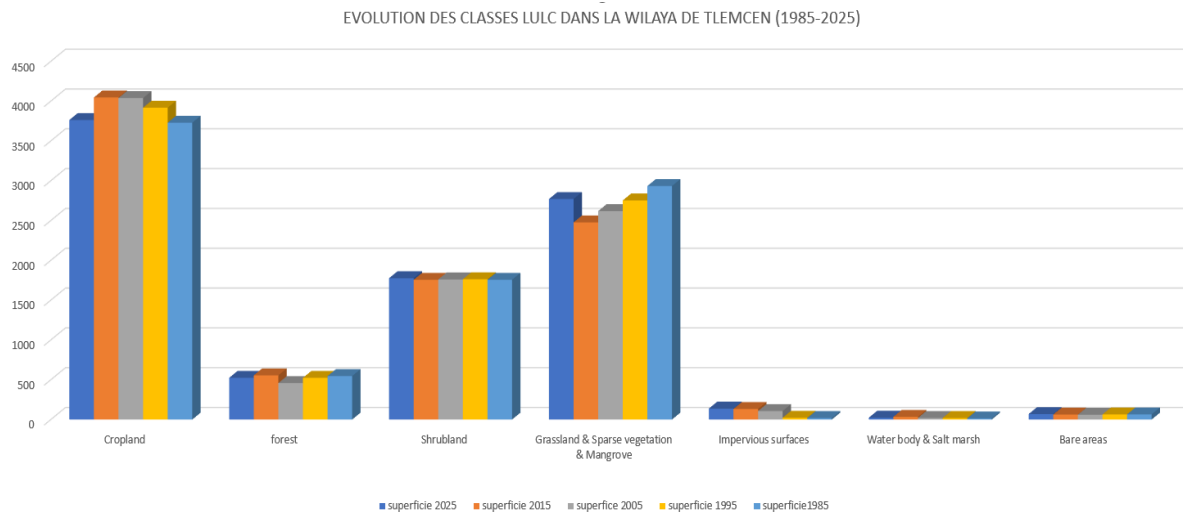
Tableau 4-1 : Superficie de chaque classe LULC en km² durant les quarante années de la wilaya de Tlemcen

Classe	1985	1995	2005	2015	2025
Cropland	3728,40	3917,16	4038,71	4045,63	3762,19
Forest	546,48	524,20	458,18	555,34	524,18
Shrubland	1755,79	1762,56	1760,15	1755,28	1775,73
Grassland & Sparse vegetation	2933,26	2752,45	2618,42	2476,46	2770,31
Impervious surfaces	19,06	22,88	106,66	133,06	137,92
Water body & Salt marsh	14,33	18,84	19,94	33,17	22,99
Bare areas	64,90	64,14	60,15	63,28	68,89

Ce tableau présente l'évolution des surfaces des différentes classes des LULC exprimées en km² dans la wilaya de Tlemcen, sur la période 1985-2025. On observe que les terrains agricoles (*cropland*) ont atteint un pic de 4045,63 km² en 2015 ou ils ont enregistré une croissance de +8,5% depuis 1985 suivi d'une démunissions de -7 % en 2025. Les surfaces bâties (*Impervious surfaces*) ont connu une évolution remarquable, avec une augmentation de +623,61% durant les 40 années, avec une accélération marquée de 247% entre 1995 et 2005. Les plans d'eau (*Water body*) ont connu une augmentation de 131,47% entre 1985 et 2015 passant de 14,33 km² à 33,17 km², suivis d'une perte de -30.69% en 2025. Ces évolutions traduisent des dynamiques territoriales contrastées, dominées par l'intensification de l'urbanisation et la reconfiguration progressive des milieux naturels.

4.3.1.3 Histogramme de classification

Figure 4-4 : Histogramme de l'évolution des classes LULC dans la wilaya de Tlemcen (Auteur)

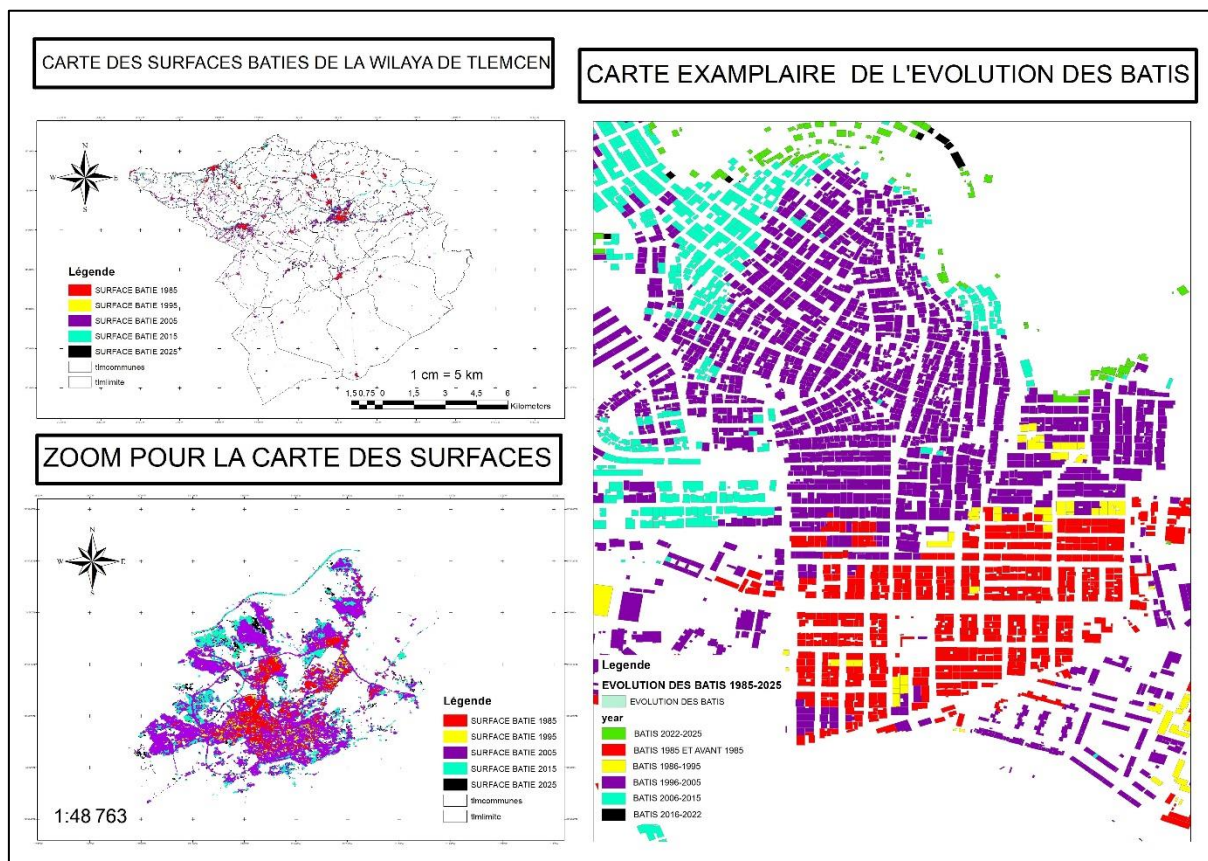


Cet histogramme représente l'évolution des surfaces des différentes classes des LULC en km² dans la wilaya de Tlemcen. Chaque classe LULC (terres agricoles, forêts, prairies, surfaces imperméables, etc.) est représentée par un groupe de barres, ces barres sont colorées pour indiquer les superficies correspondantes pour chaque année d'étude (1985, 1995, 2005, 2015, 2025). Ce graphique aide à la comparaison visuelle des variations dans le temps et de détecter les tendances majeures telles que l'expansion urbaine, la réduction des prairies ou la modification des zones agricoles.

4.3.2 Carte de l'évolution urbaine 1985-2025

4.3.2.1 Présentation des cartes d'évolution urbaine

Figure 4-5 : Carte de l'évolution des surfaces bâties chaque dix ans de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



Cette figure représente trois cartes complémentaires permettant de visualiser et analyser l'évolution spatio-temporelle des surfaces bâties entre 1985 et 2025 dans la wilaya de Tlemcen. La première carte en haut sur la gauche représente l'évolution des surfaces bâties entre 1985 et 2025, aussi elle montre la répartition temporelle des constructions à l'échelle de l'ensemble de la wilaya. On constate qu'il y a une extension progressive et significative des zones urbaines, surtout dans le début des années 2000, indiquant une accélération de l'activité de construction, qui peut être due à la croissance démographique, à la pression sur le marché foncier ou à la relance des projets d'urbanisme après la période de la décennie noire.

La deuxième carte en bas à gauche représente une version agrandie de la première la carte, focalisée sur la l'expansion urbaine du grand Tlemcen. Elle offre une visualisation plus détaillée de l'accroissement du tissu urbain et l'expansion des zones urbaines en périphérie.

La dernière carte représente un exemple de l'évolution des bâtis d'un secteur urbain situé dans la commune de Chetouane. Grâce à un code couleur précis, elle permet de visualiser les années de construction des différentes structures, offrant ainsi une lecture claire et détaillée de la dynamique d'urbanisation locale. Ce découpage temporel met en évidence une succession de phases d'extension (1985 et avant, 1986-1995, 1996-2005, 2006-2015, 2016-2022, 2022-2025), qui révèle une croissance spatiale progressive du tissu urbain.

4.3.2.2 Analyse quantitative

Tableau 4-2 : Evolution urbaine des surfaces bâties en pourcentage de la wilaya de Tlemcen

Période	Superficie urbaine (km²)	Taux de croissance annuel	Évolution (%)
1985–1995	19,06 → 22,88	+1,9 %/an	+20 %
1995–2005	22,88 → 106,66	+16,7 %/an	+366 %
2005–2015	106,66 → 133,06	+2,2 %/an	+24,7 %
2015–2025	133,06 → 137,92	+0,36 %/an	+3,7 %
Global (1985–2025)	19,06 → 137,92	+6,24 %/an	+624 %

Ce tableau montre comment la superficie urbaine de la wilaya de Tlemcen a beaucoup changé entre 1985 et 2025, illustrant des tendances d'urbanisation variées au fil du temps. De 1985 à 1995, la croissance est restée assez lente, avec une augmentation de 20 % (passant de 19,06 à 22,88 km²), ce qui correspond à une hausse annuelle de 1,9 %. Cela reflète une urbanisation douce, surtout dans un cadre où les tensions économiques et sociales étaient présentes. Ensuite, entre 1995 et 2005, on observe une véritable explosion urbaine avec une hausse de 366 %, atteignant 106,66 km² (+16,7 % par an). Cela a probablement été favorisé par un regain de construction après les années de la décennie noire, une forte demande pour

des logements, et des changements dans la réglementation foncière. Cependant, entre 2005 et 2015, cette tendance se calme, avec une augmentation de 24,7 % (pour un total de 133,06 km²) et un rythme de croissance plus raisonnable de 2,2 % par an, ce qui laisse entrevoir une stabilisation de la structure urbaine existante. Entre 2015 et 2025, une stagnation de la croissance urbaine est observée, avec une augmentation modeste de 3,7 % correspondant à 137,92 km². Ce phénomène est caractérisé par un taux annuel de croissance très faible de 0,36 %, ce qui indique une saturation progressive des zones urbanisables ainsi qu'un recentrage sur la densification des espaces existants. En revanche, sur la période de quarante ans analysés, la superficie urbaine a été multipliée par plus de sept, atteignant une augmentation de 624 %. Ce changement substantiel est accompagné d'un taux moyen de croissance annuelle de 6,24 %, illustrant une transformation rapide et significative du paysage urbain au sein de la région.

4.3.2.3 Méthode de calcul

Le taux de croissance annuel composé CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) est une formule utilisée dans la mesure financière et statistique standard pour le calcul du taux de croissance moyen annuel d'une grandeur sur une période donnée.

$$CAGR (\%) = \left(\left(\frac{SUPERFICIE FINALE}{SUPERFICIE INITIALE} \right)^{\frac{1}{Nombre d'années}} - 1 \right) \times 100$$

Exemple pour 1995–2005 :

- Superficie initiale (1995) = 22,88 km²
- Superficie finale (2005) = 106,66 km²
- Nombre d'années = 10 ans

$$CAGR (\%) = \left(\left(\frac{106.66}{22.88} \right)^{\left(\frac{1}{10}\right)} - 1 \right) \times 100 = 16,7\% \text{ par an}$$

Pour le calcul de l'évolution en pourcentage on a utilisé la formule suivante :

$$EVOLUTION (\%) = \left(\frac{SUPERFICIE FINALE - SUPERFICIE INITIALE}{SUPERFICIE INITIALE} \right) \times 100$$

Exemple pour 1985–1995 :

- Superficie initiale (1985) = 19,06 km²

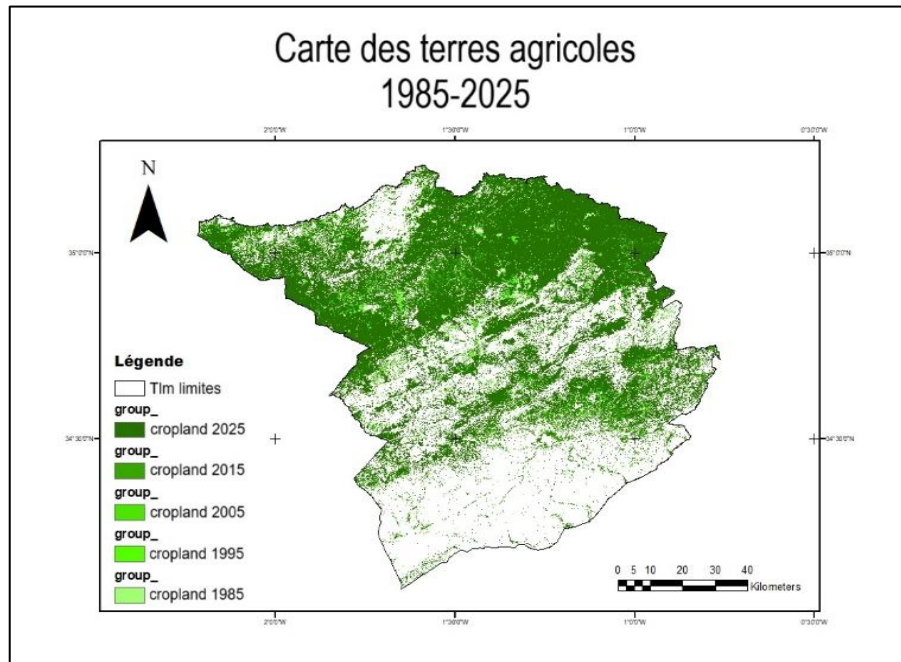
- Superficie finale (1995) = 22,88 km²

$$EVOLUTION (\%) = \left(\frac{22.88 - 19.06}{19.06} \right) \times 100 = 20\%$$

4.3.3 Carte des terres agricoles et des prairies

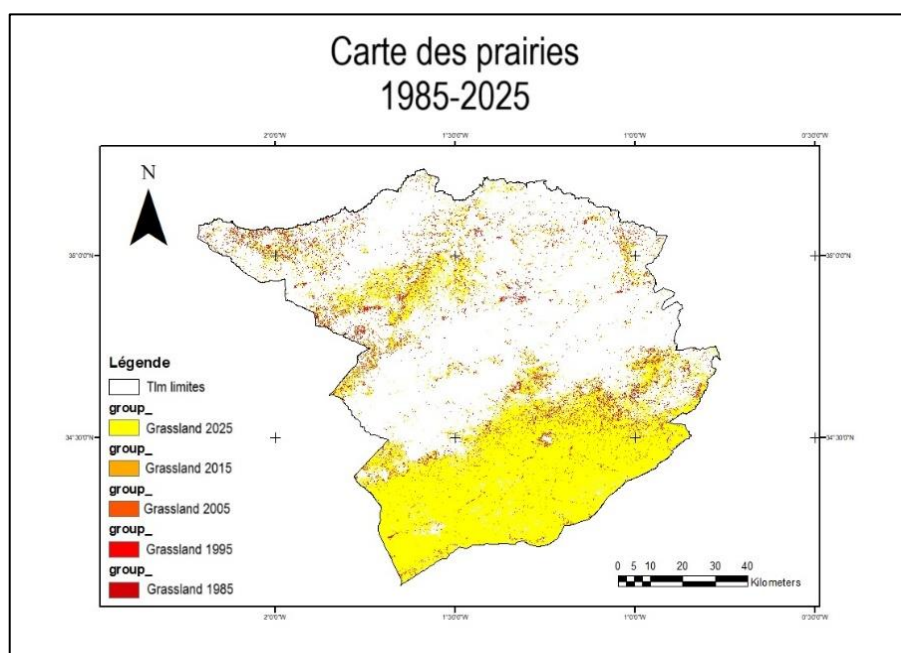
4.3.3.1 Présentation de la carte des terres agricoles

Figure 4-6 : Carte des terres agricoles 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



4.3.3.2 Présentation de la carte des prairies

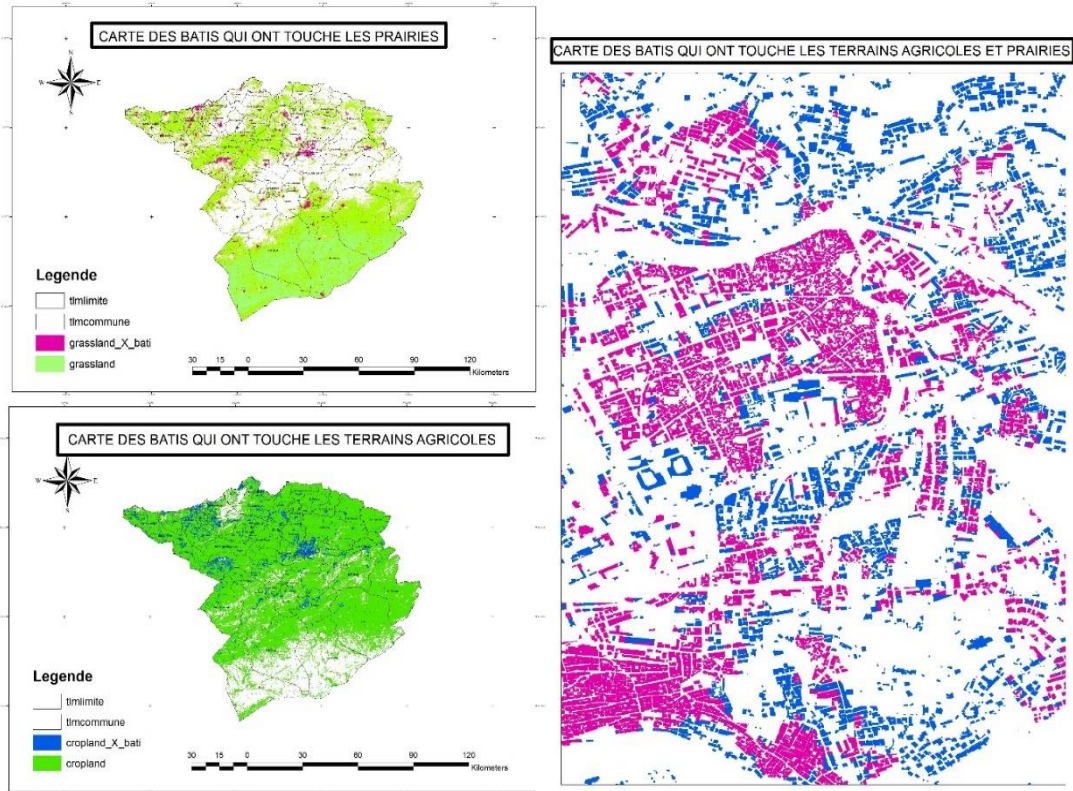
Figure 4-7 : Carte des prairies 1985-2025 de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



4.3.4 Carte des bâtis ayant impacté les terres agricoles et prairies

4.3.4.1 Présentation de la carte des bâtis ayant impacté les terres agricoles et prairies

Figure 4-8 : Carte des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies (Auteur)



Cette figure représente trois cartes complémentaires permettant d'analyser la dynamique spatiale des interactions entre les surfaces bâties et les espaces agricoles et les prairies dans la wilaya de Tlemcen. La première carte en haut à gauche, intitulée « Carte des bâtis qui ont touché les prairies », illustre la localisation des zones bâties qui ont une interaction directe avec les prairies. On observe une répartition marquée des intersections entre prairies (en vert) et bâtis (en magenta), mettant en évidence la pression urbaine sur ces milieux naturels, particulièrement dans les zones périurbaines. Cette carte souligne l'emprise progressive des constructions sur les espaces pastoraux, ce qui pourrait indiquer une perte significative de la biodiversité et des écosystèmes associés.

La deuxième carte, en bas à gauche, intitulée « Carte des bâtis qui ont touché les terrains agricoles », met en avant les interactions entre les zones agricoles (en vert) et les surfaces bâties (en bleu). Elle révèle une dynamique spatiale similaire mais distincte : la densification du bâti se produit également dans les zones traditionnellement agricoles, ce qui

illustre un phénomène préoccupant de réduction des terres cultivables sous l'effet de l'urbanisation croissante.

La dernière carte, intitulée « Carte des bâtis qui ont touché les terrains agricoles et prairies », offre une vue détaillée à plus grande échelle d'un secteur urbain, permettant d'observer de façon précise la distribution des bâtis en interaction avec les deux types d'espaces : prairies (en magenta) et terrains agricoles (en bleu). Cette visualisation précise met en exergue la complexité des dynamiques spatiales locales et permet d'identifier les secteurs où la pression foncière est la plus forte, facilitant ainsi la planification territoriale et la mise en place de mesures de protection des terres agricoles et naturelles.

L'ensemble de ces cartes met en lumière une urbanisation progressive, souvent non planifiée, qui empiète sur des zones cruciales pour la sécurité alimentaire et l'équilibre écologique, soulignant l'urgence de politiques publiques plus strictes en matière de gestion foncière.

4.3.4.2 Analyse quantitative

Tableau 0-3 : Surface des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies en HA de la wilaya de Tlemcen

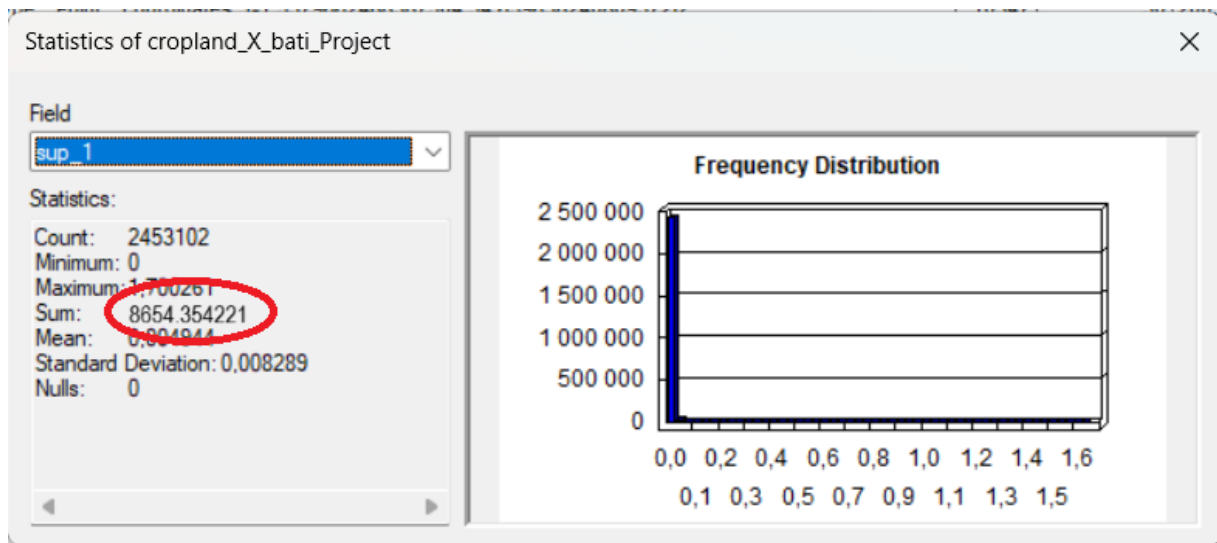
Classe impactée	Surface des bâtis	Part du total
Terres agricoles	8654 HA	72,8 %
Prairies	3232 HA	27,2 %
Total	11886 HA	100 %

Ce tableau présente la répartition des surfaces bâties en fonction des types de terrains impactés, mettant en évidence l'ampleur de l'emprise urbaine sur les terres agricoles et les prairies. Les résultats montrent que les terres agricoles sont les plus touchées, représentant 72,8 % de la surface totale des bâtis, soit 8654 HA. Cette prédominance indique une forte pression foncière sur les terres cultivables, ce qui constitue un enjeu majeur en matière de sécurité alimentaire et de durabilité des systèmes agricoles. À l'inverse, les prairies représentent 27,2 % de la surface bâtie, soit 3232 HA, témoignant également d'une

perturbation significative des écosystèmes naturels. La surface totale des bâtis atteignant 11886 HA illustre une dynamique d'urbanisation expansive qui s'accompagne d'une conversion préoccupante des espaces agricoles et naturels. Ces chiffres révèlent la nécessité d'adopter des politiques d'aménagement du territoire plus rigoureuses afin de limiter l'artificialisation des sols et préserver à la fois les ressources agricoles essentielles et les écosystèmes.

4.3.4.3 Méthode de calcul

Figure 4-9 : Résultats obtenus après la réalisation des cartes des surfaces des empiètements urbains sur les terres agricoles et les prairies



Les deux valeurs entourées en rouge indiquent les superficies des zones bâties ayant empiété sur les terrains agricoles et les prairies en HA.

1. Calcul de la somme totale des superficies des zones ayant empiété sur les terres agricoles et les prairies : $3232 + 8654 = 11886$ HA
2. Calcul de la part du totale (calcul des pourcentages) :

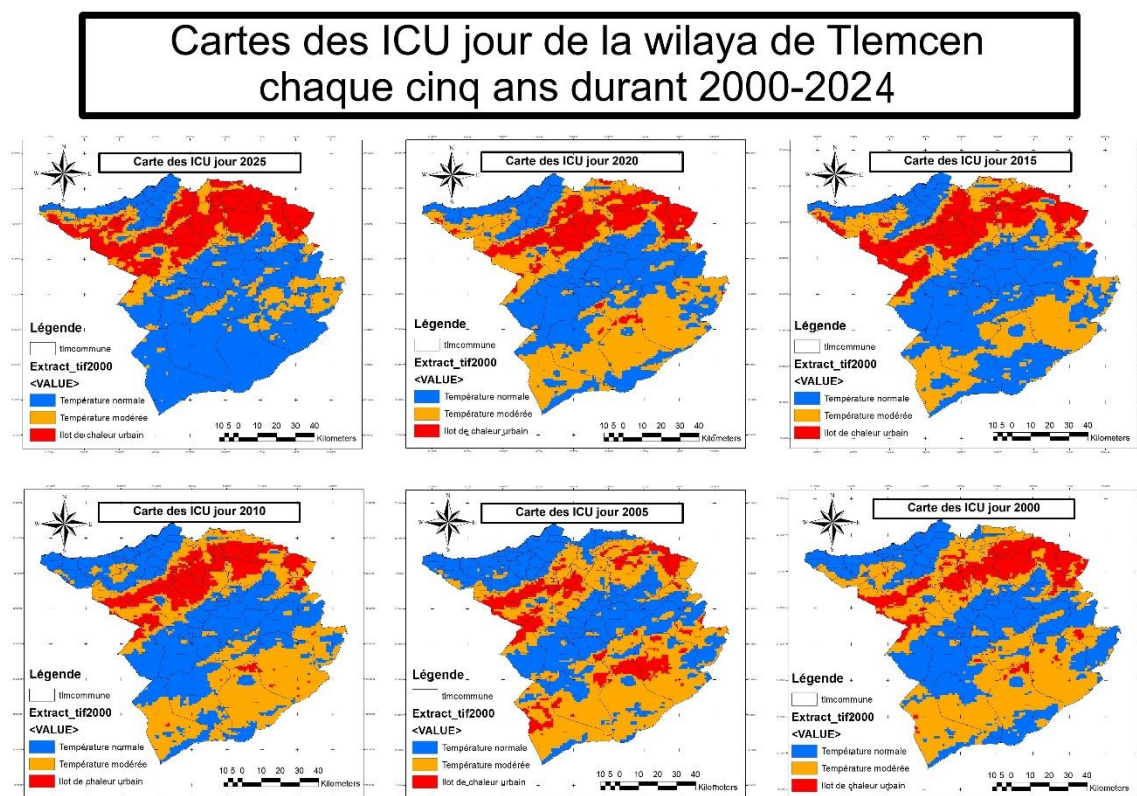
Pour les terrains agricoles : $\left(\frac{8654}{11886}\right) \times 100 = 72,80$

Pour les prairies : $\left(\frac{3232}{11886}\right) \times 100 = 27,20$

4.3.5 Carte des îlots de chaleur urbain (ICU)

4.3.5.1 Présentation des cartes ICU

Figure 4-10 : Carte d'îlot de chaleur urbain 2000-2024 de la wilaya de Tlemcen (Auteur)



Ces cartes illustrent la distribution spatiale des températures sur le territoire à différentes années (2000, 2005, 2010, 2015, 2020 et 2024), avec une classification en trois catégories : température normale (en bleu), température modérée (en orange) et îlot de chaleur urbain (en rouge).

L'analyse montre une dynamique marquée d'intensification des îlots de chaleur urbains au fil des années. En 2000, la majorité du territoire reste dominée par des zones de température normale, avec des îlots de chaleur limités principalement aux zones urbaines et densément peuplées. Toutefois, à mesure que l'on avance vers 2024, une augmentation significative des zones rouges est observable, notamment dans la partie nord et centre des cartes. Cette progression indique un phénomène d'urbanisation accrue, où la croissance urbaine, combinée à des surfaces imperméabilisées (comme le béton), amplifie l'effet d'îlot de chaleur urbain.

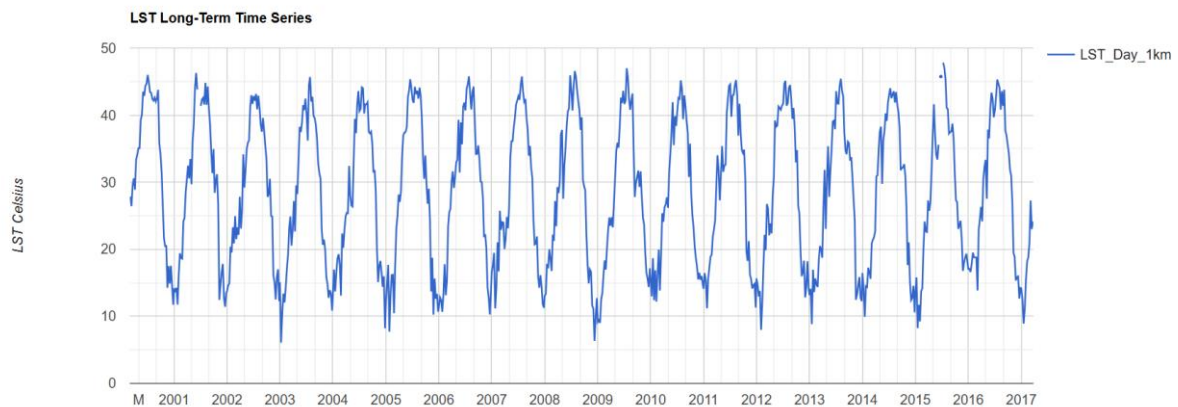
L'expansion des zones à température modérée (orange) est également notable, reflétant une transition progressive des espaces naturels vers des zones plus chaudes sous l'effet combiné de l'artificialisation des sols et du changement climatique global.

D'un point de vue spatial, la carte de 2024 témoigne d'une situation préoccupante : les zones d'îlots de chaleur urbains occupent désormais une part significative du territoire, ce qui peut entraîner des impacts écologiques et socio-économiques tels qu'une augmentation de la demande énergétique, une détérioration de la qualité de l'air et des risques sanitaires accrus pour les populations vulnérables.

Cette série cartographique met en évidence une tendance claire à la hausse des températures urbaines et semi-urbaines sur plus de deux décennies, soulignant l'importance d'adopter des stratégies d'aménagement durable (végétalisation, infrastructures vertes, matériaux réfléchissants) pour limiter l'intensification de ces îlots de chaleur urbains.

4.3.5.2 Analyse quantitative

Figure 4-11 : LST de la wilaya de Tlemcen 2000-2017 (MODIS-[MOD11A2])



Ce graphique montre l'évolution des températures de surface (LST) entre 2000 et 2017. On remarque une forte variation saisonnière, avec des températures qui montent en été jusqu'à environ 45 °C, et qui descendent en hiver autour de 10 °C, parfois moins. Ce cycle se répète chaque année, ce qui indique une régularité climatique dans la wilaya. Sur les 17 années observées, il n'y a pas de tendance claire à la hausse ou à la baisse des températures, ce qui suggère une stabilité à long terme. Toutefois, certaines années comme 2002, 2007 ou 2010 présentent des pics de chaleur un peu plus marqués. On observe aussi quelques irrégularités ou données manquantes, probablement dues à des problèmes dans la collecte satellite. En résumé, les données montrent un climat chaud avec des variations

régulières chaque année, mais sans signe évident de réchauffement ou de refroidissement sur la période étudiée.

Et pour confirmer cette analyse on a téléchargé les données suivantes :

Figure 4-12 : LST 2000 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])

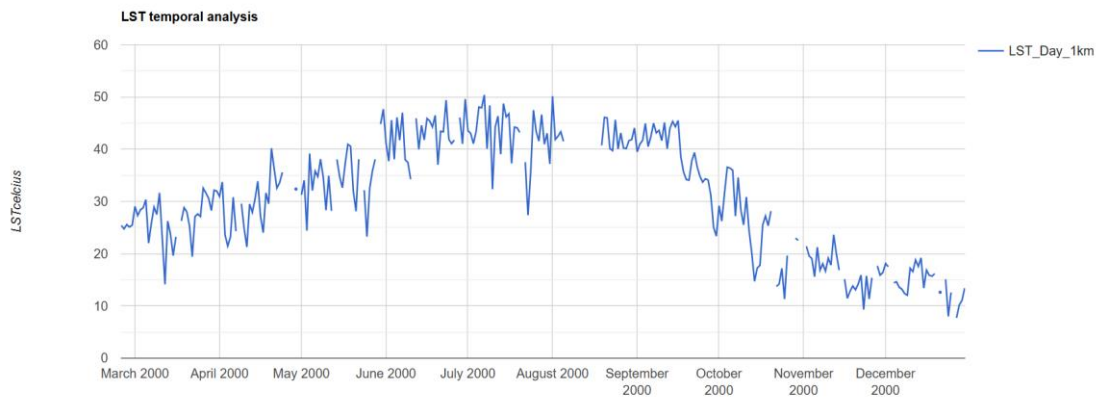


Figure 4-13 : LST 2005 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])

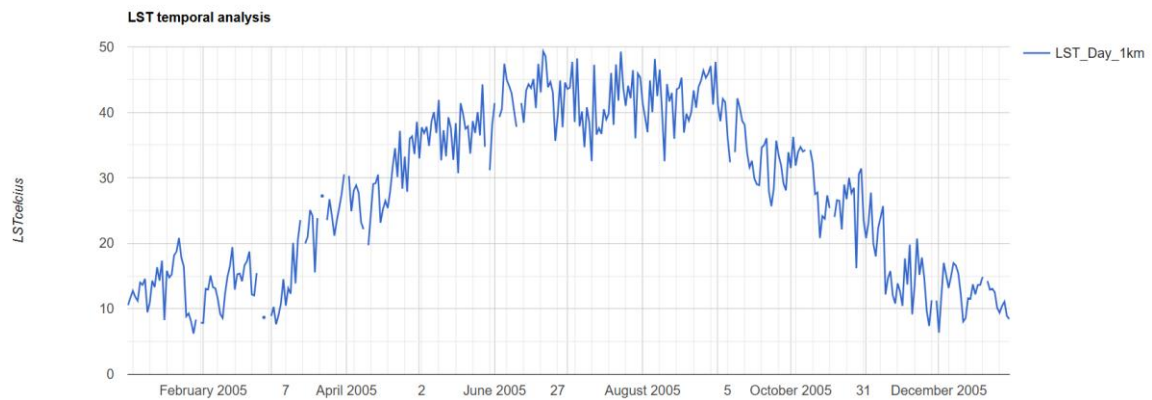


Figure 4-14 : LST 2010 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])

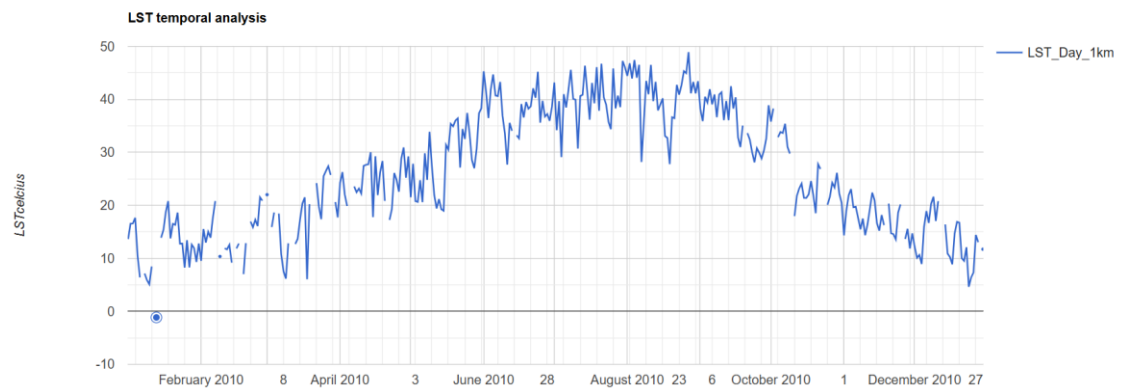


Figure 4-15 : LST 2015 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])

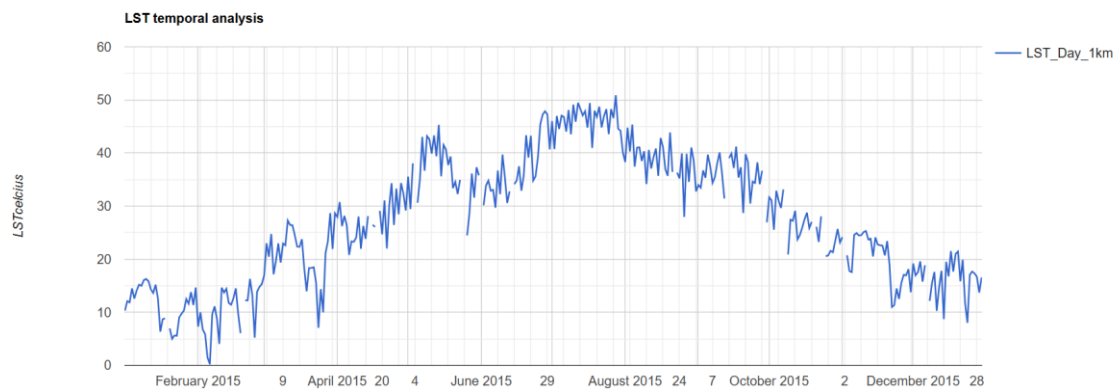


Figure 4-16 : LST 2020 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])

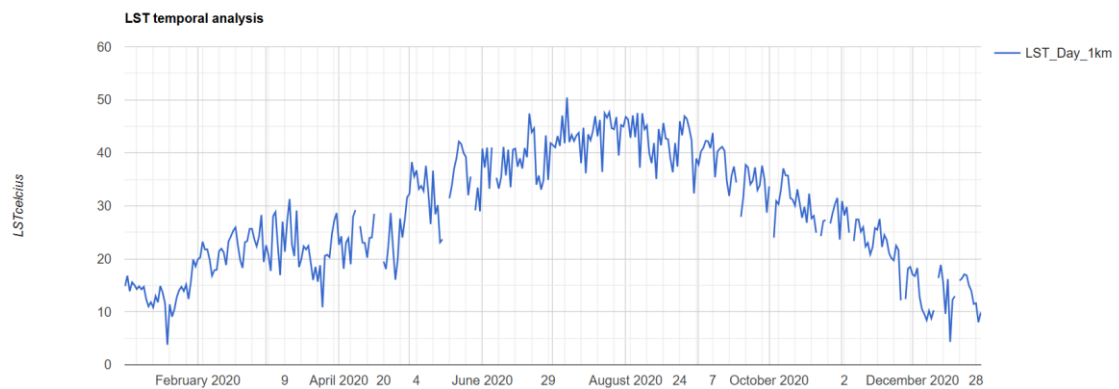
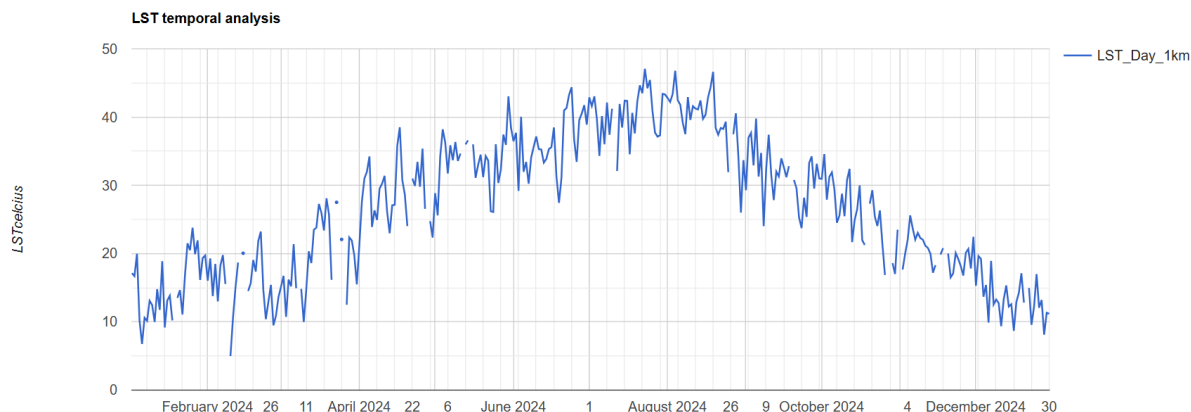


Figure 4-17 : LST 2024 Tlemcen (MODIS-[MOD11A2])



4.4 Conclusion

L'analyse menée dans la wilaya de Tlemcen sur la période 1985–2025 révèle des transformations territoriales majeures, dominées par une urbanisation expansive et une réduction préoccupante des terres agricoles et des prairies. Les données montrent que les surfaces bâties ont augmenté de 624 % en quarante ans, grignotant 8 654 hectares de terres agricoles (72,8 % du total artificialisé) et 3 232 hectares de prairies. Cette dynamique s'accompagne d'une intensification des îlots de urbains, corrélée à la densification du bâti et à la diminution des espaces végétalisés.

L'utilisation combinée de la télédétection et des SIG a permis de valider l'hypothèse centrale : ces outils sont indispensables pour cartographier finement les changements, modéliser les tendances et orienter les politiques d'aménagement. Les résultats appellent à une régulation urgente de l'étalement urbain, à la protection des terres fertiles et à l'intégration d'infrastructures vertes pour atténuer les effets climatiques. Cette étude démontre que la géomatique, en fournissant des données spatialisées et temporelles précises, constitue un pilier essentiel pour une gestion territoriale équilibrée, conciliant développement urbain et préservation des ressources naturelles.

En perspective, des travaux complémentaires pourraient approfondir les liens entre microclimats urbains et santé publique, ou évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation proposées. Une telle approche intégrée sera cruciale pour répondre aux enjeux socio-économiques et environnementaux de la wilaya de Tlemcen dans les décennies à venir.

CHAPITRE V

Solutions – Script GEE, carte prospective 2050,
plateforme Fadaeldjazair, recommandations pour
Tlemcen

5.1. Introduction

En tant qu'étudiant engagé dans l'élaboration de mon mémoire, j'ai conçu des solutions innovantes pour répondre aux enjeux cruciaux de la gestion durable des terres agricoles dans la Wilaya de Tlemcen, une région où l'agriculture joue un rôle économique et social fondamental. Confrontée à la régression du foncier agricole, à l'empiétement urbain, aux conflits fonciers et aux fraudes immobilières, cette région nécessite des outils modernes pour préserver son potentiel productif. Dans ce cadre, j'ai développé trois initiatives complémentaires : un script Google Earth Engine (GEE) pour le suivi hebdomadaire de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), une carte prospective d'urbanisation pour 2050, et l'enrichissement du site web fadaeldjazair. Le script GEE, que j'ai programmé, permet une analyse spatio-temporelle précise de la santé des cultures, identifiant les zones de dégradation ou d'amélioration pour guider les interventions agricoles. La carte prospective, que j'ai élaborée à partir d'une modélisation démographique et géospatiale, définit des limites strictes à l'expansion urbaine, conciliant croissance démographique et préservation des terres agricoles. Enfin, j'ai proposé des fonctionnalités novatrices pour le site fadaeldjazair, visant à moderniser la gestion cadastrale et à renforcer la transparence et l'accessibilité pour les citoyens. Ces solutions, bien que confrontées à des défis techniques, comme l'automatisation du script GEE, et financiers, reflètent mon ambition de contribuer à une gestion territoriale durable. À travers ce mémoire, je cherche à démontrer comment mes outils, ancrés dans les technologies géospatiales et numériques, peuvent autonomiser les agriculteurs, éclairer les décideurs et mobiliser les communautés locales. Mon travail vise à positionner la Wilaya de Tlemcen comme un modèle de gestion proactive face aux pressions environnementales et socio-économiques, tout en apportant une contribution scientifique et pratique à la préservation de son patrimoine agricole.

5.2. Carte prospective de l'urbanisation pour 2050 avec mesures réglementaires strictes

Face à la pression croissante exercée par l'urbanisation sur les terres agricoles de la Wilaya de Tlemcen, une carte prospective pour 2050 a été élaborée afin de limiter l'artificialisation des sols et de préserver le potentiel agricole de la région. Cette planification stratégique, ancrée dans une analyse démographique rigoureuse et des données géospatiales, définit des zones d'expansion urbaine strictement délimitées pour concilier développement urbain et durabilité environnementale. En intégrant des mesures réglementaires robustes, cette carte vise à orienter les décisions d'aménagement du territoire tout en répondant aux enjeux de croissance démographique et de protection des ressources naturelles.

5.2.1. Données démographiques et méthode de calcul

Les données démographiques pour la Wilaya de Tlemcen sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5-1 : Population 2050 de la wilaya de Tlemcen

Ville	Population 2008	Population 2023	Taux de croissance	Population 2050
Tlemcen	950000	1400000	0,026188071	2 839 279

La méthode de calcul utilisée repose sur le modèle de croissance exponentielle. Voici les étapes détaillées :

- 1. Calcul du taux de croissance annuel :** Le taux de croissance (r) est calculé à partir des populations de 2008 ($P_{2008} = 950\ 000$) et 2023 ($P_{2023} = 1\ 400\ 000$) sur une période de 15 ans (2023 - 2008) en utilisant la formule suivante :

$$r = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{P_{2023}}{P_{2008}}\right)$$

Ou $t = 15$ ans. Donc ;

$$r = \frac{1}{15} \ln\left(\frac{1\ 400\ 000}{950\ 000}\right) \approx 0,026188071$$

- 2. Prévision pour 2050 :** La population en 2050 (P_{2050}) est estimée en utilisant la formule de croissance exponentielle :

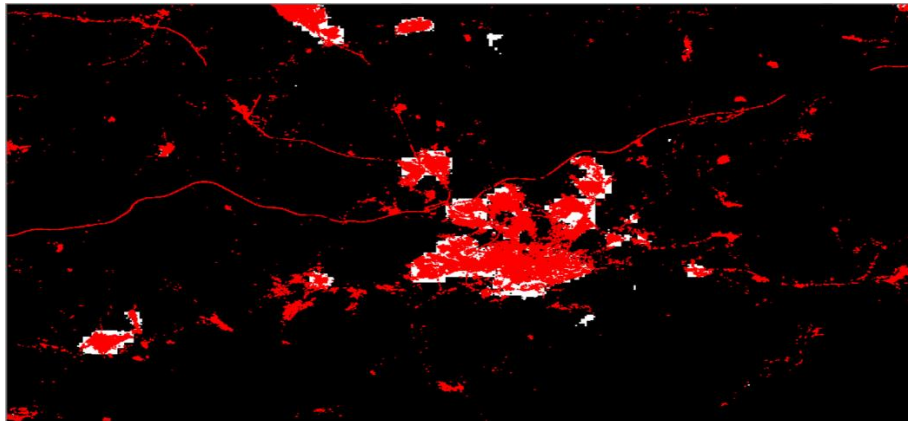
$$P_{2050} = P_{2023} \times e^{r \times (2050 - 2023)}$$

Ou $2050 - 2023 = 27$ ans. Donc ;

$$P_{2050} = 1\ 400\ 000 \times e^{0,026188071 \times 27} \approx 2\ 839\ 279$$

5.2.2. Élaboration de la carte prospective

Figure 5-2 : Carte prospective de la wilaya de Tlemcen (2050) (Auteur)



La carte présentée montre l'état de l'urbanisation en 2025 (zones en rouge) et les limites à ne pas dépasser d'ici 2050 (zones blanches). Elle a été générée en combinant les données SIG et télédétection, avec les étapes suivantes :

- **Analyse de l'urbanisation actuelle** : Utilisation des données d'occupation du sol pour identifier les zones urbaines en 2025 (en rouge).
- **Prévision pour 2050** : Modélisation des tendances d'urbanisation en tenant compte de la croissance démographique estimée (2 839 279 habitants), des infrastructures prévues et des contraintes environnementales.

5.2.3. Mesures réglementaires strictes

Pour garantir le respect des limites d'urbanisation définies par la carte prospective, un cadre réglementaire rigoureux a été établi, combinant des sanctions dissuasives, des incitations positives et des mécanismes de contrôle participatif :

- **Législations coercitives** : Toute urbanisation en dehors des zones rouges (2025) dépassant les zones blanches (2050) sera strictement interdite, avec des sanctions pénales pour les contrevenants, conformément aux lois nationales sur l'aménagement du territoire.
- **Amendes financières proportionnelles** : Les constructions illégales entraîneront des amendes calculées en fonction de la superficie urbanisée, avec un minimum de 500 000 DZD par hectare, pour décourager les infractions.
- **Démolition systématique** : Les constructions non conformes seront démolies après un délai de mise en conformité de 90 jours, avec prise en charge des coûts par les contrevenants.
- **Contrôles périodiques renforcés** : Des inspections trimestrielles seront conduites par une force composée des autorités locales et d'experts en SIG, utilisant des images satellites pour détecter les empiètements.
- **Exigences de construction verticale** : Dans les zones autorisées, les nouvelles constructions devront privilégier des bâtiments d'au moins 20 étages ou des gratte-ciels, optimisant l'utilisation de l'espace et réduisant l'empreinte au sol.
- **Incitations pour la construction durable** : Des subventions et exonérations fiscales seront offertes pour les projets intégrant des normes écologiques (toits végétalisés, matériaux durables), encourageant une urbanisation responsable.

Ces mesures seront intégrées dans les instruments d'urbanisme (PDAU, POS) et accompagnées d'une campagne de sensibilisation visant à impliquer les acteurs locaux, des élus aux agriculteurs, dans la préservation des terres agricoles.

5.2.4. Idées pour renforcer l'impact de la carte prospective :

Pour maximiser l'efficacité de la carte prospective et garantir son adoption dans la gestion territoriale de Tlemcen, plusieurs stratégies peuvent être envisagées :

- **Intégration de technologies avancées** : Utiliser l'intelligence artificielle pour modéliser les scénarios d'urbanisation et identifier les zones à risque avec une précision accrue.
- **Synergie avec le suivi NDVI** : Combiner les données de la carte prospective avec celles du script NDVI (section 5.2) pour prioriser la protection des terres agricoles à forte productivité.
- **Plateforme numérique interactive** : Développer une interface web (par exemple, sur le site fadaeldjazair) permettant aux décideurs et citoyens de visualiser la carte prospective et de commenter les plans d'urbanisation.
- **Partenariats avec les universités** : Collaborer avec les universités de Tlemcen pour valider les modèles d'urbanisation et former les étudiants à l'utilisation des outils SIG.
- **Sensibilisation multimédia** : Produire des vidéos et infographies expliquant les enjeux de l'artificialisation des sols, diffusées via les réseaux sociaux et les médias locaux.
- **Zones tampons écologiques** : Créer des ceintures vertes autour des zones urbaines autorisées pour limiter l'étalement et promouvoir la biodiversité.
- **Suivi longitudinal** : Établir une base de données des tendances d'urbanisation pour évaluer l'efficacité de la carte prospective sur le long terme.
- **Implication des agriculteurs** : Organiser des ateliers pour recueillir les retours des agriculteurs sur les zones protégées, renforçant leur rôle dans la planification.
- **Certifications écologiques** : Introduire un label pour les projets urbains respectant les limites de la carte, valorisant les initiatives durables.
- **Contrôles par drones** : Utiliser des drones équipés de capteurs pour surveiller les zones à risque en temps réel, améliorant l'efficacité des inspections.

- **Publications scientifiques** : Publier les résultats de la carte prospective dans des revues internationales pour attirer des collaborations et des financements.
- **Programmes éducatifs** : Intégrer la problématique de l'artificialisation des sols dans les programmes scolaires locaux pour sensibiliser les jeunes générations.
- **Rapports communautaires** : Diffuser des rapports annuels simplifiés en arabe et français pour informer les citoyens des progrès réalisés.
- **Modèles participatifs** : Mettre en place des consultations publiques régulières pour ajuster la carte prospective en fonction des besoins locaux.

5.3. Script Google Earth Engine pour le suivi hebdomadaire des terres agricoles via l'indice NDVI

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), calculé à partir des données spectrales des satellites, constitue un instrument de référence pour évaluer la vigueur et la couverture végétale des terres agricoles. En exploitant la plateforme Google Earth Engine (GEE), un script dédié a été conçu pour analyser les variations hebdomadaires du NDVI à l'échelle de la Wilaya de Tlemcen. Cet outil permet de cartographier avec précision les dynamiques spatio-temporelles des terres agricoles, en identifiant les zones de dégradation ou d'amélioration. Dans un contexte de régression notable du foncier agricole, ce suivi régulier offre une base scientifique robuste pour orienter les stratégies de gestion durable et préserver le potentiel productif de la région

5.3.1. Script GEE détaillé

1. Charger la wilaya de Tlemcen

```
var tlemcen = ee.FeatureCollection("FAO/GAUL/2015/level2")
.filter(ee.Filter.eq('ADM1_NAME', 'Tlemcen'));
print('Tlemcen :', tlemcen);
```

2.Fonction NDVI

```
function addNDVI(img) {
return img.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');
}
```

3. Fonction pour moyenne hebdomadaire

```
function getWeeklyNDVI(startDate) {  
  var endDate = ee.Date(startDate).advance(7, 'day');  
  var collection = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")  
    .filterBounds(tlemcen)  
    .filterDate(startDate, endDate)  
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20));  
  print('Images disponibles :', collection.size());  
  var ndvi = collection.map(addNDVI).mean().clip(tlemcen);  
  return ndvi;  
}
```

4. Définir les dates

```
var today = ee.Date(Date.now()).advance(-3, 'day');  
var lastWeekStart = today.advance(-14, 'day');  
var thisWeekStart = today.advance(-7, 'day');
```

5. Calculer NDVI

```
var ndviLast = getWeeklyNDVI(lastWeekStart);  
var ndviLast = getWeeklyNDVI(lastWeekStart);  
var ndviThis = getWeeklyNDVI(thisWeekStart);  
print('NDVI Last :', ndviLast);  
print('NDVI This :', ndviThis);
```

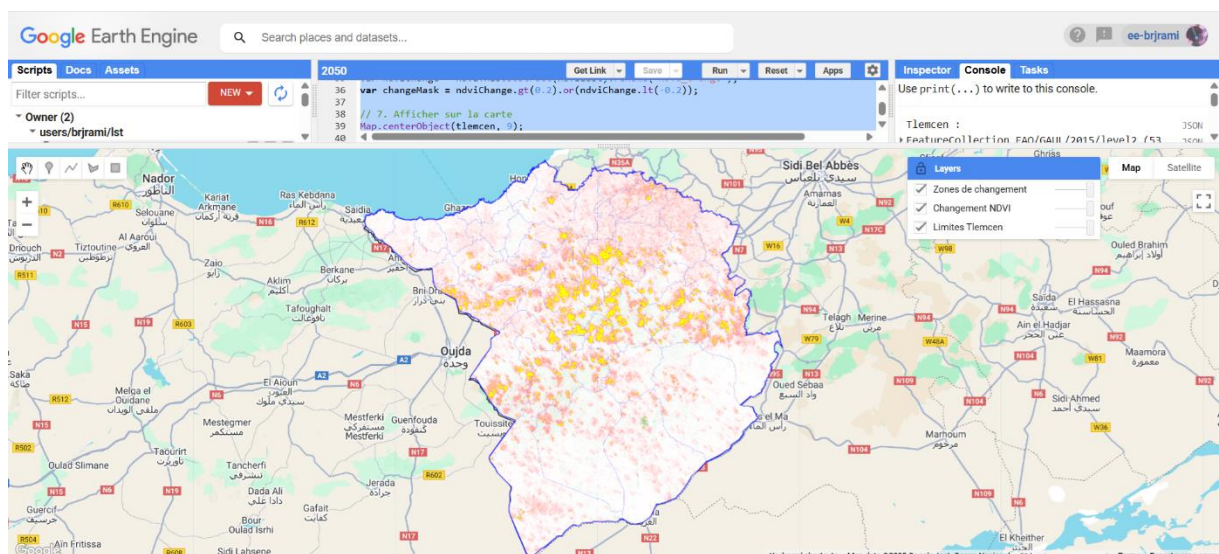
6. Calculer changement NDVI

```
var ndviChange = ndviThis.subtract(ndviLast).rename('NDVI_Change');  
var changeMask = ndviChange.gt(0.2).or(ndviChange.lt(-0.2));
```

7. Afficher sur la carte

```
Map.centerObject(tlemcen, 9);
Map.addLayer(tlemcen.style({color: 'blue', fillColor: '00000000'}), {}, 'Limites Tlemcen');
Map.addLayer(ndviChange, {min: -0.5, max: 0.5, palette: ['red', 'white', 'green']}, 'Changement NDVI');
Map.addLayer(changeMask.updateMask(changeMask), {palette: ['yellow']}, 'Zones de changement');
```

Figure5-3 : Résultat du Script sur GEE



5.3.2. Contribution au projet

Ce script Google Earth Engine (GEE) constitue un pilier central dans la stratégie de gestion durable des terres agricoles de la Wilaya de Tlemcen. En permettant un suivi hebdomadaire précis des variations de l'indice NDVI, il offre une vision dynamique de la santé des terres agricoles, essentielle pour contrer la régression du foncier agricole et l'empiétement urbain observés. Ses contributions se déclinent en plusieurs axes stratégiques :

- **Détection précoce des dégradations :** La capacité du script à identifier rapidement les zones où le NDVI diminue de manière significative (par exemple, en raison de sécheresses, de surpâturage ou de maladies des cultures, empiétement urbain) permet aux autorités d'intervenir de manière ciblée, réduisant ainsi les pertes économiques et environnementales.
- **Support à la prise de décision :** Les cartes de changement NDVI générées par le script fournissent aux décideurs des données visuelles et quantitatives pour prioriser

les interventions, comme la diminution des empiétements urbains sur les terres agricoles.

- **Planification agricole optimisée** : En offrant une analyse hebdomadaire de la vigueur des cultures, le script aide les agriculteurs à ajuster leurs pratiques (choix des cultures, périodes de semis, gestion de l'irrigation), maximisant ainsi les rendements et la durabilité des terres.
- **Sensibilisation et mobilisation communautaire** : Les visualisations claires produites par le script (cartes des zones de changement) peuvent être partagées avec les communautés locales pour sensibiliser à l'importance de la préservation des terres agricoles, favorisant une appropriation collective des enjeux.
- **Évaluation des politiques agricoles** : Les données NDVI permettent de mesurer l'impact des politiques publiques, telles que les subventions pour les pratiques agricoles durables ou les initiatives de reboisement, en comparant les tendances avant et après leur mise en œuvre.
- **Intégration dans une gestion territoriale globale** : En lien avec les autres solutions proposées dans ce chapitre (carte prospective 2050 et le site fadaeldjazair), le script alimente une approche intégrée en identifiant les zones agricoles à protéger ou à restaurer, renforçant ainsi la cohérence des stratégies territoriales.

Cette contribution multifacette positionne le script comme un outil clé pour une gestion proactive et éclairée des terres agricoles, répondant aux défis de la dégradation foncière tout en soutenant le développement durable de la Wilaya de Tlemcen.

5.3.3. Idées pour renforcer l'impact du script

Pour maximiser l'utilité du script dans la gestion durable des terres agricoles de Tlemcen, plusieurs perspectives peuvent être envisagées :

- **Analyse socio-économique** : Corréler les données NDVI avec des indicateurs socio-économiques, tels que les revenus des agriculteurs ou les prix des produits agricoles, pour évaluer l'impact des changements des terres sur les communautés locales.
- **Comparaison régionale** : Comparer les résultats NDVI de Tlemcen avec ceux d'autres wilayas, comme Oran ou Sidi Bel Abbès, pour situer Tlemcen dans un contexte national et identifier des spécificités locales.

- **Adaptation aux changements climatiques :** Utiliser le suivi NDVI pour détecter les zones vulnérables aux sécheresses ou inondations, orientant ainsi des mesures d'adaptation comme l'irrigation ciblée ou le choix de cultures résistantes.
- **Système d'alerte précoce :** Mettre en place un système de notifications automatiques en cas de chute significative du NDVI, alertant les agriculteurs et autorités sur les risques de dégradation.
- **Planification agricole :** Exploiter les données NDVI pour optimiser les périodes de semis ou de récolte en fonction de la santé des cultures observée.
- **Suivi des politiques publiques :** Évaluer l'efficacité des politiques agricoles locales (subventions, reboisement) à l'aide des résultats NDVI.
- **Co-construction avec les agriculteurs :** Organiser des réunions régulières pour discuter des cartes de changement NDVI et intégrer les observations terrain des agriculteurs.
- **Partenariats institutionnels :** Collaborer avec l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) pour valider les données et les intégrer dans des études agronomiques.
- **Sensibilisation communautaire :** Lancer des campagnes de sensibilisation avec des supports visuels (cartes, vidéos) pour expliquer les bénéfices du suivi NDVI aux agriculteurs.
- **Intégration SIG locale :** Intégrer les résultats NDVI dans les systèmes d'information géographique des autorités pour une prise de décision centralisée.
- **Automatisation des rapports :** Générer des rapports hebdomadaires avec des recommandations claires pour les décideurs et agriculteurs.
- **Lien avec la carte prospective 2050 :** Prioriser les zones à forte productivité agricole, identifiées par le NDVI, dans la carte prospective pour limiter l'urbanisation.
- **Amélioration du site fadaeldjazair :** Ajouter une section interactive sur le site pour visualiser les cartes NDVI et fournir des conseils personnalisés.
- **Suivi longitudinal :** Constituer une base de données NDVI à long terme pour analyser les tendances (désertification, récupération des terres, empiètement urbain).
- **Éducation et recherche :** Utiliser les données NDVI dans les universités de Tlemcen pour des projets de recherche ou des formations en agriculture de précision.

- **Publications scientifiques** : Publier les résultats dans des revues ou les présenter lors de conférences sur l'agriculture durable.
- **Rapports communautaires** : Diffuser des rapports simplifiés en arabe et français pour renforcer l'appropriation des résultats par les communautés locales.

5.4. Développement d'un site web contenant des fonctions nécessaires à ajouter sur le site fadaeldjazair

Dans le contexte de la Wilaya de Tlemcen, où la gestion foncière est confrontée à des défis complexes tels que les conflits de propriété, les fraudes immobilières et la régression des terres agricoles, la modernisation des outils numériques apparaît comme une priorité stratégique. Le site web fadaeldjazair, en tant que plateforme centralisée, sera enrichi de nouvelles fonctionnalités pour faciliter les interactions entre citoyens et administrateurs, améliorer la transparence des processus cadastraux, et soutenir la préservation des terres agricoles. En offrant des services accessibles et sécurisés, cette initiative vise à renforcer la gouvernance foncière et à promouvoir une gestion durable du territoire, en complément des autres solutions proposées dans ce chapitre.

5.4.1. Fonctionnalités proposées :

Les fonctionnalités suivantes seront ajoutées au site fadaeldjazair :

- **Demander une deuxième délimitation** : Permet aux citoyens de demander une nouvelle délimitation pour résoudre les divergences entre la surface réelle et celle indiquée sur le livret foncier.
- **Enregistrer une propriété non cadastrée** : Offre une interface pour déclarer les propriétés non cadastrées, notamment dans des zones comme Chetouane.
- **Signaler une fraude immobilière** : Permet aux citoyens de signaler les activités illégales.
- **Déclarer un conflit** : Facilite la déclaration des conflits fonciers, réduisant la charge administrative.
- **Demander la mise à jour des informations cadastrales** : Permet aux citoyens de demander une mise à jour des données après régularisation.

5.4.2. Structure technique du site

Le site est structuré comme suit :

- **Frontend (Utilisateur)** : React avec Tailwind CSS pour une interface utilisateur moderne.
- **Backend (Administrateur)** : Node.js avec Express.js pour gérer les API et les requêtes.
- **Base de données** : MongoDB pour stocker les données cadastrales et les demandes des utilisateurs.
- **Design** : Figma pour concevoir une interface intuitive et adaptée aux besoins des utilisateurs

Figure 5-4 : Interface des citoyens

The figure displays two screenshots of the 'AGENCE NATIONALE DU CADASTRE' website interface for citizens.

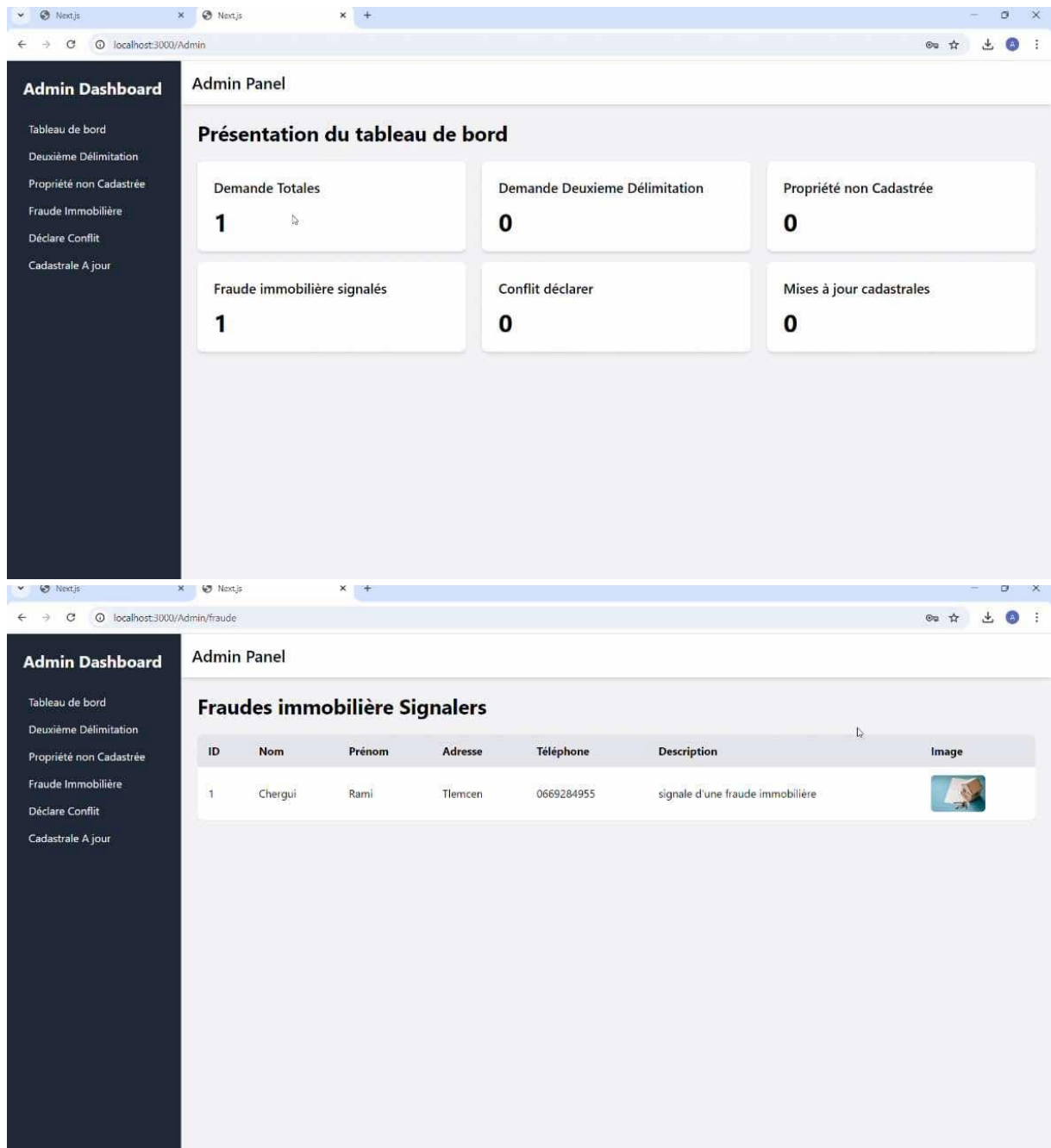
Top Screenshot: Main Services Menu

- Header:** AGENCE NATIONALE DU CADASTRE (with logo) and contact number +213 777 777 777.
- Section Title:** Simplifiez vos demandes relatives aux biens fonciers
- Services List:**
 - Demander une deuxième délimitation (highlighted with a green background)
 - Demander d'enregistrer une propriété foncière non cadastrée
 - Signaler une fraude immobilière
 - Déclarer un conflit
 - Demander la mise à jour des informations cadastrales

Bottom Screenshot: 'Signaler une fraude immobilière' Form

- Header:** AGENCE NATIONALE DU CADASTRE (with logo) and contact number +213 777 777 777.
- Section Title:** Signaler une fraude immobilière
- Form Fields:**
 - Nom Propriétaire: Chergui
 - Prénom Propriétaire: Rami
 - Adresse de la Terre: Tiemcen
 - Numéro de Téléphone: 0669284955
 - Description: signale d'une fraude immobilière
 - Image (pour signaler une fraude): Choisir un fichier fraude_immobiliere_finovox-1.webp
- Action:** A green button labeled 'Valider' at the bottom.

Figure 5-5 : Interface des administrateurs



5.4.3. Contribution au projet

L'intégration de ces nouvelles fonctionnalités au site fadaeldjazair constitue une avancée majeure dans la modernisation de la gestion foncière de la Wilaya de Tlemcen. En répondant aux besoins des citoyens et des administrateurs, le site joue un rôle clé dans la préservation des terres agricoles et la résolution des problématiques foncières. Ses contributions s'articulent autour des axes suivants :

- **Transparence et accessibilité :** En offrant aux citoyens une plateforme intuitive pour déclarer des propriétés, signaler des fraudes ou demander des mises à jour cadastrales, le site réduit les barrières administratives et renforce la confiance dans les institutions.
- **Réduction des conflits fonciers :** La fonctionnalité de déclaration des conflits permet une gestion proactive des litiges, limitant les tensions communautaires et les pertes économiques liées aux disputes prolongées.
- **Lutte contre la fraude immobilière :** Le module de signalement des fraudes immobilières, combiné à un backend sécurisé, facilite la détection rapide des activités illégales, protégeant ainsi les terres agricoles de l'urbanisation non autorisée.
- **Modernisation administrative :** L'utilisation d'une base de données MongoDB et d'API performantes permet aux administrateurs de traiter les demandes en temps réel, réduisant les délais et améliorant l'efficacité des services cadastraux.
- **Synergie avec les autres solutions :** Le site s'intègre aux autres initiatives du chapitre, notamment en affichant les cartes NDVI (section 5.2) pour sensibiliser à la santé des terres agricoles et en intégrant les limites d'urbanisation de la carte prospective 2050 (section 5.3) pour guider les déclarations de propriétés.
- **Autonomisation des citoyens :** En donnant aux citoyens les moyens de participer activement à la gestion foncière (via des signalements ou des demandes), le site favorise une gouvernance participative et une appropriation collective des enjeux territoriaux.

Ces contributions positionnent fadaeldjazair comme un outil numérique pivot, capable de transformer la gestion foncière en un processus transparent, inclusif et aligné sur les objectifs de développement durable de la Wilaya de Tlemcen.

5.4.4. Idées pour renforcer l'impact du site web

Pour maximiser l'efficacité et l'adoption du site fadaeldjazair, les perspectives suivantes peuvent être envisagées :

- **Application mobile :** Développer une application mobile complémentaire pour permettre aux citoyens d'accéder aux fonctionnalités du site (signalements, déclarations) en déplacement, notamment dans les zones rurales.

- **Intégration de cartes interactives** : Ajouter une section avec des cartes NDVI (section 5.2) et la carte prospective 2050 (section 5.3), permettant aux utilisateurs de visualiser les zones agricoles protégées et les limites d'urbanisation.
- **Chatbot d'assistance** : Implémenter un chatbot basé sur l'IA pour guider les utilisateurs dans les démarches (ex. : comment déclarer une propriété non cadastrée) et répondre aux questions fréquentes.
- **Multilinguisme** : Traduire l'interface en arabe, français et en anglais pour garantir l'accessibilité à tous les citoyens de Tlemcen.
- **Formation des utilisateurs** : Organiser des ateliers dans les communes (ex. Chetouane) pour former les citoyens et les administrateurs à l'utilisation du site, réduisant la fracture numérique.
- **Authentification sécurisée** : Intégrer une authentification à deux facteurs et une signature électronique pour sécuriser les déclarations et protéger les données sensibles.
- **Tableau de bord administratif** : Développer un tableau de bord pour les administrateurs, affichant des statistiques en temps réel sur les demandes, les fraudes signalées, et les conflits résolus.
- **Sensibilisation multimédia** : Produire des tutoriels vidéo et des infographies expliquant comment utiliser le site, diffusés via les réseaux sociaux et les centres communautaires.
- **Partenariats institutionnels** : Collaborer avec l'Agence Nationale du Cadastre et des institutions comme l'INRAA pour valider les données cadastrales et enrichir les fonctionnalités.
- **Système de suivi des demandes** : Permettre aux citoyens de suivre l'état de leurs demandes (ex. : délimitation, mise à jour cadastrale) via un portail sécurisé.
- **Intégration blockchain** : Explorer l'utilisation de la blockchain pour enregistrer les données cadastrales de manière immuable, renforçant la transparence et la sécurité.
- **Retours citoyens** : Créer un espace pour recueillir les commentaires des utilisateurs sur l'interface et les fonctionnalités, afin d'améliorer continuellement le site.
- **Campagnes locales** : Lancer des campagnes de sensibilisation dans les zones rurales pour promouvoir l'enregistrement des propriétés non cadastrées.
- **Publications scientifiques** : Publier les résultats de l'impact du site (ex. : réduction des conflits fonciers) dans des revues pour attirer des financements.

- **Accessibilité hors ligne** : Développer un mode hors ligne pour certaines fonctionnalités, permettant une utilisation dans les zones à faible connectivité.
- **Programmes éducatifs** : Intégrer l'utilisation du site dans les formations universitaires en urbanisme ou agriculture à Tlemcen.
- **Rapports communautaires** : Diffuser des rapports annuels en arabe et français sur l'impact du site (ex. : nombre de fraudes signalées), renforçant la confiance des citoyens.

5.5. Difficultés rencontrées

L'automatisation de l'exécution hebdomadaire d'un script sur Google Earth Engine (GEE) présente plusieurs défis majeurs, notamment pour les utilisateurs non spécialisés en informatique. Voici les principales difficultés identifiées :

1. **Contrainte financière imposée par Google :**

Google exige des frais pour l'exécution automatisée de scripts via des services comme Google Cloud Platform (GCP). Cette barrière financière limite l'accès à une automatisation fiable pour les utilisateurs disposant de ressources limitées.

2. **Complexité de la solution gratuite via GitHub :**

Une alternative gratuite consiste à créer un bot automatisé à l'aide de GitHub Actions pour exécuter le script. Cependant, la configuration d'un tel bot nécessite des connaissances en programmation et une compréhension des interactions entre GEE et GitHub, ce qui s'est avéré insurmontable pour un utilisateur non spécialisé en informatique.

3. **Manque de compétences techniques :**

La création d'un bot implique des étapes complexes, telles que l'écriture de scripts, la gestion des authentifications API, et le dépannage d'erreurs. Sans formation en informatique, ces tâches deviennent un obstacle majeur, empêchant la mise en place d'une solution fonctionnelle.

4. **Problèmes d'intégration et de compatibilité :**

L'intégration du script GEE avec GitHub Actions peut rencontrer des problèmes de compatibilité, comme des erreurs d'authentification ou des limitations

dans l'accès aux API de GEE. Ces problèmes techniques nécessitent une expertise pour être résolus.

5. Maintenance et gestion des erreurs :

Même si un bot est créé, il nécessite une maintenance régulière pour gérer les mises à jour de GEE, les éventuelles modifications des API, ou les erreurs d'exécution imprévues. Cela représente une charge supplémentaire pour un utilisateur non initié.

5.6. Conclusion

Dans le cadre de mon mémoire, j'ai conçu un ensemble de solutions (le script GEE pour le suivi NDVI, la carte prospective d'urbanisation pour 2050, et l'amélioration du site fadaeldjazair) qui forment une stratégie intégrée pour une gestion durable des terres agricoles de la Wilaya de Tlemcen. En tant qu'étudiant, j'ai cherché à répondre aux défis de la dégradation foncière, de l'urbanisation anarchique et des conflits cadastraux en exploitant des technologies modernes et des approches participatives. Le script GEE, que j'ai développé, offre une surveillance hebdomadaire précise de la vigueur des cultures, facilitant la détection précoce des problèmes et l'optimisation des pratiques agricoles. La carte prospective, fruit de mon analyse, établit un cadre réglementaire rigoureux pour limiter l'artificialisation des sols, préservant ainsi les terres essentielles à la sécurité alimentaire. Les fonctionnalités que j'ai proposées pour le site fadaeldjazair modernisent la gouvernance foncière, réduisant les fraudes et les conflits tout en renforçant l'engagement citoyen. Malgré des obstacles, notamment les contraintes techniques et financières liées à l'automatisation du script GEE, mes travaux ouvrent des perspectives prometteuses pour une gestion territoriale résiliente. En favorisant les synergies entre ces outils et en impliquant les acteurs locaux – agriculteurs, autorités et communautés –, mon mémoire ambitionne de poser les bases d'un modèle de développement durable pour Tlemcen. Ces efforts, soutenus par des propositions de sensibilisation et de partenariats institutionnels, témoignent de ma volonté de contribuer, en tant qu'étudiant, à la préservation du patrimoine agricole et à la promotion d'une gouvernance territoriale équitable, offrant ainsi une vision concrète et réalisable pour l'avenir de la région.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire, intitulé « SIG et télédétection au service de la préservation du foncier agricole : Cas de la wilaya de Tlemcen », a répondu à une problématique centrale : comment concilier l'urbanisation galopante et la préservation des terres agricoles dans un contexte de pression démographique et climatique ? L'hypothèse de départ, affirmant que les outils de modélisation spatiale (SIG) et de télédétection permettent une gestion rationnelle et durable du foncier agricole, elle a été largement validée par les résultats obtenus.

Réponse à la problématique :

La wilaya de Tlemcen, un territoire stratégique doté d'un patrimoine agricole riche mais fragile, incarne les tensions entre développement urbain et sécurité alimentaire. Entre 1985 et 2025, l'analyse des images satellitaires a révélé une artificialisation de 11 886 hectares de terres, dont 72,8 % étaient initialement dédiés à l'agriculture. Cette dynamique, couplée à une croissance démographique de 624 % en 40 ans, a exacerbé les risques de fragmentation des exploitations et de dégradation des sols (salinisation, érosion).

Les outils de télédétection (Landsat, Sentinel-2) et les SIG (ArcGIS, QGIS) ont permis de cartographier finement ces mutations :

- **Identification des zones critiques** : 5 000 hectares de terres fertiles perdus en deux décennies, principalement autour de Tlemcen-ville et Maghnia.
- **Analyse des ICU** : Une hausse de 2 à 4°C dans les zones urbanisées, corrélée à la disparition des couverts végétaux.
- **Modélisation prospective** : Une projection à l'horizon 2050 montre que sans régulation stricte, 30 % des terres agricoles restantes pourraient être urbanisées.

Validation de l'hypothèse

L'hypothèse posée est confirmée : la combinaison SIG/télédétection s'est avérée indispensable pour :

1. **Diagnostiquer** les pressions urbaines et environnementales avec une précision inédite.

2. Proposer des solutions opérationnelles :

- Le **script Google Earth Engine** pour le suivi hebdomadaire du NDVI a identifié les parcelles en dégradation, permettant des interventions ciblées.
- La **carte prospective 2050** a défini des zones d'expansion urbaine strictes, limitant l'étalement grâce à des mesures réglementaires (densification verticale, sanctions financières).
- Le **site fadaeldjazair** a modernisé la gestion cadastrale, réduisant les conflits fonciers et les fraudes.

Bilan global du travail

Ce mémoire démontre que les technologies géospatiales ne sont pas de simples outils d'observation, mais des leviers d'action pour une gouvernance territoriale éclairée. Les résultats soulignent cependant des limites :

- **Défis techniques** : L'automatisation des scripts GEE nécessite des compétences avancées et des ressources financières.
- **Freins institutionnels** : La centralisation excessive et l'inapplication des lois (ex. loi 08-16) persistent.
- **Urgence climatique** : Les ICU et la raréfaction de l'eau appellent une intégration accrue des données environnementales dans les PDAU.

Perspectives

Pour pérenniser ces avancées, plusieurs axes sont prioritaires :

- **Décentraliser la gestion foncière** en formant les acteurs locaux aux SIG.
- **Renforcer les cadres juridiques** : Appliquer des sanctions dissuasives pour l'artificialisation illégale et instaurer des observatoires agricoles régionaux.
- **Impliquer les citoyens** via des plateformes participatives, en s'appuyant sur des campagnes de sensibilisation aux enjeux agricoles.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, ce travail prouve que les SIG et la télédétection ne préservent pas seulement des terres, mais dessinent un avenir où urbanisation et agriculture coexistent durablement. La wilaya de Tlemcen, en adoptant ces technologies, pourrait devenir un modèle pour l'Algérie, montrant que l'innovation spatiale est un rempart contre la crise alimentaire et climatique.

BIBLIOGRAPHIE

Articles de presse et sites web

Références

- [1] Agence de Presse Service (APS). Plus de 63 000 hectares recensés pour être concédés dans le cadre du foncier agricole. APS.dz, 2022. <https://www.aps.dz> .
- [2] Radio Algérienne. Des terres agricoles sacrifiées pour un urbanisme sauvage. OpenEdition Journals, 2021. <https://journals.openedition.org/> .
- [3] Portail foncier. Algérie Création d'un système national d'information foncière pour l'agriculture. Land Portal, 2023. <https://landportal.org> .
- [4] Areion24.news. La ville algérienne dans tous ses états : transition urbaine et nouvelles urbanités. Areion24, 2023. <https://www.areion24.news> .
- [5] La France Agricole. Les terres agricoles menacées par la salinité des eaux en Algérie. La France Agricole, s.d. <https://www.lafranceagricole.fr> .
- [6] Cairn.info. Impact de la mobilité spatiale sur la durabilité de l'urbanisation au sud de la Méditerranée : cas de l'agglomération algéroise et sa région. Cairn.info, 2019. <https://www.cairn.info> .
- [7] Fonciers en débat. Facteurs d'artificialisation des sols en Algérie. Fonciers-endeбат.com, 2023. <https://www.fonciers-en-debat.com> .
- [8] OpenEdition Journals. Planification foncière et espaces agricoles périurbains en Algérie. OpenEdition Journals, 2021. <https://journals.openedition.org> .
- [9] Persée. L'urbanisation en Algérie : un essai de bilan statistique. Persée, 2020. <https://www.persee.fr> .
- [10] Ruralm. Démographie urbaine et artificialisation. Ruralm.hypotheses.org, 2022. <https://ruralm.hypotheses.org> .
- [11] DIMENC. Document sur la gestion des ressources naturelles. Dimenc.gouv.nc, s.d. <https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/download/16468006.pdf> .
- [12] Sigma972. Définition des systèmes d'information géographique. Sigma972.org, s.d. http://www.sigma972.org/def_1.html .
- [13] Corse.fr. Qu'est-ce que le SIG ? Ruralm.hypotheses.org, s.d. http://www.corse.fr/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html .
- [14] Afigeo. Les systèmes d'information géographique. Afigeo.asso.fr, s.d. <http://www.afegeo.asso.fr/les-sig.html> .
- [15] Prévention 2000. Gestion des risques de mouvements de terrain. Prevention2000.org, s.d. http://www.prevention2000.org/cat_nat/risques/mvtter/mvt_prev.htm .

- [16] QGIS. Capture de données dans les SIG. Docs.qgis.org, s.d.
https://docs.qgis.org/2.8/fr/docs/gentle_gis_introduction/data_capture.html .
- [17] ForumSIG. Vente de table à digitaliser. ForumSIG.org, s.d.
<http://www.forumsig.org/showthread.php/37012-Vente-Table-%C3%A0-digitaliser> .
- [18] PACA. Page d'information sur le développement durable.
Paca.developpementdurable.gouv.fr, s.d.
http://www.paca.developpementdurable.gouv.fr/spip.php?page=affiche_article&id_article=2381 .
- [19] Cairn.info. Les systèmes d'information géographique. Cairn.info, s.d., 88.
<http://www.cairn.info/les-systemes-d-informations-geographiques--9782130539230-page-88.htm> .
- [20] Notre Planète. Les SIG : outils pour la gestion territoriale. Notre-planete.info, s.d.
<http://www.notre-planete.info/terre/outils/sig.php> .
- [21] SEIG. Systèmes d'information géographique. Seig.ensg.ign.fr, s.d.
<http://seig.ensg.ign.fr/> .
- [22] Air Imag. Cours EA2012-SIG. Air.imag.fr, s.d.
<http://air.imag.fr/mediawiki/index.php/EA2012-SIG> .
- [23] SEOS Project. Applications de la télédétection à l'agriculture. Seos-project.eu, s.d.
<http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.fr.html> .
- [24] AxeSIG. Produits SIG. Axesig.fr, s.d. <http://www.axesig.fr/produits/sig.html> .
- [25] ArcGIS. Ressources pour les SIG. Resources.arcgis.com, s.d.
<http://resources.arcgis.com> .
- [26] Arcorama. SIG 3D : Conception de données 3D. Arcorama.fr, 2015.
<http://www.arcorama.fr/2015/01/sig-3d-35-conception-de-donnees-3d.html> .
- [27] ThemaMap. Concepts de SIG. Themamap.greyc.fr, s.d.
<https://themamap.greyc.fr/fr/node/17> .
- [28] CNES. Comprendre l'imagerie satellite. CNES, 2023. <https://cnes.fr> .
- [29] CNIG. Conseil National de l'information Géolocalisée. Cnig.gouv.fr, 2022.
<https://www.cnig.gouv.fr> .
- [30] ESA. Types d'images satellites. ESA.int, 2022. <https://www.esa.int> .
- [31] ESRI. Définitions et composantes des SIG. Esri.com, 2020. <https://www.esri.com> .
- [32] Esri France. Les SIG expliquent simplement. Esrifrance.fr, 2022.
<https://www.esrifrance.fr> .

[33] Géopole. Cours de SIG : bases et applications. Géopole.org, 2021.

<https://www.geopole.org> .

[34] IGN. Comprendre les systèmes d'information géographique. IGN.fr, 2020.

<https://www.ign.fr> .

[35] NASA. Système d'observation de la Terre : missions MODIS et Landsat. NASA.gov, 2022. <https://www.nasa.gov> .

Articles scientifiques et revues

Références

[1] Cahiers Agricultures. Politiques de mise en valeur des terres arides en Algérie. Cahiers Agricultures 29, no. 1 (2020) : 110. <https://www.cahiersagricultures.fr> .

[2] El Idrissi, A. Towards a Regulatory Planning of Conflicts Related to the Use in PeriUrban and Rural Areas. African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences 5, no. 2 (2022) : 405426. <https://doi.org/10.48346/IMIST.PRSM/AJLP-GS.V5I2.29149> .

[3] Bajeddi, H. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Population (French Edition) 55, no. 5 (2000) : 764. <https://doi.org/10.2307/1523706> .

[4] Cavailhès, Jean, Alain Mesrine, et Catherine Rouquette. Le foncier agricole : une ressource sous tensions. Études rurales 187 (2011) : 4560. <https://www.cairn.info> .

[5] Dusseux, Pauline. Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection 198 (2014) : 2534.

[6] Nature. Étude sur l'impact de l'urbanisation sur les terres agricoles. Scientific Reports 12 (2022) : 25560. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-25560-0> .

[7] Nature. Analyse de la dégradation des sols agricoles en Algérie. Scientific Reports 13 (2023) : 49608. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-49608-x> .

[8] Nature. Étude des impacts environnementaux sur les terres agricoles. Scientific Reports 15 (2025) : 94189. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-94189-6> .

[9] El Sayed, Mohamed, et al. Urban Sprawl Impact Assessment on the Agricultural Land in Egypt Using Remote Sensing and GIS : A Case Study, Qalubiya Governorate. ResearchGate, 2012. <https://www.researchgate.net/publication/235915354> .

[10] Goodchild, Michael F. Les citoyens comme capteurs : le monde de la géographie bénévole. GeoJournal 69, no. 4 (2007) : 211221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y> .

Livres et chapitres

Références

- [1] Abdelbaki, Chérifa, Fatiha Benhamouda, et Mustapha Chikh. SIG : Outils de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, cas du réseau de la ville de Birtouta - Alger, Algérie. Saarbrücken : Éditions universitaires européennes, 2012.
- [2] Chuvieco, Emilio. Principes fondamentaux de la télédétection par satellite. Boca Raton : CRC Press, 2016.
- [3] Lillesand, Thomas M., Ralph W. Kiefer, et Jonathan W. Chipman. Télédétection et interprétation d'images. 7e éd. Hoboken : Wiley, 2015.
- [4] Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, et David W. Rhind. Systèmes d'information géographique et science. 3e éd. Hoboken : Wiley, 2011.
- [5] Pornon, Henri. Les SIG : mise en œuvre et applications. Paris : Éditions Hermès, 1992.
- [6] Pornon, Henri. La notion de précision dans les SIG : Données précises ou données de qualité. Le géomètre 6 (1996) : 3033.
- [7] Rouet, Philippe. Les données dans les Systèmes d'information Géographique. Paris : Éditions Hermès, 1993.
- [8] Sabins, Floyd F. Télédétection : principes et interprétation. 3e éd. Long Grove : Waveland Press, 1996.
- [9] CIHEAM, Plan Bleu pour la Méditerranée, et Programme des Nations Unies pour l'environnement, éd. Mediterra 2009 : repenser le développement rural en Méditerranée. Paris : Presses de Sciences Po, 2009.
- [10] Kellouche, A. Pilotage de MapInfo par Delphi. Developpez.com, 2009. <https://www.developpez.com>.
- [11] MapInfo. MapBasic v. 8.0, Reference Guide. MapInfo, 2005.
- [12] Mihoubi, Mustapha Kamel, et Chérifa Abdelbaki. Initiation à l'utilisation de MAPINFO : concepts fondamentaux et principales fonctions. Blida : ENSH, 2003.
- [13] Vendé-Leclerc, Myriam. Prise en main du logiciel de SIG MapInfo. Paris : Autoédition, 2008.
- [14] Elfatihi, M., A. Benslimane, et M. Kharroubi. SIG et modélisation de l'espace. Rabat : Presses Universitaires du Maghreb, 2003.
- [15] Le Moigne, Jean-Louis. La théorie du système général. Paris : Presses universitaires de France, 1977.

[16] Tomlinson, Roger. Réflexions sur les SIG : planification des systèmes d'information géographique pour les gestionnaires. Redlands : ESRI Press, 2007.

Rapports et documents institutionnels

Références

- [1] CNES. Télédétection spatiale : techniques et applications. CNES, 2023. <https://cnes.fr> .
- [2] CNES. Comprendre l'imagerie satellite. CNES, 2023. <https://cnes.fr> .
- [3] Copernicus. Missions Sentinelles et observation de la Terre. Copernicus.eu, 2021. <https://www.copernicus.eu> .
- [4] Copernicus. Missions Sentinelles et observation de la Terre. Copernicus.eu, 2023. <https://www.copernicus.eu> .
- [5] ESA. Observation de la Terre depuis l'espace. ESA.int, 2022. <https://www.esa.int> .
- [6] ESA. Types d'images satellites. ESA.int, 2022. <https://www.esa.int> .
- [7] FAO. Télédétection pour la surveillance de l'agriculture. FAO.org, 2022. <https://www.fao.org> .
- [8] FAO. L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans la région du Proche-Orient et de l'Afrique du Nord. Rome : FAO, 2023. <https://doi.org/10.4060/cc1173fr> .
- [9] FAO. Land reform : land settlement and cooperatives. FAO.org, 2009. <https://www.fao.org/3/W8101T/w8101t05.htm#6> .
- [10] JRC-Commission européenne. Manuel sur la télédétection et les SIG pour la surveillance de l'agriculture dans l'UE. Joint Research Centre, 2021. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu> .
- [11] USGS. Aperçu scientifique de LANDSAT. USGS, 2022. <https://landsat.gsfc.nasa.gov> .
- [12] USGS. Données et images satellites. USGS, 2021. <https://www.usgs.gov> .
- [13] GEO. Groupe sur l'observation de la Terre : Surveillance pour un développement durable. EarthObservations.org, 2020. <https://earthobservations.org> .
- [14] ITC-Unesco. Applications de la télédétection à la gestion des terres et des eaux. ITC-Unesco, 2021.
- [15] NASA. Notions de base sur l'imagerie satellitaire. NASA.gov, 2021. <https://www.nasa.gov> .
- [16] Observatoire de la Terre de la NASA. Fonctionnement de la télédétection. EarthObservatory.nasa.gov, 2022. <https://earthobservatory.nasa.gov> .

- [17] NASA Earthdata. Comprendre les capteurs satellites. Earthdata.nasa.gov, 2023.
<https://earthdata.nasa.gov> .
- [18] NASA. Manuel SAR de la NASA : Radar à synthèse d'ouverture pour la surveillance des catastrophes. NASA, 2020.
- [19] CESE. Habitat en milieu rural : vers un habitat durable et intégré dans son environnement. Rabat : Conseil Économique, Social et Environnemental, 2018.
- [20] CESE. Développement du monde rural : défis et perspectives. Rabat : Conseil Économique, Social et Environnemental, 2017.
- [21] Cheret, V. Télédétection et géomatique pour le suivi des milieux forestiers - Contributions à l'évaluation des risques. Rapport technique, 2016.
- [22] EDESAT. Étude relative à l'élaboration de la Stratégie Nationale de Gestion du Foncier. Alger : EDESAT, 2016.
- [23] CNIG. Conseil National de l'information Géolocalisée. Cnig.gouv.fr, 2022.
<https://www.cnig.gouv.fr> .
- [24] CNIG. Définitions et composantes dun SIG. Cnig.gouv.fr, 2021.
<https://www.cnig.gouv.fr> .

Thèses et travaux universitaires

Références

- [1] Thèses.fr. La question du foncier agricole en Algérie : pratiques foncières/pratiques sociales. Thèses.fr, 2022. <https://www.theses.fr> .
- [2] Bibliothèque virtuelle ENSMAL. Étude de l'évolution du littoral par télédétection. Virtual Library ENSSMAL, 2022. <https://virtuallibrary.enssmal.edu.dz> .
- [3] UMMTO. Les villes algériennes face aux enjeux du développement durable : quelles transformations dans la fabrique urbaine ? UMMTO.dz, 2021. <https://www.ummtto.dz> .
- [4] Université de Ouargla. Étude de l'évolution des caractérisations de sols agricoles irriguées par les eaux minéralisées dans les régions arides. Dspace.univ-ouargla.dz, s.d.
<https://dspace.univ-ouargla.dz/> .
- [5] UNIGE. Télédétection et traitement d'image. Université de Genève, 2001.

Législation

Références

[1] Algérie. Loi n° 87-19 du 8 décembre 1987 relative à la répartition des exploitations agricoles collectives et individuelles. Journal Officiel de la République Algérienne, 1987.

[2] Algérie. Loi n° 08-16 du 23 août 2008 portant orientation agricole. Journal Officiel de la République Algérienne, 2008.

Autres sources

Références

[1] Sauvagnargues-Lesage, Sophie, et Pierre-Alain Ayral. Systèmes d'information Géographique : outil d'aide à la gestion territoriale. Techniques de l'ingénieur, 2009, H7415.

[2] Tena-Chollet, F., Sophie Sauvagnargues-Lesage, V. Thierion, et Pierre-Alain Ayral. Systèmes d'information géographique : mise en œuvre. z Techniques de l'ingénieur, 2010, H7416.

[3] AGI. Définition de l'information géographique. Association for Geographic Information (UK), 1991.

[4] FICCDC. Glossaire des systèmes d'information géographique. FICCDC, 1994.

ANNEXE

Évolution des Satellites de Télédétection

Chronologie des Programmes Clés

Période	Programme/Satellite	Caractéristiques Principales	Apports Majeurs
1960-1970	TIROS-1 (NASA, 1960). Landsat 1 (1972).	Premier satellite météo. Images TV en noir et blanc. Premier satellite civil d'observation (Résolution 80m).	Surveillance météorologique globale. Cartographie des ressources terrestres.
1980-1990	SPOT 1 (CNES, 1986). ERS-1 (ESA, 1991).	Résolution 10m. Premier radar européen fonctionne jour/nuit.	Surveillance des océans et glaces polaires.
2000-2010	Terra (NASA, 1999). Sentinel (ESA, 2014-).	Cinq capteurs dont MODIS (Résolution 250m à 1km). Données libres et gratuites.	Étude du changement climatique global. Surveillance environnementale en temps quasi-réel.
2020+	Landsat 9 (NASA/USGS, 2021). ICEYE (Privé, 2018-).	Résolution 15m (pan) / 30m (multispectral).	Continuité des données depuis 1972. Surveillance quotidienne à coût réduit.

Évolution des Capacités Techniques

1. Résolution Spatiale :

- 1960 : 1 km → 2020 : 30 cm (satellites commerciaux)
- Ex : WorldView-4 (31 cm en panchromatique)

2. Fréquence de Revisite :

- 1970 : 18 jours (Landsat) → 2020 : Quelques heures (constellations comme Planet Labs)

3. Diversité des Capteurs :

- Optique → Radar → Hyperspectral → Lidar spatial
- Ex : Sentinel-5P (surveillance de la pollution atmosphérique)

4. Accès aux Données :

- Données payantes → Données ouvertes (Copernicus, Landsat)

- Plateformes cloud (Google Earth Engine)

Impact sur l'Étude des Terres Agricoles

Technologie	Application à Tlemcen
Landsat	Suivi historique (1985-2025) de l'occupation des sols
Sentinel-2	Détection hebdomadaire des stress hydriques (NDVI)
MODIS	Surveillance des îlots de chaleur urbains (LST)
Radar (Sentinel-1)	Suivi des sols indépendamment de la couverture nuageuse

Sources : NASA, ESA, CNES, USGS (2023)