الجـــــــــــــــــــــمهـوريـــــة الجـــــــــــــزائـريـة الديمـــــــقـراطيـة الـشـــــــــعبيـة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التـــــــــــــــــــــــــــعـليـم العـــــــالي و البـــــــــــحث العـــــلـمـــي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جـــــــــــــــامعة أبي بكـــر بـلـقـايـد – تـلمســـــــــــــــان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE

MEMOIRE

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

En : (Métier de la ville)
Spécialité : (Géomatique et Gestion du Foncier)
Par : (HASSAINE Siham)

Sujet

Apport de la télédétection géospatiale à l'étude de la dynamique urbaine — cas de la ville de Tlemcen

Soutenu publiquement, le 24 / 06 / 2026, devant le jury composé de :

Mme KAOUADJI Rim	IGC	Université de Tlemcen	Présidente
Mme BENAOUDA Nadjet	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme BOUDALIA Nadia	DR	Université de Tlemcen	Encadreuse

Année universitaire : 2025 /2026

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu le Tout-Puissant d'avoir donné à mon travail les capacités, la force, la bonne volonté, la bonne humeur, et la santé.

Je désire exprimer ma gratitude à ma directrice du mémoire Mme.Boudalia N, pour son accompagnement, ses conseils précieux, la disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. C'est à l'aboutissement de ce travail que les orientations de son encadrement ont grandement contribué.

Je voudrais aussi remercier M.Hamdaoui K, chef du département, pour son effort et son engagement envers les étudiants au cours de notre formation.

Je remercie tous les enseignants du département qui m'avaient formé pour l'Université et m'avaient transmis leurs savoirs et expériences au cours de mes études.

Je remercie également les membres du jury, pour avoir accepté de juger de ce travail et d'y accorder leur temps et leurs attentions.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont, près de loin, participé à la conception de ce mémoire dans son élaboration, conseils, aides et encouragements.

Dédicace

Je dédie ce petit ouvrage à mes très chers parents, pour leur amour, leur patience, leurs sacrifices et pour leur soutien inconditionnel tous ces chemins-ci. Je ne sais pas comment remercier eux pour toutes les efforts qu'ils ont faits pour me faire réussir.

À ma chère sœur et à mon cher frère, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence à mes côtés dans les moments les plus importants.

À toute ma famille, pour son soutien moral, sa confiance et ses prières qui m'ont toujours donné la force d'avancer.

A toutes mes copines/amies avec qui j'ai partagé beaucoup de souvenirs, de moments de joie et de motivation pendant ma scolarité. Merci pour votre soutien, votre aide et vos encouragements en permanence.

Et à tous ceux et celles à qui je suis cher, qui ont, à leur manière, aidé à accomplir ce travail

Résumé

L'expansion urbaine rapide en Algérie transforme profondément les régions, caractérisée par une extension continue des zones bâties au détriment des terres agricoles et des espaces verts. Face à ce rythme accéléré, les méthodes de planification traditionnelles montrent des limites temporelles importantes. C'est pourquoi l'intégration de la télédétection et des systèmes d'information géographique s'impose comme une alternative efficace pour analyser, suivre et cartographier rapidement et précisément les changements régionaux.

La problématique de cette étude soulève la question de l'efficacité des images satellites Landsat et des indicateurs spectraux pour évaluer la couverture du sol entre 1980 et 2020. La recherche vise à étudier quarante années de transformations spatiales en utilisant le logiciel ArcGIS afin de fournir un outil d'aide à la décision lors de la révision des plans d'urbanisme.

Les résultats de l'analyse temporelle révèlent une dynamique urbaine agressive et aléatoire dans l'agglomération de Tlemcen-Mansoura. En 1980, la région montrait un équilibre clair entre un noyau urbain relativement dense et de larges ceintures végétales. L'année 2000 a marqué un tournant, rompant avec l'apparition dense des terrains nus et annonçant une forte préparation immobilière. En 2020, cette tendance a entraîné une expansion urbaine dispersée et incontrôlée : elle se manifeste par une extension fragmentée à Mansoura et un phénomène d’urbanisation intense à Tlemcen. Cette expansion s'est faite au détriment de la couverture végétale et des terres agricoles, qui sont aujourd'hui restantes et fragmentées.

Ces résultats montrent que la gestion administrative seule ne suffit plus pour contenir cette artificialisation non régressive des terres. L’intégration systématique des images satellites apparaît donc comme une nécessité absolue au niveau du plan directeur d’aménagement et d’urbanisme. Cet outil offre une connaissance précise et actualisée du terrain, permettant de modifier les zones d’expansion, de stopper la dégradation des espaces verts et de planifier un développement cohérent pour l’ensemble du complexe intercommunal.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres : Analyse Conventionnelle de la Dynamique Urbaine et l'Intégration des Analyses Satellitaires; La télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) comme outils d'analyse de la dynamique urbaine; Protocole méthodologique et mise en œuvre logicielle appliqués au site de Tlemcen ; et enfin, Confrontation des documents d'urbanisme (PDAU) et de la dynamique urbaine satellitaire de Tlemcen.

Mots clés :

Dynamique urbaine, Télédétection, Système d'information géographique (SIG), Image satellitaire, Indices (NDVI, NDBI et IB), PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme).

ملخص

يغير التوسع العمراني السريع في الجزائر الأقاليم بشكل عميق، ويتميز بامتداد مستمر للمساحات المبنية على حساب الأراضي الزراعية والمناطق الخضراء. وأمام هذا الإيقاع المتسارع، تظهر أساليب التخطيط التقليدية حدوداً زمنية رئيسية. لذلك، يفرض إدماج الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية نفسه كبديل فعال لتحليل التغيرات الإقليمية ومتابعتها ورسم خرائطها بشكل سريع ودقيق

تطرح إشكالية هذه الدراسة تساؤلاً حول مدى فعالية الصور الساتلية لاندسات والمؤشرات الطيفية في تقييم غطاء الأرض بين عامي 1980 و2020. ويهدف البحث إلى دراسة أربعين عاماً من التحولات المكانية باستخدام برمجية أرك جيس لتقديم أداة .للمساعدة في اتخاذ القرار عند مراجعة مخططات التعمير

تكشف نتائج التحليل الزمني عن ديناميكية عمرانية هجومية وعشوائية داخل تجمع تلمسان-المنصورة. ففي عام 1980، أظهر الإقليم توازناً واضحاً بين نواة عمرانية مدمجة نسبياً وأحزمة نباتية واسعة. وشكلت فترة عام 2000 نقطة تحول وقطيعة مع الظهور المكثف للأراضي العارية، مما أعلن عن تهيئة قوية للعقار للبناء. وفي عام 2020، أدت هذه النزعة إلى توسع عمراني متشتت وغير متحكم فيه: تمثل في امتداد مجزأ في المنصورة وظاهرة تخرق عمراني مكثف في تلمسان. وقد تم هذا التوسع على حساب الغطاء النباتي والأراضي الزراعية مباشرة، والتي أصبحت اليوم متبقية ومجزأة

تثبت هذه النتائج أن التسيير الإداري المحض لم يعد كافياً لاحتواء هذا الاصطناع غير الارتجاعي للأراضي. ويظهر الإدخال المنهجي للصور الساتلية كضرورة مطلقة على مستوى المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير. وتقدم هذه الأداة معرفة دقيقة ومحينة للأرض، مما يسمح بتعديل مناطق التوسع، ووقف تدهور المناطق الخضراء، وتخطيط تنمية متناسقة للمجمع المشترك .بين البلديات

تتكون هذه المذكرة من أربعة فصول: الإطار النظري للأدوات الجيومكانية والتوسع العمراني؛ تقديم منطقة الدراسة؛ المنهجية المتبعة في معالجة صور لاندسات؛ وأخيراً، عرض النتائج ومقارنتها بالمخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير من أجل حوكمة عمرانية مستقبلية

الكلمات المفتاحية

الديناميكية الحضرية، الاستشعار عن بُعد، نظام المعلومات الجغرافية الصورة الفضائية، المؤشرات (NDVI, NDBI, IB) PDAU (المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير)

Abstract

Rapid urbanization in Algeria is profoundly transforming territories, marked by a continuous expansion of built-up areas at the expense of agricultural lands and green zones. Facing this accelerated pace, traditional planning methods show major temporal limitations. The integration of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) stands out as an efficient alternative to analyze, monitor, and map territorial mutations quickly and accurately.

The problem statement of this study questions the effectiveness of Landsat satellite imagery and spectral indices (NDVI, NDBI, and BI) in evaluating land use changes between 1980 and 2020. The objective is to examine forty years of spatial transformations using ArcGIS to provide a decision support tool for the revision of urban plans.

The results of the diachronic analysis reveal an aggressive and uncontrolled urban dynamic within the Tlemcen-Mansourah agglomeration. In 1980, the territory showed a visible balance between a relatively compact urban core and vast vegetation belts. The turn of the year 2000 marked a rupture with the massive appearance of bare soils, announcing a strong preparation of land for construction. By 2020, this trend resulted in an uncontrolled, diffuse urbanization: a fragmented sprawl in Mansourah and intense urban scattering in Tlemcen. This extension occurred to the direct detriment of vegetation and agricultural lands, which are now residual and fragmented.

These findings demonstrate that purely administrative management is no longer sufficient to contain this irreversible land consumption. The systematic introduction of satellite imagery appears as an absolute necessity for the Master Plan for Urban Planning and Development (PDAU). This tool offers a detailed and updated knowledge of the ground, making it possible to adjust extension zones, halt the degradation of green areas, and plan a coherent development for the intercommunal area.

This dissertation is structured into four chapters: the theoretical framework of geospatial tools and urban sprawl; the presentation of the study area; the methodological approach to processing Landsat images; and finally, the presentation of the results and their confrontation with the PDAU for future urban governance.

Keywords:

Urban dynamics, Remote Sensing, Geographic Information System (GIS), Satellite Image, Indices (NDVI, NDBI and IB), Master Plan for Land Use and Urban Planning (PDAU).

Table des matières

Remerciements I
Dédicace 3
Résume III
ملخص V
Abstract ..... **Error! Bookmark not defined.**
Introduction générale 1
1. Problématique 2
2. Hypothèses 2
3. L'objectif de la recherche 2
4. L'intérêt de la recherche 3
5. Méthodologie 3
6. Structure du mémoire 4
Chapitre 1 : Analyse Conventionnelle de la Dynamique Urbaine et l'Intégration des Analyses Satellitaires 5
Introduction 6
1.1. Définition de la dynamique urbaine 6
1.1.1. L'urbanisation mondiale depuis 1980 : accélération et ruptures 7
1.1.2. Les défis majeurs de l'urbanisation contemporaine 7
1.2 L'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine 8
1.2.1 Outils et méthodes d'analyse 8
1.2.2 Limites de l'analyse conventionnelle 10
1.3 Analyse spatio temporel (Diachronique) 11
1.3.1. Définition de l'analyse spatio-temporelle 11
1.3.2. Objectifs et apports de l'analyse spatio-temporelle 12
1.4 L'importance des analyses satellitaires 12
1.4.1 Les satellites comme outils d'observation 12
1.4.2 Avantages des analyses satellitaires 13
1.4.3 Synergie entre analyses conventionnelles et satellitaires 13
1.5 Études de cas 14
1.5.1. Limites des études existantes et apport de la présente recherche 22
1.5.2. Approche de la présente étude 22

1.6 Comparaison avec les analyses conventionnelles 18
Conclusion 19
Chapitre 2 : La Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) Comme Outils d'Analyse de la Dynamique Urbaine 20
Introduction 21
2.1. Outils d'Analyse Urbaine par Télédétection 21
2.2. Images satellitaires multi-temporelles 21
2.3. Prétraitement des images.....23
2.4. Liste des logiciels utilisés en télédétection 24
2.5. Indices spectraux pour l'analyse urbaine 27
2.6. Classification des images 29
Conclusion.....32
Chapitre 3 : Protocole Méthodologique et Mise en œuvre Logicielle Appliqués au Site de Tlemcen.....33
Introduction 34
3.1. Critères de choix de la zone d'étude……..41
3.2. Critères de choix des dates d'étude…….……41
3.3. Acquisition des images satellitaire.....34
3.4. Prétraitement et préparation des images satellitaires pour l'analyse spacio-temporelle à travers les indices NDVI, NDBI, IB et la classification de l'occupation du sol 36
- Correction radiométrique.....36
- Correction atmosphérique.....36
- Uniformisation de la résolution spatiale (15 m) 36
3.5. Classification non supervisée pour la cartographie de l'occupation du sol 36
3.6. Occupation du sol de la commune de Tlemcen.....37
3.7. Occupation du sol de la commune de Mansourah.....42
43
3.8. Croissance et étalement urbain en relation avec les facteurs environnementaux 47
3.8.1. Analyse de l'indice de végétation (NDVI) en 1980, 2000 et 2020 47
3.8.2. L'analyse de l'indice NDVI dans la commune de Tlemcen au cours des années 1980, 2000 et 2020 48
Conclusion.....52
Chapitre 4 : Confrontation des Documents d'Urbanisme (PDAU) et de la Dynamique Urbaine Satellitaire de Tlemcen 53

Introduction 54
4.1. Cadre réglementaire et planification urbaine à Tlemcen : PDAU et POS.....54
4.1.1. Présentation du dernier PDAU du groupement de Tlemcen
4.1.2. Le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) du groupement de Tlemcen :
4.1.3. Les prescriptions du PDAU et la dynamique d'évolution urbaine de Tlemcen 56
4.2. Comparaison entre Tlemcen et Mansourah.....58
4.2.1. Selon le PDAU 58
La Commune de Tlemcen.....58
4.2.2. Selon limage satelitaire.....60
Le cas de Tlemcen 68
4.3. Expansion des zones bâties à travers l'indice NDBI……...74
4.3.1. L'analyse de l'indice NDBI dans la commune de Tlemcen pour les années 2000 et 2020. …….74
4.3.2. Dans la commune de Mansourah……..74
4.4. L'indice de brillance (IB)…….74
4.5. La comparaison des indices NDBI en 2000 et 2020 et IB en 1980 entre les communes de Tlemcen et Mansourah……74
4.6. Recommandation pour l'intégration systématique de l'imagerie satellitaire dans le PDAU 69
4.6.1. Perspective pour des recherches a suivre 70
4.6.2.Recommandations sur le choix technique des images.....70
4.6.3. Recommandations sur le traitement et l'analyse des données 70
4.6.4. Recommandations opérationnelles pour les urbanistes (Le volet réglementaire) ...71
Conclusion……..77
Conclusion générale.....71
Bibliographie.....**Error! Bookmark not defined.**

Table des illustrations

Figures.

Figure 1. Bandes de quelques satellites d'observation de la Terre, source : Auteur, 2022
Figure 2. Calibration radiométriquement s'affiche ou la valeur numérique a été modifier en valeur de réflectance, source : Auteur, 2022
Figure 3. Effets atmosphériques sur la transmission du rayonnement électromagnétique, source : Auteur, 2022
Figure 4.. Interface graphique du logiciel QGIS, source : Geofumadas
Figure 5. Environnement de travail du logiciel ArcGIS pour le traitement et la visualisation des données spatiales, source : Geofumadas
Figure 6. Interface du logiciel ArcGIS utilisée pour l'analyse et la cartographie des données géospatiales, source : Geofumadas

Figure 7. Principe de calcul
Figure 8. Définition des échantillons d'apprentissage pour la classification supervisée, source : Auteur, 2023
Figure 9. Changement des couleurs de classe
Figure 10. La carte d'occupation du sol de la commune de Tlemcen
Figure 11. La carte d'occupation du sol de la commune de Mansourah
Figure 12. La carte du NDVI de la commune de Tlemcen
Figure 13. La carte du NDVI de la commune de Mansourah
Figure 14. La carte de situation de la commune de Tlemcen et Mansourah
Figure 15. La carte du NDBI de la commune de Tlemcen, année 2000 et 2020
Figure 16. La carte du NDBI de la commune de Mansourah, 2000 et 2020
Figure 17. La carte du IB de la commune de Tlemcen et Mansourah

Tableaux.

Tableau 1. Défis majeurs dans la planification urbaine, source : Auteure
Tableau 2. Données téléchargées depuis USGS, source : Auteur
Tableau 3. Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol de la commune de Tlemcen
Tableau 1. Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol de la commune de Tlemcen
Tableau 5. Pourcentage de variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol de la commune de Tlemcen
Tableau 6. Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol de la commune de Mansourah
Tableau 7. Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol pour la commune de Mansourah
Tableau 8. Pourcentages des variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol de la commune de Mansourah

Diagrammes.

Diagramme 1 Comparaison entre les classes de l'occupation des sols au fil des années de la commune de Tlemcen

Diagramme 2. Comparaison entre les classes de l'occupation des sols au fil des années de la commune de Mansourah

Introduction générale

Introduction générale

L'urbanisation est en ce moment un phénomène important qui change les territoires urbains et ruraux. La demande de croissance démographique et de développement de l'activité humaine entraîne l'expansion continue des zones bâties, y compris des changements importants dans l'utilisation des terres, tels que la réduction de l'utilisation agricole et des zones végétalisées. Dans plusieurs villes en Algérie, ce phénomène de développement urbain connaît une forte croissance et impacte l'organisation et la planification urbaines.

En face de cette tendance, la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont des instruments efficaces pour analyser et suivre les changements spatiaux. La télédétection fournit des informations à partir des images satellitaires, les SIG aident à traiter, analyser et représenter les données spatiales. L'utilisation de ces technologies ensemble fournit des résultats rapides et précis dans l'étude du changement d'utilisation des terres.

Face à la problématique du développement rapide des villes et au manque de données, les outils d'analyse conventionnels semblent incomplets pour saisir les dynamiques urbaines et y apporter une meilleure gestion. C'est pourquoi, en plus d'étudier le développement chronologique de la ville de Tlemcen à travers les documents d'urbanisme, nous nous sommes penchés sur une analyse satellitaire.

En cette étude, on a utilisé des images satellites Landsat 3 (1980), Landsat 5 (2000) et Landsat 8 (2020) pour analyser l'évolution de l'occupation du sol sur 40 ans. La classification des images, la cartographie et l'analyse spatiale ont été effectuées à l'aide de la suite ArcGIS.

Le NDVI a été utilisé dans cette recherche pour l'analyse de la végétation; le NDBI et l'IB pour l'identification des zones bâties et urbanisées. Ces indices aiment à illustrer la transformation spatiale et le dynamisme de l'étalement urbain.

En outre, les techniques de télédétection et SIG utilisées dans cette étude sont plus efficaces que les méthodes classiques du POS (Plan d'Occupation des Sols) qui demandent fréquemment des sorties sur terrain et un temps long pour la collecte des données. Grâce aux traitements réalisés sous ArcGIS, il est possible d'obtenir rapidement des résultats précis et exploitables.

1. Problématique

L'urbanisation rapide entraîne une modification continue de l'occupation du sol, notamment la diminution des espaces agricoles et naturels au profit des surfaces bâties. Les méthodes classiques basées sur le PDAU nécessitent souvent des sorties sur terrain, des enquêtes et un temps important pour collecter les données.

Dans ce contexte, la problématique de cette étude peut être formulée comme suit :

Comment les techniques de télédétection et les SIG, à travers l'utilisation des images Landsat et des indices NDVI, NDBI et IB, permettent-elles d'analyser efficacement l'évolution de l'occupation du sol et l'étalement urbain entre 1980 et 2020, tout en offrant une méthode plus rapide et plus efficace que les approches classiques du POS ?

2. Hypothèses

- L'utilisation des images satellitaires Landsat permet de détecter et suivre les changements de l'occupation du sol avec une bonne précision.
- Les indices NDVI, NDBI et IB permettent de distinguer efficacement les espaces végétalisés et les zones urbanisées.
- L'étalement urbain entre 1980 et 2020 a entraîné une augmentation importante des surfaces bâties au détriment des espaces agricoles et naturels.
- Les techniques de télédétection et SIG offrent une méthode plus rapide, économique et efficace que les méthodes classiques basées sur le POS et les sorties sur terrain.

3. L'objectif de la recherche

La finalité de cette recherche est d'examiner les processus de transformation des usages du sol et d'urbanisation entre 1980 et 2020 à partir de l'exploitation des images satellites Landsat et des techniques de télédétection et SIG. L'étude se propose aussi d'analyser l'utilisation des indices NDVI, NDBI et IB pour détecter les changements anthropiques et environnementaux.

Dans ce sens, un autre objectif est d'offrir un outil d'aide à la décision qui pourrait éclairer la planification urbaine et orienter la révision du PDAU et des POS de la ville de Tlemcen.

4. L’intérêt de la recherche

L'intérêt de cette recherche est de souligner l'impact de la télédétection et des SIG dans l'analyse des phénomènes urbains, et l'évolution de l'occupation du sol. Cette étude contribue à la compréhension des mutations spatiales de l'urbanisation, de ses effets sur les espaces agricoles, les espaces naturels et l'environnement urbain.

L'analyse de l'évolution de zones bâties et espaces végétalisés sur plusieurs périodes est possible à l'aide des classifications et indices (NDVI, NDBI, IB) obtenus à partir des images satellitaires Landsat et des logiciels SIG, notamment ArcGIS, qui permet d'avoir des résultats rapides et précis sans avoir à procéder à un grand nombre de sorties sur terrain.

En plus, les résultats montrent que les méthodes basées sur la télédétection sont plus rapides que les méthodes classiques de POS (Plan d'Occupation des Sols) qui requièrent beaucoup de temps, des enquêtes détaillées et plusieurs sorties sur terrain pour la collecte des données. C'est donc une solution récente et efficace pour l'analyse et la gestion de l'étalement urbain.

5. Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur plusieurs étapes principales :

- Acquisition des images satellitaires Landsat 3 (1980), Landsat 5 (2000) et Landsat 8 (2020).
- Prétraitement des images satellitaires (corrections radiométriques et atmosphériques et amélioration spatiale).
- Réalisation d’une classification de l’occupation du sol sous ArcGIS.
- Calcul des indices spectraux NDVI, NDBI et IB pour les différentes années étudiées.
- Analyse diachronique des changements de l’occupation du sol entre 1980, 2000 et 2020.
- Comparaison des résultats obtenus avec les données du POS afin d’évaluer l’efficacité de la méthode utilisée.

6. Structure du mémoire

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- **Chapitre 1 :** Analyse Conventionnelle de la Dynamique Urbaine et l'Intégration des Analyses Satellitaires.

- **Chapitre 2 :** La Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) Comme Outils d'Analyse de la Dynamique Urbaine.

- **Chapitre 3 :** Protocole Méthodologique et Mise en œuvre Logicielle Appliqués au Site de Tlemcen

- **Chapitre 4 :** Confrontation des Documents d'Urbanisme (PDAU) et de la Dynamique Urbaine Satellitaire de Tlemcen

Chapitre 1

Analyse Conventionnelle de la Dynamique Urbaine et l'Intégration des Analyses Satellitaires

Introduction

La dynamique urbaine est un champ d'étude essentiel qui vise à comprendre les transformations spatiales et fonctionnelles des villes au fil du temps. Avec l'urbanisation croissante, qui a pris de l'ampleur depuis les années 1980, il est devenu crucial d'évaluer la densité urbaine et l'évolution spatio-temporelle des agglomérations. Ce chapitre vise à exposer les problématiques liées à l'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine tout en soulignant l'importance d'intégrer les analyses satellitaires dans cette étude.

1.1. Définition de la dynamique urbaine

La dynamique urbaine désigne l'ensemble des processus de transformation continue spatiale, démographique, économique et sociale qui affectent les formes et le fonctionnement des établissements humains (Haag & Pumain, 1991). Loin d'être un état statique, la ville se définit par son mouvement. Cette dynamique se manifeste à travers plusieurs phénomènes majeurs :

- **L'extension spatiale et la densification :** Elle oscille entre l'étalement urbain (périurbanisation) qui consomme les espaces agricoles ou naturels, et la densification des centres-villes existants. (Mahtta et al., 2019)
- **La mutation des paysages et des fonctions :** Des zones industrielles obsolètes se transforment en éco-quartiers, tandis que des quartiers résidentiels anciens subissent des processus de **gentrification** ou, à l'inverse, de **paupérisation**. (Jacek et al., 2021)
- **La restructuration morphologique :** La restructuration morphologique renvoie aux transformations continues de la forme urbaine sous l'effet conjoint de la dégradation de certains tissus, de la rénovation, de la réhabilitation et des opérations de régénération qui modifient la physionomie des villes. (Roberts, 2008)

Ces mutations ne sont pas fortuites ; elles résultent de l'interaction constante entre plusieurs forces motrices. Les **politiques publiques** (plans d'urbanisme, investissements d'État) encadrent ou stimulent le développement, tandis que les **forces du marché** (spéculation foncière, attractivité économique) dictent l'affectation des sols. Enfin, les **flux migratoires** et l'évolution des infrastructures de transport agissent comme des accélérateurs de ces configurations spatiales, faisant de la ville un écosystème complexe en perpétuelle réinvention.

1.1.1. L'urbanisation mondiale depuis 1980 : accélération et ruptures

Le tournant des années 1980 correspond à une nouvelle phase de l'urbanisation mondiale, marquée par un changement d'échelle, l'intensification des logiques de mondialisation et le renforcement du rôle stratégique de certaines grandes métropoles dans l'économie mondiale Set10Sas92. Selon les Nations Unies, le passage à un monde majoritairement urbain est généralement situé à **2008**, moment où la population urbaine mondiale a atteint environ 50 % de la population totale. (ONU, World Urbanization Prospects 2007 Revision) et (ONU Info, 26 février 2008)

Cette transition urbaine accélérée se caractérise par deux dynamiques majeures :

- **L'émergence des mégapoles et des régions métropolitaines :**

On assiste à la multiplication de villes de plus de 10 millions d'habitants, particulièrement dans les pays des Sud (Asie, Afrique, Amérique latine), déplaçant le centre de gravité de l'urbanisation mondiale.

- **Une croissance fondamentalement asymétrique :**

Cette dynamique n'est pas homogène. Elle engendre une fragmentation socio-spatiale aiguë, où la juxtaposition de quartiers d'affaires ultra-connectés et de quartiers informels ou bidonvilles met en évidence de profondes disparités économiques.

1.1.2. Les défis majeurs de l'urbanisation contemporaine

Cette transition rapide a pris de vitesse les capacités de planification, créant une crise de gouvernance urbaine qui se décline en trois défis majeurs :

Tableau 2.Défis majeurs dans la planification urbaine, source : Auteure

Domaines de tension	Enjeux principaux
Planification et Infrastructures	Saturation des réseaux de transport, accès défaillant à l'eau potable, à l'assainissement et à l'électricité dans les périphéries.
Fracture Socio-économique	Ségrégation spatiale, crise du logement abordable, et montée de l'informalité comme mode de survie urbaine.
Durabilité Environnementale	Artificialisation des sols, vulnérabilité face au changement climatique (îlots de chaleur, inondations), et gestion critique des déchets.

Désormais, le défi du XXIe siècle ne réside plus seulement dans la gestion de la croissance des villes, mais dans leur capacité à devenir résilientes, inclusives et durables face à ces mutations rapides.

1.2 L'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine

1.2.1 Outils et méthodes d'analyse

Historiquement, l'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine repose sur des méthodes qualitatives et quantitatives, souvent basées sur des données de terrain et des enquêtes. Les outils tels que les Plans d'Occupation des Sols (POS) et les Plans de Développement Urbain (PDAU) sont couramment utilisés pour évaluer les besoins en aménagement et les usages des sols. Ces documents servent de référence pour les politiques d'urbanisme et de développement.

L'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine a évolué au fil des décennies, s'appuyant sur une combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives pour évaluer et comprendre les transformations des espaces urbains. Ces méthodes sont souvent basées sur des données de terrain, des enquêtes sociologiques et des statistiques, ce qui leur confère une certaine légitimité et un ancrage dans la réalité observée.

1.2.1.1 Méthodes Qualitatives

Les méthodes qualitatives incluent des approches telles que les entretiens avec les résidents, les groupes de discussion et l'observation participante. Ces approches permettent de saisir les perceptions, les attentes et les comportements des individus face aux changements urbains. Par exemple, les entretiens peuvent révéler comment les résidents perçoivent le développement de nouveaux quartiers, la gentrification ou les politiques d'aménagement mises en œuvre par les autorités locales.

Ces données qualitatives sont précieuses car elles ajoutent une dimension humaine à l'analyse, permettant de comprendre les motivations sous-jacentes aux comportements urbains et fournissant des perspectives qui ne peuvent pas être capturées par des chiffres seuls.

1.2.1.2 Méthodes Quantitatives

Les méthodes quantitatives, quant à elles, reposent sur des données mesurables, telles que les statistiques démographiques, les données économiques, et les informations sur l'occupation des sols. Ces données sont souvent collectées par le biais d'enquêtes, de recensements, ou encore grâce aux autorités statistiques nationales.

Les indicateurs couramment utilisés incluent :

- **Densité de population** : Mesure du nombre de personnes vivant dans une unité de surface donnée, permettant d'évaluer la concentration urbaine.
- **Taux de croissance démographique** : Indicateur clé des changements dans la population d'une zone donnée.

- **Utilisation des sols** : Analyse des différentes affectations de terrains (résidentiel, commercial, industriel, espaces verts), souvent visualisée à l'aide de cartes thématiques.

Ces données quantitatives fournissent une base objective pour évaluer les besoins en aménagement et pour identifier les zones nécessitant une attention particulière en matière de développement.

1.2.1.3 Outils d'Aménagement

Les **Plans d'Occupation des Sols (POS)** et les **Plans de Développement Urbain (PDAU)** sont des outils essentiels dans l'analyse conventionnelle de la dynamique urbaine.

- **Plans d'Occupation des Sols (POS)** : Ces documents définissent les règles d'utilisation des sols dans une commune. Ils déterminent les zones où la construction est autorisée, les types d'activités permises, et les normes d'aménagement à respecter. Les POS sont cruciaux pour réguler l'expansion urbaine, préserver les espaces naturels et garantir un développement équilibré. Ils intègrent souvent des études d'impact sur l'environnement et la société.
- **Plans de Développement Urbain (PDAU)** : Les PDAU vont au-delà de la seule occupation des sols en établissant une vision à long terme pour le développement d'une ville ou d'une région. Ils prennent en compte des aspects variés, tels que les infrastructures, les transports, les services publics et les espaces publics. Les PDAU sont des documents stratégiques qui orientent les décisions politiques et permettent d'anticiper les besoins futurs en matière d'aménagement.

Ces documents servent de référence pour les politiques d'urbanisme et de développement, et ils sont souvent élaborés en concertation avec les parties prenantes, y compris les citoyens, les urbanistes, et les décideurs politiques. Ils jouent un rôle clé dans la planification des villes en offrant un cadre réglementaire et une vision stratégique pour l'évolution urbaine.

1.2.2 Limites de l'analyse conventionnelle

Malgré leur utilité, les méthodes conventionnelles présentent plusieurs limites :

- **Données incomplètes** : Les données recueillies par des enquêtes peuvent être biaisées, limitées dans le temps ou souffrir d'une couverture géographique inégale.
- **Temporalité** : Les analyses basées sur des données ponctuelles ne peuvent pas capturer les dynamiques à long terme ou les événements ponctuels qui influencent la croissance urbaine.
- **Complexité des interactions** : Les modèles traditionnels peinent souvent à intégrer la complexité des interactions entre facteurs socio-économiques, environnementaux et politiques.

1.3 Analyse spatio temporel (Diachronique)

1.3.1. Définition de l'analyse spatio-temporelle

L'analyse spatio-temporelle constitue une approche permettant d'étudier les phénomènes urbains en tenant compte simultanément de leur dimension spatiale et de leur évolution dans le temps. Elle vise à comprendre les transformations du tissu urbain, les dynamiques de développement, ainsi que les processus de continuité et de changement qui affectent les espaces étudiés. Cette approche repose généralement sur la comparaison de différentes périodes historiques à travers l'utilisation de documents cartographiques, d'archives, de données historiques et d'observations de terrain.

Dans les études urbaines et patrimoniales, l'analyse spatio-temporelle permet d'identifier les permanences et les mutations de la structure urbaine, de comprendre l'évolution des fonctions et des usages des espaces, ainsi que les facteurs ayant influencé ces transformations. Elle contribue ainsi à mettre en évidence les mécanismes qui façonnent l'organisation spatiale des villes au fil du temps.

Appliquée aux centres historiques et aux médinas, cette approche offre une meilleure compréhension des interactions entre héritage urbain, dynamiques socio-économiques et transformations morphologiques. Elle permet notamment d'évaluer la capacité des structures anciennes à s'adapter aux évolutions contemporaines tout en préservant leurs caractéristiques fondamentales.

1.3.2. Objectifs et apports de l’analyse spatio-temporelle

Cette approche permet de mettre en évidence les transformations du tissu urbain en analysant les différentes phases d’évolution d’un espace dans le temps. Elle offre une lecture dynamique de la ville, considérée non pas comme une structure figée, mais comme un organisme en constante mutation. En confrontant plusieurs périodes historiques, elle rend possible l’identification des processus d’extension, de densification, de reconversion ou parfois de dégradation des structures urbaines.

L’analyse spatio-temporelle permet également d’identifier les éléments de continuité et de rupture au sein de la morphologie urbaine. Les continuités se manifestent à travers le maintien de certains tracés viaires, la persistance de centralités commerciales ou encore la stabilité de certains repères symboliques et fonctionnels. À l’inverse, les ruptures traduisent des transformations profondes telles que la disparition de certaines fonctions traditionnelles, la modification des usages de l’espace, ou l’introduction de nouvelles formes urbaines liées à des contextes historiques, économiques ou politiques différents.

Par ailleurs, cette approche contribue à comprendre les dynamiques qui ont façonné l’organisation actuelle de la ville. Elle met en lumière les facteurs multiples qui influencent l’évolution urbaine, tels que les transformations socio-économiques, les interventions urbanistiques, les changements des modes de vie ou encore les pressions démographiques. En croisant ces différents éléments, l’analyse spatio-temporelle permet de reconstruire la logique d’évolution du tissu urbain et d’en comprendre la structure contemporaine comme le résultat d’un processus historique continu.

Ainsi, cette lecture diachronique constitue un outil essentiel pour appréhender la complexité des formes urbaines, en reliant les héritages du passé aux configurations actuelles de la ville.

1.4 L'importance des analyses satellitaires

1.4.1 Les satellites comme outils d'observation

L'utilisation de l'imagerie satellitaire est devenue une méthode incontournable pour étudier la dynamique urbaine. Les satellites, tels que ceux utilisés par Landsat ou Sentinel, offrent des images

haute résolution permettant d'observer les changements dans les paysages urbains sur de vastes étendues géographiques.

1.4.2 Avantages des analyses satellitaires

L'intégration des analyses satellitaires dans l'étude de la dynamique urbaine présente plusieurs avantages :

- **Couverture étendue** : Les images satellites permettent de surveiller des régions difficiles d'accès ou peu couvertes par les enquêtes traditionnelles.
- **Données spatio-temporelles** : Les satellites fournissent des données chronologiques qui facilitent l'analyse des tendances sur plusieurs décennies.
- **Visualisation des changements** : L'imagerie multispectrale permet de visualiser et d'analyser différents types de sols, de végétation et d'infrastructures, offrant ainsi une compréhension plus complète de l'évolution urbaine.

1.4.3 Synergie entre analyses conventionnelles et satellitaires

Pour une évaluation efficace de la dynamique urbaine, il est essentiel d'intégrer les analyses satellitaires avec les approches conventionnelles. Cette synergie permet de :

- **Valider les données** : Les images satellites peuvent servir à valider et compléter les données collectées par les enquêtes traditionnelles.
- **Améliorer la planification** : Une compréhension plus approfondie des dynamiques spatio-temporelles aide les urbanistes à mieux anticiper les besoins futurs en matière d'infrastructure et de services.
- **Promouvoir la durabilité** : En intégrant des analyses basées sur les satellites, les décideurs peuvent mieux évaluer l'impact environnemental des projets urbains et promouvoir des pratiques durables.

1.5 Études de cas

- **Dynamique spatio-temporelle de l'agglomération oranaise (algérie) par télédétection et sig (bendraoua & bedidi, 2011) :**

Cette étude scientifique analyse l'expansion urbaine accélérée de l'agglomération d'Oran, en Algérie, sur une période charnière allant de 1991 à 2003. En combinant la télédétection par images satellites et les systèmes d'information géographique (SIG), les auteurs parviennent à quantifier un étalement massif qui privilégie désormais la périphérie au détriment du centre-ville saturé. L'article met en lumière un décalage profond entre les directives officielles d'aménagement du territoire et la réalité du terrain, marquée par la prolifération de l'habitat informel et une consommation prématurée des réserves foncières.

En superposant les couches de deux dates différentes, le SIG permet de mesurer précisément la superficie additionnelle urbanisée en hectares. Le taux d'accroissement annuel est ensuite calculé en divisant l'évolution de la surface par le nombre d'années séparant les prises de vue satellitaires. Par exemple, cette méthodologie a permis d'établir que le groupement urbain d'Oran s'est urbanisé avec un taux d'accroissement annuel proche de 3 % entre 1991 et 2003, avec des pics atteignant 20,38 % pour certaines agglomérations spécifiques comme Nedjma entre 1987 et 1998.

En somme, ce travail démontre l'efficacité des outils géomatiques pour assurer le suivi des dynamiques spatiales dans les métropoles du Sud où les données statistiques font parfois défaut.

- **Les apports des SIG et de la télédétection dans la compréhension des mutations du système territorial de la région transfrontalière genevois (Bornicchia & Dao, 2005) :**

Cette étude examine les mutations territoriales de la région transfrontalière genevoise en s'appuyant sur la géomatique, combinant les systèmes d'information géographique et la télédétection. Les auteurs analysent comment l'assouplissement des frontières et les accords bilatéraux entre la Suisse et l'Union européenne accentuent la pression démographique et l'étalement urbain dans les communes françaises voisines. En modélisant divers scénarios, la recherche démontre qu'une urbanisation dense est indispensable pour préserver l'équilibre environnemental et socio-économique face à la consommation d'espace. L'utilisation d'images satellitaires permet d'identifier précisément les formes de croissance urbaine et de fournir des outils de planification aux décideurs locaux. Finalement, l'ouvrage souligne l'importance d'une

gouvernance concertée pour assurer un développement durable dans ce système territorial complexe et dynamique.

- **Des territoires vivants pour transformer le monde (Jahel et al., 2017) :** Suivi de dynamiques territoriales par télédétection et modélisation spatiale.

Ce texte présente un chapitre scientifique extrait de l'ouvrage collectif Des territoires vivants pour transformer le monde, consacré à l'étude de l'espace géographique par le biais de technologies avancées. Les auteurs y explorent comment la télédétection et la modélisation spatiale permettent de quantifier et de comprendre les dynamiques territoriales, qu'elles soient d'origine naturelle ou humaine. En fournissant des représentations objectives et des données biophysiques précises, ces outils servent de support à la prise de décision pour l'aménagement du territoire et la gestion de ses transformations complexes. La structure de la source détaille les références académiques nécessaires à sa citation tout en définissant le territoire comme une entité intrinsèquement évolutive dont le suivi rigoureux est essentiel à la gouvernance environnementale.

- **L'apport de la télédétection dans l'observation de l'étalement urbain : l'exemple de l'agglomération d'Avignon-France (Al Khalifeh, 2008) :**

Cette thèse de doctorat explore le phénomène de l'étalement urbain en prenant pour exemple l'agglomération d'Avignon. L'auteur utilise la télédétection et l'analyse de données historiques s'étalant de 1945 à 2005 pour cartographier l'évolution des sols. L'étude s'appuie sur des indicateurs morphologiques et géométriques afin de quantifier la transition entre les zones agricoles et les nouveaux espaces bâtis. Les recherches mettent en lumière la manière dont les infrastructures de transport et les anciens centres ont guidé la croissance de la ville. En examinant l'émergence des zones commerciales et des quartiers pavillonnaires, ce travail illustre la transformation profonde des paysages périurbains français. Cette approche scientifique permet de mieux comprendre les mécanismes de densification et de mutation territoriale propres aux villes moyennes.

- **Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain (Tsayem Demaze, 2010) :**

Cette ressource propose un panorama scientifique analysant 113 articles de recherche consacrés à l'utilisation de la télédétection pour étudier l'étalement urbain. L'auteur, Moise Tsayem Demaze, classe ces publications en six catégories allant de la méthodologie technique à l'analyse des impacts environnementaux et au suivi de la croissance des villes. L'étude révèle une utilisation

prédominante des images Landsat et des photographies aériennes, tout en notant que les recherches se concentrent principalement sur les pays développés et émergents. Ce document par ces statistiques, même si elles ne reflètent pas l'exhaustivité des recherches en télédétection de l'étalement urbain, donnent néanmoins quelques indications qui suggèrent :

• Une très faible utilisation des données hyper spectrales

• Une très faible utilisation des données radar

• Une faible utilisation des données à très haute résolution spatiale

• Une prédominance des images Landsat,

• Une utilisation significative des photographies aériennes.

En conclusion, il souligne le rôle indispensable de l'imagerie spatiale pour quantifier l'urbanisation et promouvoir un développement urbain durable.

L'ensemble des travaux mobilisés met en évidence l'apport déterminant des outils de télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) dans l'analyse des dynamiques spatio-temporelles et de l'étalement urbain. Les recherches de Bendraoua et Bedidi (2011) sur l'agglomération oranaise montrent comment la combinaison d'images satellitaires et de SIG permet de quantifier avec précision l'expansion urbaine et de mettre en évidence le passage d'une croissance centrée sur le noyau urbain vers une urbanisation périphérique rapide, souvent en décalage avec les politiques d'aménagement. Dans une logique similaire, Al Khalifeh (2008) illustre, à travers le cas d'Avignon, l'intérêt des données multi-temporelles pour analyser la transformation des espaces agricoles en zones bâties et comprendre les logiques de structuration urbaine liées aux infrastructures et aux dynamiques socio-économiques. L'étude de Bornicchia et Dao (2005) élargit cette lecture à une échelle transfrontalière, en soulignant que les mutations territoriales résultent également de facteurs politiques et institutionnels, et que la modélisation spatiale constitue un outil d'aide à la décision pour une urbanisation plus équilibrée et durable. De son côté, Jahel et al. (2017) insistent sur le rôle de la télédétection et de la modélisation spatiale dans le suivi global des territoires, considérés comme des systèmes dynamiques nécessitant des outils de suivi continus pour accompagner leur gestion et leur gouvernance. Enfin, la synthèse proposée par Tsayem Demaze (2010) confirme la forte dépendance de la recherche aux images

satellitaires, notamment Landsat, tout en soulignant les limites actuelles liées à la faible utilisation des données à très haute résolution ou radar, ainsi qu'une concentration des études sur certains contextes géographiques.

Ainsi, ces travaux convergent vers une même conclusion : la télédétection et les SIG constituent aujourd'hui des outils incontournables pour analyser, quantifier et comprendre les transformations urbaines. Ils permettent non seulement de suivre l'évolution du tissu urbain dans le temps, mais aussi d'identifier les logiques de croissance, les formes d'étalement et les facteurs structurels qui façonnent les villes contemporaines.

1.5.1. Limites des études existantes et apport de la présente recherche

Malgré la richesse des travaux consacrés à l'analyse de l'étalement urbain par télédétection et systèmes d'information géographique, la revue de la littérature met en évidence une lacune concernant la ville de Tlemcen. À notre connaissance, aucune étude n'a proposé une analyse spatio-temporelle de l'étalement urbain de l'agglomération de Tlemcen en combinant des images satellitaires multi-temporelles, la classification de l'occupation du sol, les indices de télédétection (IB, NDVI et NDBI), l'analyse comparative entre les communes de Tlemcen et Mansourah, le croisement avec les documents de planification urbaine (PDAU). La plupart des recherches existantes portent sur d'autres villes algériennes, telles qu'Oran, ou sur des contextes internationaux.

Ainsi, cette recherche vise à combler cette lacune en proposant une approche intégrée adaptée au contexte de l'agglomération de Tlemcen. Elle offre une vision globale de la dynamique urbaine entre 1980 et 2020, tout en mettant en relation les transformations spatiales observées avec les outils d'aménagement du territoire.

1.5.2. Approche de la présente étude

La présente étude est basée sur l'étude de l'extension de la ville par télédétection et SIG, mais en tenant compte des spécificités de l'agglomération de Tlemcen. Elle s'appuie sur une description diachronique du changement d'affectation des sols à partir des données d'images Landsat des années 1980, 2000 et 2020. Contrairement à d'autres études axées sur la cartographie de la croissance urbaine, cette recherche combine plusieurs approches complémentaires, à savoir la classification de l'occupation de la surface, l'utilisation d'indices de luminosité (IB), d'indices de

végétation (NDVI), d'indices d'urbanisation (NDBI), la comparaison de l'évolution entre les communes de Tlemcen et de Mansourah, relevant du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU). La démarche intégrée permet de quantifier l'évolution du tissu urbain mais aussi de mesurer la cohérence des transformations liées aux orientations de la planification urbaine, ce qui peut être un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires du territoire.

1.6. Comparaison avec les analyses conventionnelles

L'analyse conventionnelle des dynamiques urbaines, traditionnellement basée sur les recensements démographiques, les enquêtes de terrain et les registres administratifs, se heurte aujourd'hui à des limites structurelles majeures. Comme le soulignent les cas d'étude d'Oran et de la région transfrontalière genevoise, les statistiques officielles souffrent souvent d'un décalage temporel important et s'arrêtent brusquement aux frontières administratives ou nationales. De plus, cette approche classique se montre largement aveugle face aux mutations spontanées : elle s'appuie sur le cadre légal des permis de construire et peine à quantifier l'habitat informel ou la consommation réelle et prématurée des réserves foncières en périphérie des villes.

À l'inverse, l'analyse satellitaire couplée aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) opère une véritable rupture en basant son observation sur la réalité biophysique et morphologique du territoire. En s’affranchissant des mailles administratives, la télédétection offre une mine de données objectives et continues, cruciale pour les métropoles du Sud où les outils statistiques font parfois défaut. Elle permet de mesurer précisément, à l'hectare près, l’étalement urbain et de calculer des taux d'accroissement annuels rigoureux grâce à la superposition d'images prises à des dates différentes. C'est cette capacité à cartographier l'occupation réelle du sol qui permet de révéler les contradictions profondes entre les directives d'aménagement et les dynamiques réelles du terrain.

Cependant, l'approche géomatique présente des contraintes techniques et financières qui l'empêchent de se substituer totalement aux méthodes traditionnelles. Le panorama de la recherche montre que si les images d'accès libre (comme Landsat) ou les photographies aériennes classiques sont largement plébiscitées, l'usage des technologies de pointe telles que les données radar, hyper-spectrales ou à très haute résolution spatiale reste encore marginale en raison de leur coût et de la complexité de leur traitement. Dès lors, l'analyse moderne des territoires ne doit pas opposer ces

deux méthodes, mais les combiner : la télédétection apporte la preuve géographique et quantitative des mutations spatiales, tandis que l'analyse conventionnelle fournit l'explication socio-économique et politique indispensable aux décideurs pour planifier un développement urbain durable.

Conclusion

L'analyse de la dynamique urbaine est un domaine en constante évolution, façonné par les défis de l'urbanisation croissante. Bien que les méthodes conventionnelles aient été fondamentales pour comprendre ces dynamiques, l'intégration des analyses satellitaires représente une avancée significative. En combinant les forces de ces deux approches, il est possible d'obtenir une vision plus complète et nuancée de l'évolution des villes depuis 1980 jusqu'à aujourd'hui. Ce chapitre a ainsi posé les bases nécessaires pour explorer les méthodologies et les résultats d'une telle intégration dans les chapitres suivants

Chapitre 2

La Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) Comme Outils d'Analyse de la Dynamique Urbaine

Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation et à l'exploration des outils de télédétection et d'analyse spatiale qui fondent notre démarche méthodologique. Nous y exposerons les principes techniques liés à l'exploitation des imageries satellitaires ainsi que les différents traitements numériques nécessaires à la cartographie de notre zone d'étude. À travers cette présentation, l'objectif est de mettre en évidence la manière dont ces outils géospatiaux permettent de capter, de quantifier et de suivre avec précision l'évolution de l'occupation du sol.

2.1. Outils d'Analyse Urbaine par Télédétection

L'analyse urbaine par télédétection repose sur un ensemble d'outils et de techniques permettant d'identifier, de cartographier et de quantifier l'évolution spatiale des zones urbaines à partir d'images satellitaires multi-temporelles. Ces outils combinent le traitement d'images, les indices spectraux, les méthodes de classification et les analyses spatiales sous SIG.

2.2. Images satellitaires multi-temporelles

L'analyse urbaine nécessite l'utilisation d'images acquises à différentes dates afin d'évaluer la dynamique d'occupation du sol.

Les images satellitaires constituent la principale source de données pour l'analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol et de la dynamique urbaine. Elles offrent une couverture répétitive, une large emprise spatiale et une disponibilité multi-temporelle, ce qui les rend particulièrement adaptées aux études d'étalement urbain. Les satellites sont des objets qui sont en orbite autour d'un autre objet, dans ce cas-ci, la Terre. Par exemple, la Lune est un satellite naturel de la Terre,

2.2.1. Landsat (NASA/USGS) : le premier satellite d'observation Landsat-1 a été lancé par la NASA en 1972. Connu à l'origine sous l'acronyme ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), Landsat avait été conçu pour tester la faisabilité d'une plate-forme multispectrale d'observation de la Terre non habitée.

Depuis, le programme Landsat a permis l'acquisition des données sur tous les coins de la planète.

Le programme Landsat qui était gérée à l'origine par la NASA, est sous la responsabilité de la NOAA, en 1983. En 1985, le programme a été commercialisé pour fournir des données aux divers utilisateurs civils. Avec une résolution 30 m, adapté aux études diachroniques longues.

2.2.2. Sentinel-2 (ESA) : est une famille de satellites d'observation de la Terre développée dans le cadre du programme Copernicus de l'Union Européenne, en collaboration avec l'ESA (Agence Spatiale Européenne).

Ils fournissent des données gratuites et ouvertes pour l'étude de l'environnement, du climat, de l'urbanisation, de l'agriculture, des risques naturels, avec une résolution 10 m à 20 m, haute précision pour l'analyse urbaine récente.

2.2.3. SPOT : Les satellites Spot (Système Probatoire d'Observation de la Terre ou Satellite Pour l'Observation de la Terre) sont une série de satellites de télédétection civils d'observation du sol terrestre. Le programme Spot est réalisé par le CNES (Centre national d'études spatiales) en collaboration avec la Belgique et la Suède. Orbite : quasi polaire, circulaire, héliosynchrone et phasée. Avec une résolution moyenne à haute résolution.

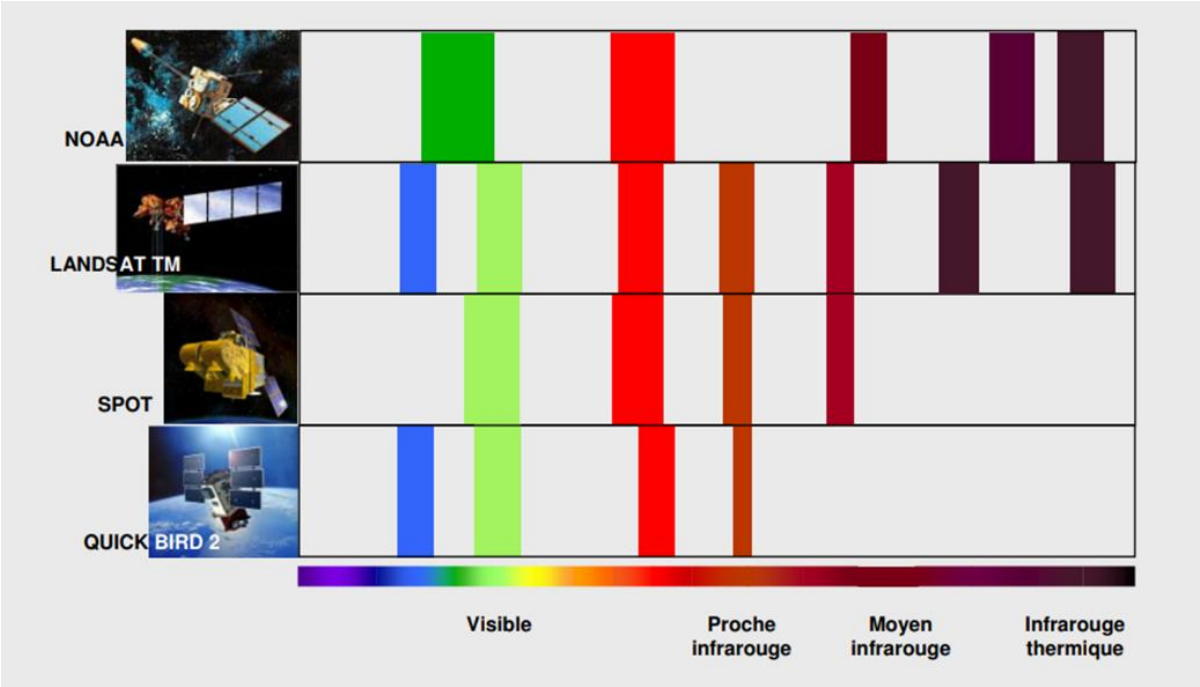


Figure 1. Bandes de quelques satellites d'observation de la Terre, source : Auteur, 2022

2.3. Prétraitement des images

Les prétraitements sont des opérations effectuées sur les images en amont de tout traitements de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement.

Il existe trois types de prétraitements :

2.3.1. Correction radiométrique : La correction radiométrique est appliquée sur les images pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur le terrain. Elle permet la conversion la valeur de pixel de compte numérique à une réflectance.

La correction radiométrique est étape indispensable avant la correction atmosphérique. La normalisation radiométrique de ces images est donc nécessaire pour enlever les distorsions radiométriques et pour les rendre comparables.

Les corrections radiométriques sont indispensables pour mosaïquer des scènes entre elles, de maintenir des conditions d'illumination uniformes d'une scène à l'autre.

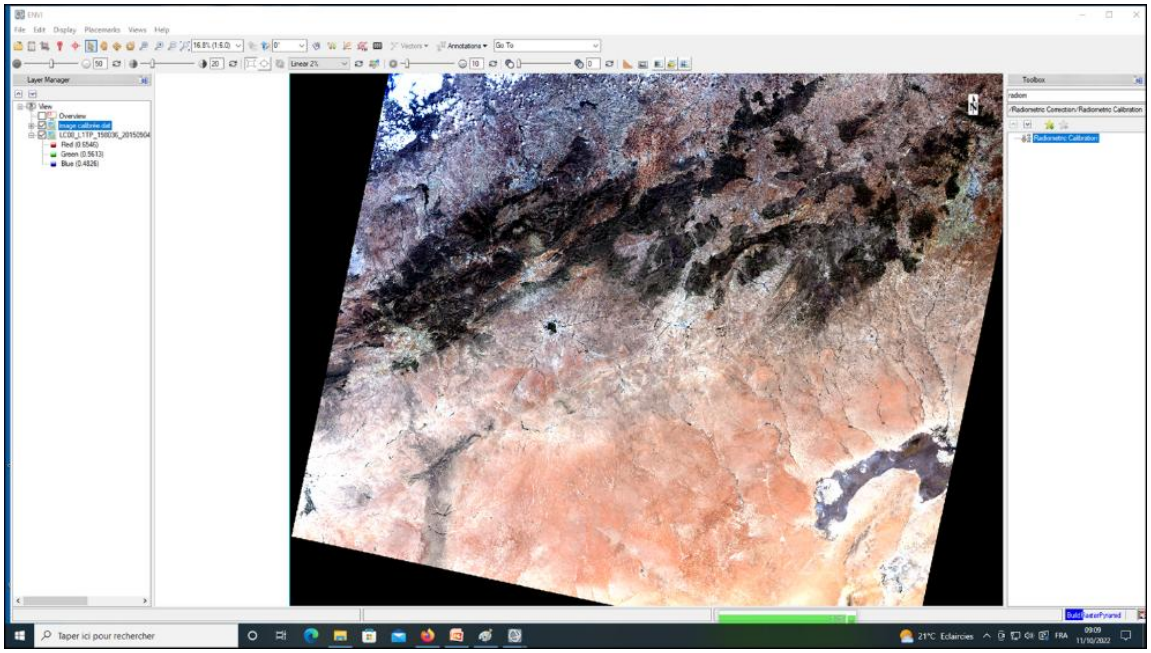


Figure 2. Calibration radiométriquement s'affiche ou la valeur numérique a été modifier en valeur de réflectance, source : Auteur, 2022

2.3.2. Correction atmosphérique :

L'atmosphère perturbe l'observation de la surface terrestre depuis un instrument optique sur un satellite. Deux effets atmosphérique se conjuguent pour altérer les image :

L'observation du rayonnement par les molécules de l'aire.

La diffusion du rayonnement par les molécules et les aérosols.

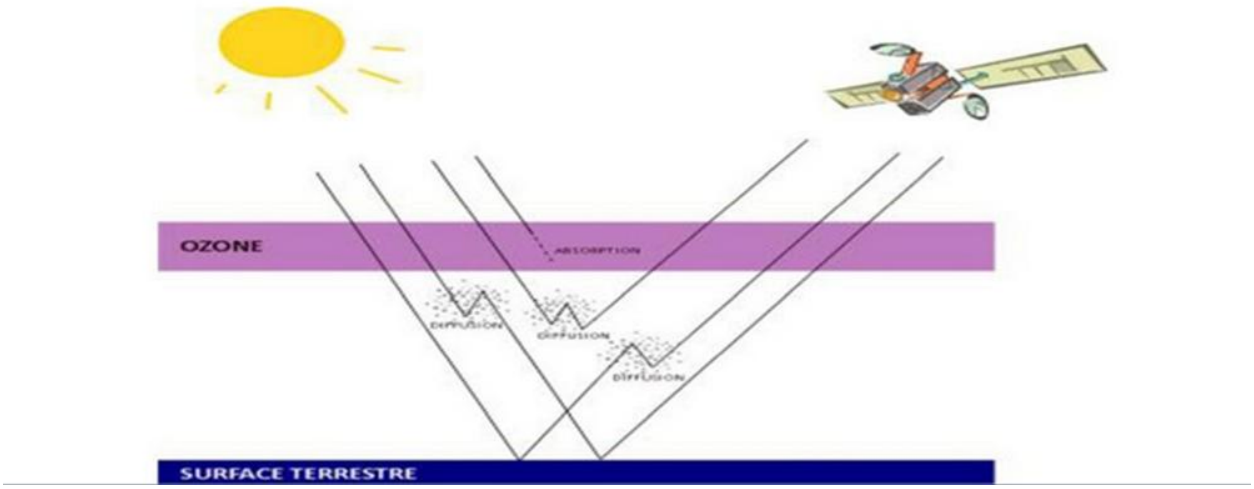


Figure 3. Effets atmosphériques sur la transmission du rayonnement électromagnétique, source : Auteur, 2022

2.3.3. But de correction atmosphérique

- Corriger ces effets pour en extraire la véritable information qui nous intéresse la réflectance de la surface terrestre.
- Pour extraire des informations quantitatives (ex: concentration en chlorophylle, profondeur bathymétrique, etc…)
- Pour comparer deux images en valeurs tonals

2.4. Liste des logiciels utilisés en télédétection

Il existe d'innombrables outils pour traiter les données obtenues grâce à des capteurs à distance. Il convient de noter qu'il existe différents types de données selon leur mode d'acquisition, que ce soit via des satellites actifs/passifs ou des drones.

2.4.1. Logiciel pour le traitement passif/actif des données des capteurs

- **QGIS :** Quantum GIS est une plate-forme SIG open source, au fil des ans, elle a ajouté une grande variété de fonctionnalités et de compléments afin que l'analyste ait la possibilité de traiter et d'obtenir différents types de produits. La chose intéressante à propos de cette plateforme est qu'elle peut être configurée par l'utilisateur, en plus de l'interface SIG de base, il existe de nombreux plugins qui correspondent aux tâches de l'analyste.

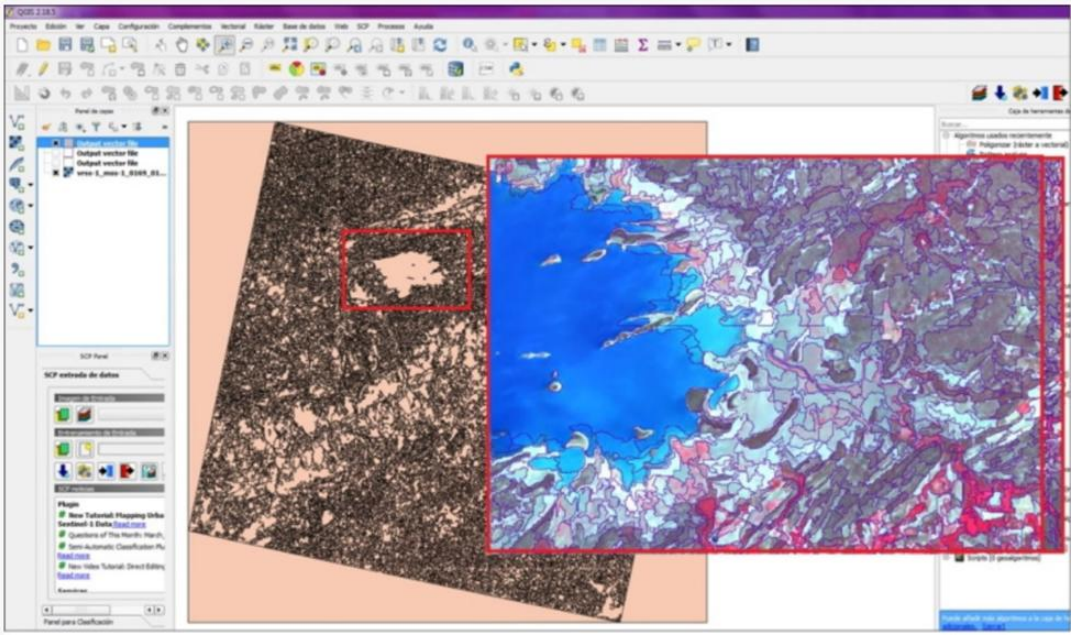


Figure 4. Interface graphique du logiciel QGIS, source : Geofumadas.

- **ArcGIS :** L'un des logiciels les plus complets pour la gestion des données géospatiales. Ils disposent d'un large éventail de fonctionnalités à l'intérieur et à l'extérieur de la plateforme pour réaliser une véritable intégration des données. Dans sa dernière version d'ArcGIS pro, encore plus d'outils de gestion des données satellitaires -l'imagerie- ont été ajoutés. Il dispose également d'autres plugins tels que "Drone2map" alimenté par Pix4D pour créer des produits 2D, 3D à partir de données de drones et ESRI
- SiteScan, conçu pour la cartographie de drones basée sur le cloud, qui fait partie de l'écosystème ArcGIS, avec lequel les images sont traitées multispectrales, thermiques et RVB.
- Les solutions d'Esri pour le traitement de l'information géospatiale sont toujours très complètes et performantes, c'est pourquoi elle est considérée comme un leader dans l'industrie des géotechnologies.

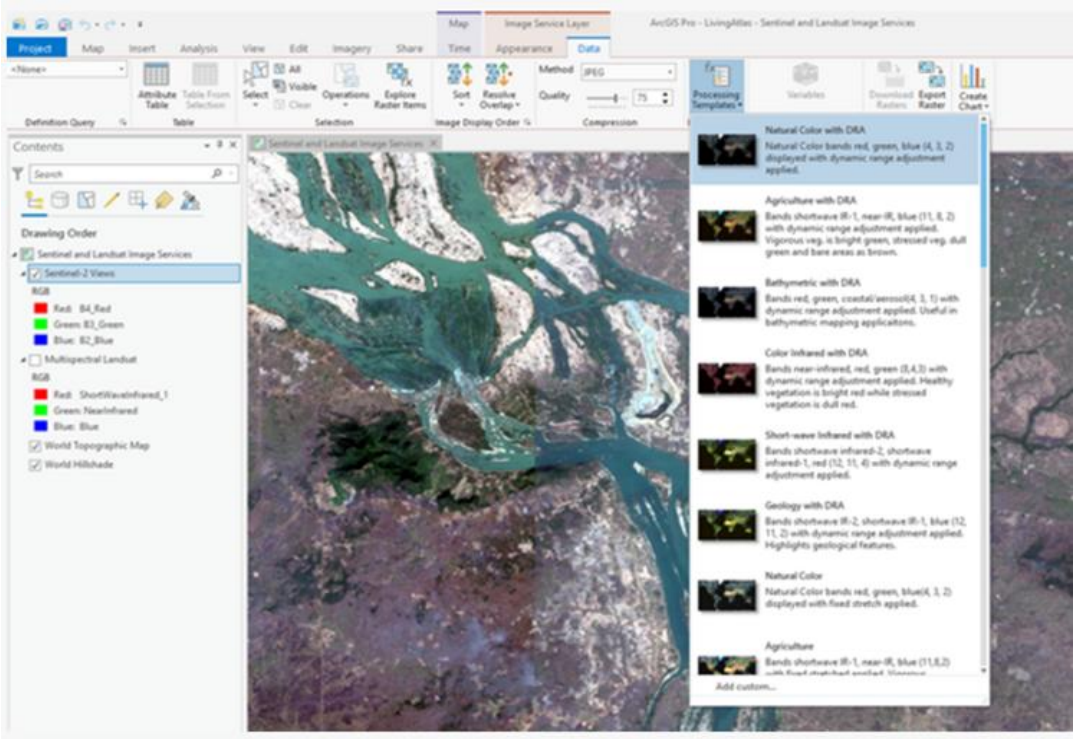


Figure 5. Environnement de travail du logiciel ArcGIS pour le traitement et la visualisation des données spatiales, source : Geofumadas

- **SNAP:** Le SNAP (Plate-forme d'application sentinelle) est un logiciel de l'ESA, destiné à la visualisation, au pré et post traitement des produits de la plateforme Sentinel, bien qu'il admette la visualisation d'images d'autres satellites.

Le système est divisé en parties ou boîtes à outils selon le modèle du satellite. Chaque boîte à outils est installée séparément (Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, SMOS et PROBA-V) et prend également en charge la possibilité de configurer le système pour qu'il fonctionne avec Python (SNAPISTA). Il est très complet, avec lequel vous pouvez même ajouter des données vectorielles telles que des fichiers de formes et des informations provenant de services WMS. Il se connecte directement au Centre d'accès ouvert de Copernicus pour accéder directement aux produits Sentinel.

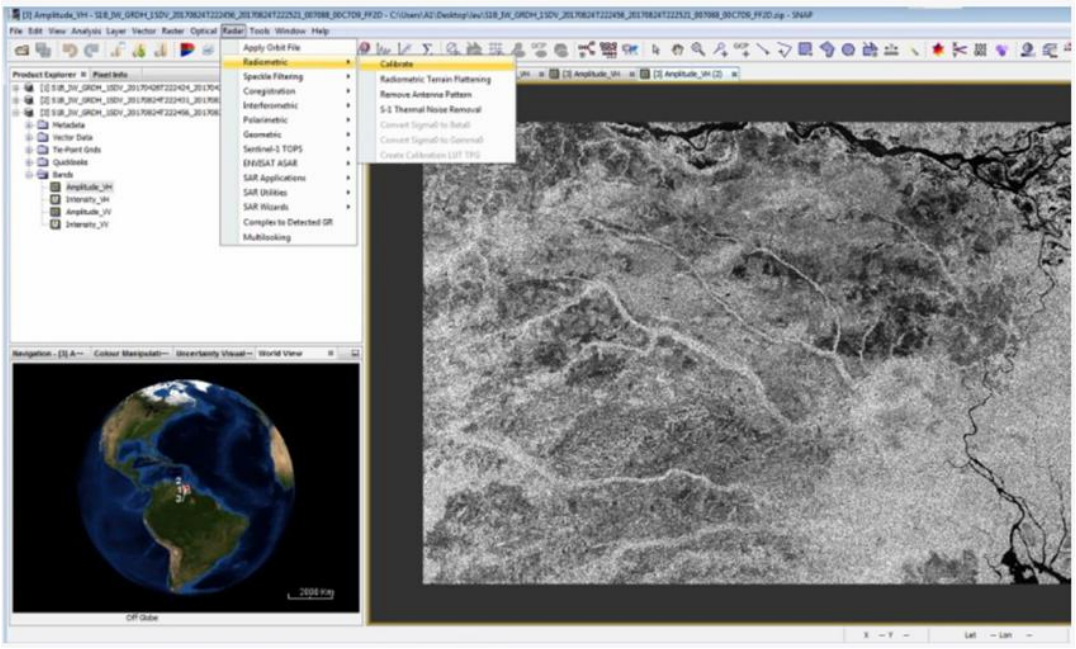


Figure 6. Interface du logiciel ArcGIS utilisée pour l'analyse et la cartographie des données géospatiales, source : Geofumadas

2.4.2. Justification du choix du logiciel ArcGIS

Le logiciel ArcGIS a été retenu en raison de ses nombreuses fonctionnalités dédiées au traitement et à l'analyse des données géospatiales. Il permet de réaliser efficacement le prétraitement des images Landsat, la classification de l'occupation du sol, le calcul des indices de télédétection (IB, NDVI et NDBI), l'analyse diachronique des changements ainsi que la production de cartes thématiques. Son environnement de travail intégré et ses outils d'analyse spatiale en font un logiciel particulièrement adapté à l'étude de l'étalement urbain.

2.5. Indices spectraux pour l'analyse urbaine

La nature numérique des données de télédétection se prête particulièrement bien à des opérations mathématiques entre canaux.

C'est un calcul de la somme des valeurs spectrales d'une image à trois composantes, le calcul s'effectue pour chaque pixel, et le résultat est stocké dans une image numérique ayant le même nombre de pixels que les images de base.

Les indices permettent d'extraire des informations spécifiques sur le bâti et la végétation.

2.5.1. NDBI (Normalized Difference Built-up Index)

L'indice NDBI est un indice spectral utilisé en télédétection pour identifier et cartographier les zones bâties (surfaces urbaines) à partir d'images satellitaires. Il permet de différencier les zones urbaines des surfaces végétalisées.

Son formule est :

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{\mathbf{SWIR + NIR}}$$

Où:

NIR: Proche infrarouge

SWIR (Short Wave Infrared) : Infrarouge moyenne

2.5.2. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

L'indice le plus connu et le plus utilisé est ***l'indice de végétation par différence normalisé*** *ou indice de Tucker* (NDVI en anglais).

Il est utilisé dans des zones qui sont caractérisées par une formation végétale importante face à l'urbanisation.

Son calcul :

$$NDVI = \frac{NIR + RED}{\mathbf{NIR - RED}}$$

Où:

P_{PIR} : Valeur du pixel dans le canal proche infrarouge

P_R : Valeur du pixel dans le canal rouge.

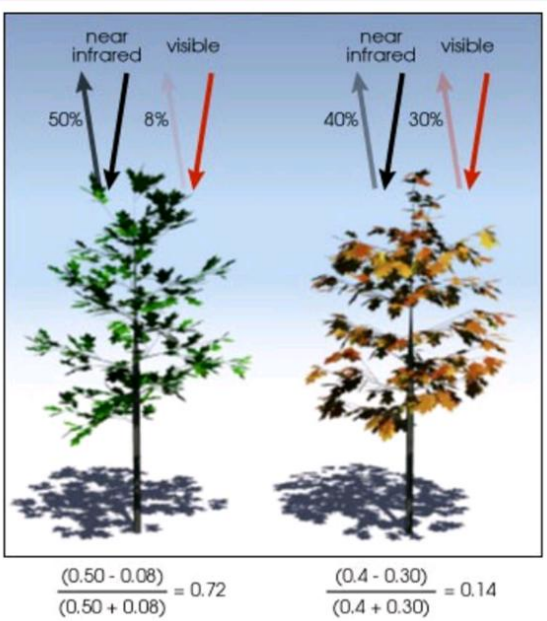


Figure 7. Principe de calcul

2.5.3. IB (l'Indice de Brillance)

L'Indice de Brillance (IB) est un indice spectral utilisé en télédétection pour mettre en évidence les surfaces réfléchissantes telles que les zones bâties, les sols nus et les surfaces minérales.

Formule de l'**Indice de Brillance**

$$\boldsymbol{IB} = \sqrt{(\mathbf{R} \times \boldsymbol{R} + \boldsymbol{PIR} \times \boldsymbol{PIR})}$$

2.6. Classification des images

Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en trois grandes catégories :

- Les méthodes de classification non supervisée c'est à dire complètement automatisées
- Les méthodes de classification supervisée ou l'utilisateur défini un certain nombre de paramètres d'ordre spatiaux ou thématiques en entrée.
- Les segmentations

2.6.1. Classification supervisée

L'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie les échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information).

Ces échantillons forment un **ensemble de données-tests**.

La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image.

L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes.

Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe.

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information et des classes spectrales :
Les classes d'information sont des catégories d'intérêt que l'analyste cherche à identifier dans les images, comme différents types de cultures, d'espèce d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques, etc.
Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques spectrales (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur radiométrique dans les différents canaux.



Figure 8. Définition des échantillons d'apprentissage pour la classification supervisée, source : Auteur, 2023

2.6.2. Classification non supervisée

L'opérateur ne dispose d'aucune information sur la zone d'intérêt ou ne souhaite pas en exploiter dans la phase initiale d'analyse.

2.6.3. Application sous Arc gis

On distingue deux méthodes de classification non supervisée sous Envi :

2.6.3.1. La méthode de K-Mean : Regroupement des pixels de l'image au centre de classes, régulièrement distribués dans l'hyperespace, les plus probables (statistiques). Elle permet une analyse régionale des grands types homogènes de couvertures végétales.

2.6.3. La méthode de classification non supervisée en valeurs égales (Isodata) : Regroupement des pixels de l'image aux centres des classes, régulièrement distribués dans l'hyperespace, les plus proches (distance).

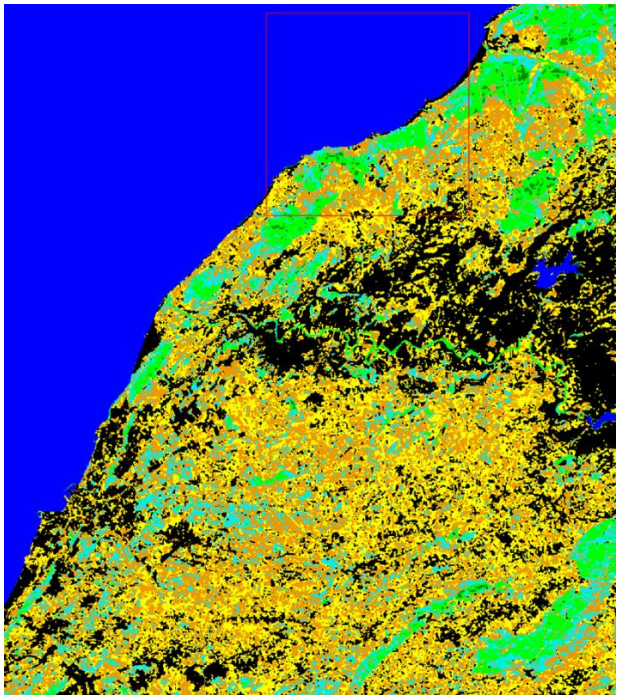


Figure 9. Changement des couleurs de classe

Conclusion

En conclusion, le travail de traitement satellitaire consiste à transformer des données brutes d'imagerie en informations géospatiales exploitables et intelligibles. Cette démarche implique un processus rigoureux qui va de l'acquisition des bandes spectrales aux prétraitements radiométriques et atmosphériques, jusqu'à l'application de classifications supervisées et le calcul d'indices spécifiques. C'est ce flux de travail numérique qui permet de quantifier avec précision les mutations physiques du territoire et de cartographier l'étalement urbain de manière diachronique.

Cependant, cette approche se heurte à plusieurs difficultés techniques et méthodologiques. La principale contrainte réside dans la disponibilité et la qualité des images, souvent soumises à des perturbations atmosphériques ou à des couvertures nuageuses qui peuvent altérer la précision des données. De plus, la résolution spatiale des capteurs plus anciens pose parfois des défis majeurs pour distinguer finement les nuances du sol, notamment dans les tissus urbains denses ou fragmentés où la confusion spectrale entre sols nus et zones bâties est fréquente. Enfin, la maîtrise des logiciels de traitement exige une rigueur constante lors des phases de validation pour éviter les erreurs d'interprétation et garantir la fiabilité des cartes produite

Chapitre 3

Protocole Méthodologique et Mise en œuvre Logicielle Appliqués au Site de Tlemcen

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'analyse spatio-temporelle de la ville de Tlemcen à travers une approche diachronique basée sur l'utilisation d'images satellitaires à différentes dates. Cette démarche s'inscrit dans le prolongement des approches théoriques présentées précédemment, notamment celles mobilisant la télédétection et les SIG pour l'étude des dynamiques urbaines.

Concrètement, nous avons appliqué cette méthode à la ville de Tlemcen afin de mettre en évidence son évolution urbaine dans le temps. L'objectif est d'identifier les principales transformations du tissu urbain, en comparant plusieurs états de la ville à des périodes distinctes. Cette comparaison permet de visualiser les dynamiques d'expansion, de densification et de mutation des espaces urbains.

Dans la suite de ce chapitre, nous procéderons à une analyse diachronique détaillée de la ville de Tlemcen à partir d'images satellitaires sélectionnées à des dates précises. Cette analyse permettra de comprendre les logiques d'évolution urbaine, ainsi que les continuités et les ruptures dans l'organisation spatiale de la ville au fil du temps.

3.1. Critères de choix de la zone d'étude

Le choix des communes de Tlemcen et de Mansourah repose sur plusieurs critères scientifiques et territoriaux. Ces deux communes constituent le noyau principal de l'agglomération de Tlemcen et connaissent, depuis plusieurs décennies, une dynamique urbaine soutenue marquée par une extension progressive des espaces bâtis. Leur continuité spatiale, leur forte interaction fonctionnelle ainsi que leur rôle administratif, économique et résidentiel en font un territoire particulièrement pertinent pour l'analyse de l'étalement urbain. Par ailleurs, la disponibilité d'images satellitaires multi-temporelles (1980, 2000 et 2020) et des documents de planification urbaine, notamment le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU), a permis de réaliser une analyse diachronique fiable de l'évolution de l'occupation du sol et des dynamiques d'urbanisation.

3.2. Critères de choix des dates d'étude

Les années 1980, 2000 et 2020 ont été retenues afin d'analyser l'évolution de l'étalement urbain sur une période de quarante ans. L'année 1980 représente un état de référence caractérisant l'agglomération avant les principales phases d'expansion urbaine. L'année 2000 correspond à une période intermédiaire marquée par une accélération de l'urbanisation liée à la croissance démographique, au développement des infrastructures et à l'extension des zones bâties. Enfin, l'année 2020 reflète la situation récente de l'agglomération et permet d'évaluer les transformations urbaines les plus récentes. Le choix d'un intervalle d'environ vingt ans entre chaque date offre une vision diachronique cohérente des mutations de l'occupation du sol et permet d'identifier les principales tendances de l'évolution urbaine.

3.3. Acquisition des images satellitaire

L'acquisition des images satellite utilisées dans cette étude a été réalisée en utilisant le programme Landsat, reconnu comme une référence de première importance lorsqu'il s'agit du suivi de la progression de la surface terrestre sur de longues périodes. Trois dates ont été sélectionnées (1980, 2000 et 2020) pour analyser la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la commune de Tlemcen et Mansourah. Les images de 1980 proviennent des capteurs TM (Landsat 5) et OLI (Landsat 8) à bord du satellite Landsat 3. L'ensemble des données a été téléchargé sur la plateforme USGS Earth Explorer, qui fournit un accès gratuit et fiable à des images satellites de haute qualité. Pour assurer la comparabilité des données entre les différentes dates, un rééchantillonnage a été utilisé dans le processus de traitement des images. Ces données sont spécialement ajustées pour l'analyse des changements d'occupation du sol au niveau intermédiaire.

Tableau 2. Données téléchargées depuis USGS, source : Auteur

Date	Type	Taille de pixel	Image géoréférencée
15/05/1980	Landsat 03	60m×60m	WGS 84 UTM zone 30 N
18/03/2000	Landsat 05	30m×30m	WGS 84 UTM zone 30 N
26/04/2020	Landsat 08	30m×30m	WGS 84 UTM zone 30 N

3.4. Prétraitement et préparation des images satellitaires pour l'analyse spatio-temporelle à travers les indices NDVI, NDBI, IB et la classification de l'occupation du sol

- **Correction radiométrique**

La correction radiométrique est la première phase de prétraitement des images satellitaires. C'est le passage des valeurs numériques brutes (DN) mesurées par le capteur à des valeurs physiques utiles, comme la radiance puis la réflectance au sommet de l'atmosphère. Cette correction permet de rectifier les imperfections du capteur et les conditions d'acquisition, de façon à obtenir des images homogènes et comparables sur la période d'étude.

- **Correction atmosphérique**

Suite à la correction radiométrique, une correction atmosphérique a été réalisée pour minimiser l'influence de l'atmosphère sur les images satellite. En effet, la diffusion et l'absorption du rayonnement sont des phénomènes qui peuvent être induits par les particules et les gaz atmosphériques. Cette correction permet donc d'obtenir une réflectance plus proche de la réalité (et donc une meilleure précision des analyses, en particulier pour le calcul des indices de NDVI, NDBI et indice de brillance).

- **Uniformisation de la résolution spatiale (15 m)**

Le resample (ou rééchantillonnage) est une opération de base dans l'analyse d'images satellites elle permet de changer la résolution spatiale d'une image raster. Dans cette étude, cette technique a été appliquée pour unifier la taille des pixels à 15 mètres, améliorant ainsi la précision des analyses et la cohérence entre différentes images.

3.5. Classification non supervisée pour la cartographie de l'occupation du sol

La cartographie de l'utilisation des terres pour les villes de Tlemcen et de Mansourah dans cette étude a été réalisée en utilisant une classification non supervisée sur des images satellites de 1980, 2000 et 2020.Cette approche consiste à regrouper automatiquement les pixels en classes d'occupations du sol homogènes, en fonction de leurs propriétés spectrales, sans information a priori sur le terrain. L'algorithme (type K-means ou ISODATA dans ArcGIS) a généré un nombre de classes initiales, qui ont ensuite été regroupées en classes thématiques.

Au final, cinq classes d'occupation du sol ont été définies :

- **Forêts** : Espaces couverts par une végétation arborée dense, correspondant aux formations forestières naturelles ou reboisées.
- **Terres agricoles** : surfaces exploitées pour les activités agricoles, comprenant les terres cultivées et les vergers.
- **Végétation claire** : zones couvertes d'une végétation peu dense ou dispersée, telles que les prairies, les broussailles et les formations herbacées.
- **Sols nus** : surfaces dépourvues de couverture végétale ou de constructions, incluant les terrains rocheux, les terres non cultivées et les espaces dégradés.
- **Zones bâties** : espaces occupés par les infrastructures urbaines, comprenant les habitations, les bâtiments, les routes et autres surfaces artificialisées.

✓ La sélection de ces cinq classes est basée sur les caractéristiques physiques prédominantes de la zone étudiée et aussi sur la capacité des images Landsat à distinguer les principales classes de couverture du sol. Les classes résultant de la classification non supervisée ont été interprétées et regroupées en cinq classes thématiques qui correspondent aux principaux éléments du territoire de Tlemcen et Mansourah. Ce regroupement facilite la visualisation des variations de la couverture du sol, notamment des zones construites par rapport aux espaces naturels et agricoles.

✓ Les classes ont été représentées sur les cartes par des couleurs différentes pour une meilleure lecture.

3.6. Occupation du sol de la commune de Tlemcen

Les figures suivantes présentent les cartes de l'occupation du sol de la commune de Tlemcen pour les années 1980, 2000 et 2020, réalisées à partir d'une classification non supervisée des images satellitaires, afin d'analyser l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol.

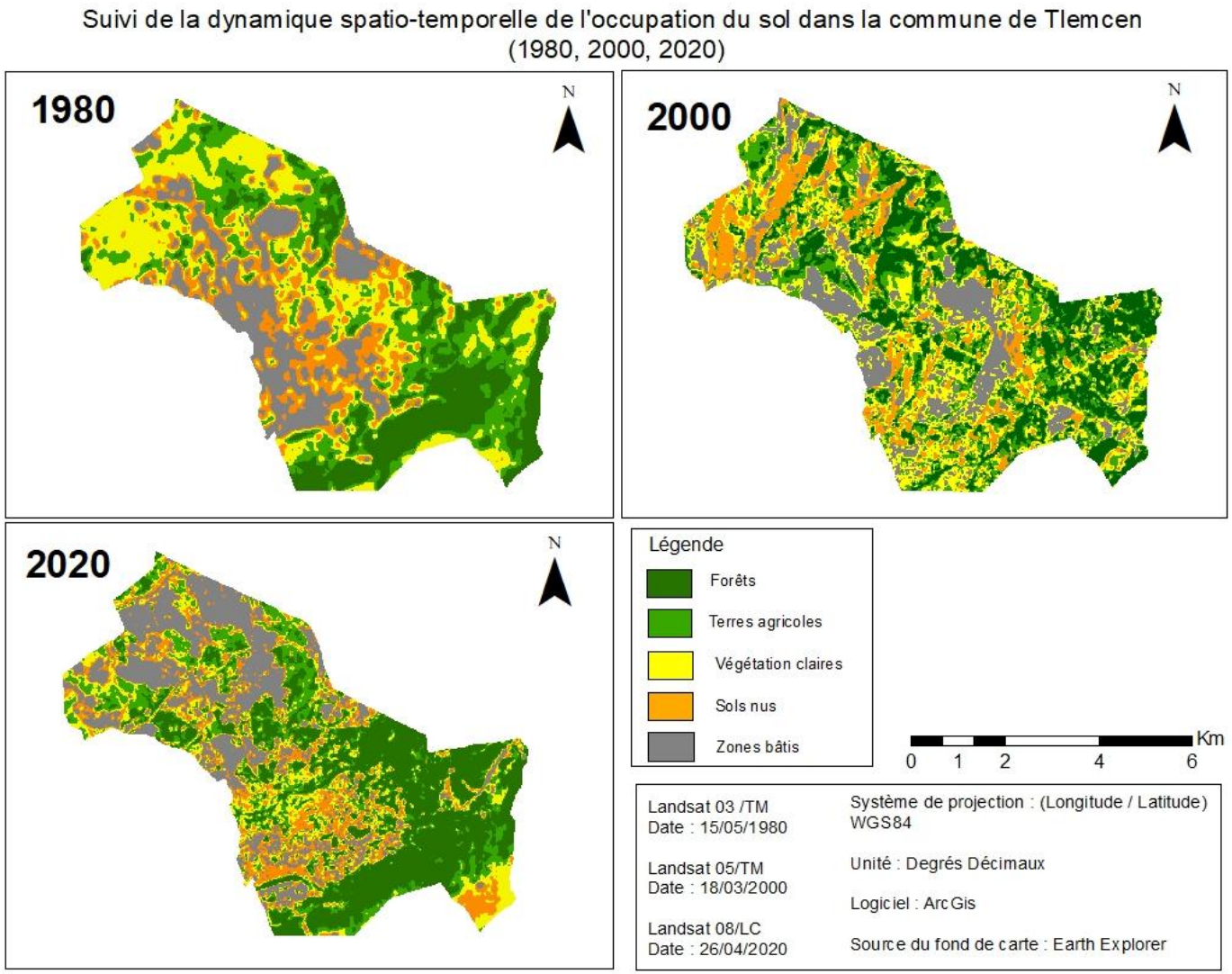


Figure 10. La carte d'occupation du sol de la commune de Tlemcen

3.6.1 L'interprétation des résultats révèle des changements majeurs dans la commune de Tlemcen entre 1980 et 2020.

Une forte croissance a été observée dans les formations forestières, de 814,79 ha en 1980 à 1 312,56 ha en 2020. Cette tendance peut s'expliquer par la reforestation naturelle ou des campagnes de reboisement.

Parallèlement, les zones agricoles ont fortement régressé (de 946,51 ha à 554,22 ha), ce qui indique une transformation de ces surfaces vers d'autres usages, en particulier l'urbanisation.

Les zones de végétation claire ont également diminué (de 717,77 ha à 578,75 ha), signalant un changement du type de végétation. De même, les sols nus ont diminué de 778,93 ha à 612,14 ha.

En outre, l'espace bâti a connu une progression (de 898,31 ha à 1 152,65 ha) entre 1980 et 2020, révélant un phénomène d'urbanisation.

Par conséquent, dans la commune de Tlemcen, la tendance à l'urbanisation et à la diminution des zones agricoles est évidente.

Tableau 3. Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol de la commune de Tlemcen

Types de classes	Superficie (ha)		
	1980	2000	2020
Forêts	814,7925	1103,67	1 312,56
Terrains Agricoles	946,5075	813,465	554,22
Végétations Claires	717,7725	713,88	578,745
Sols nus	778,9275	775,5525	612,135
Zones bâties	898,3125	803,745	1 152,6525
Total	4 210,3125	4 210,3125	4 210,3125

Les valeurs données dans le tableau 4 sont les problèmes des calculs qui ont été effectués sur la base du tableau 3. Ce tableau met en évidence les fluctuations des surfaces des différentes classes à chacune des périodes observées, et permet ainsi de déterminer les tendances de l'évolution, qu'elles soient de caractère progressif ou régressif. Par ailleurs, le tableau 5 traduit ces mêmes variations en pourcentages et fournit une meilleure appréciation de l'ampleur de la variation observée.

Tableau 3. Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol d a commune de Tlemcen

Types de classes	Variation (ha)		
	1980-2000	2000-2020	1980-2020
Forêts	+288,8775	+208,89	+497,7675
Terrains Agricoles	-133,0425	-259,245	-392,2875
Végétations claires	-3,892	-135,135	-139,027
Sols nus	-3,375	-163,4175	-166,7925
Zones bâties	-94,5675	+348,9075	+254,3405

Tableau 5. Pourcentage de variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol de la commune de Tlemcen

Types de classes	Variation (%)		
	1980-2000	2000-2020	1980-2020
Forêts	+35,45%	+18,93%	+61,09%
Terrains Agricoles	-14,06%	-31,87%	-41,45%
Végétations claires	-0,54%	-18,93%	-19,37%
Sols nus	-0,43%	-21,07%	-21,41%
Zones bâties	-10,53%	+43,41%	+28,31%

3.6.2. Évaluation diachronique des évolutions de l'occupation du sol de la commune de Tlemcen

3.6.2.1. Période 1980–2000

L'occupation du sol de la commune de Tlemcen est caractérisée par une dynamique plutôt opposée entre 1980 et 2000. Une augmentation notable de +288,88 ha, traduisant une amélioration du couvert végétal, possiblement liée à des actions de reboisement ou à une régénération naturelle. En revanche, les terres agricoles connaissent le début d'un changement de -133,04 ha (-14,06 %), ce qui peut indiquer les premiers pas vers la transformation des espaces ruraux. Les classes de végétation clairsemée et de sols nus restent stables partout, avec de très petites diminutions (respectivement -0,54 % et -0,43 %). En dehors de la ville, les zones urbaines enregistrent un déclin

de (-94,57 ha) (-10,53 %), ce qui peut s'expliquer par l'existence de limites en relation avec la classification ou la qualité des données anciennes.

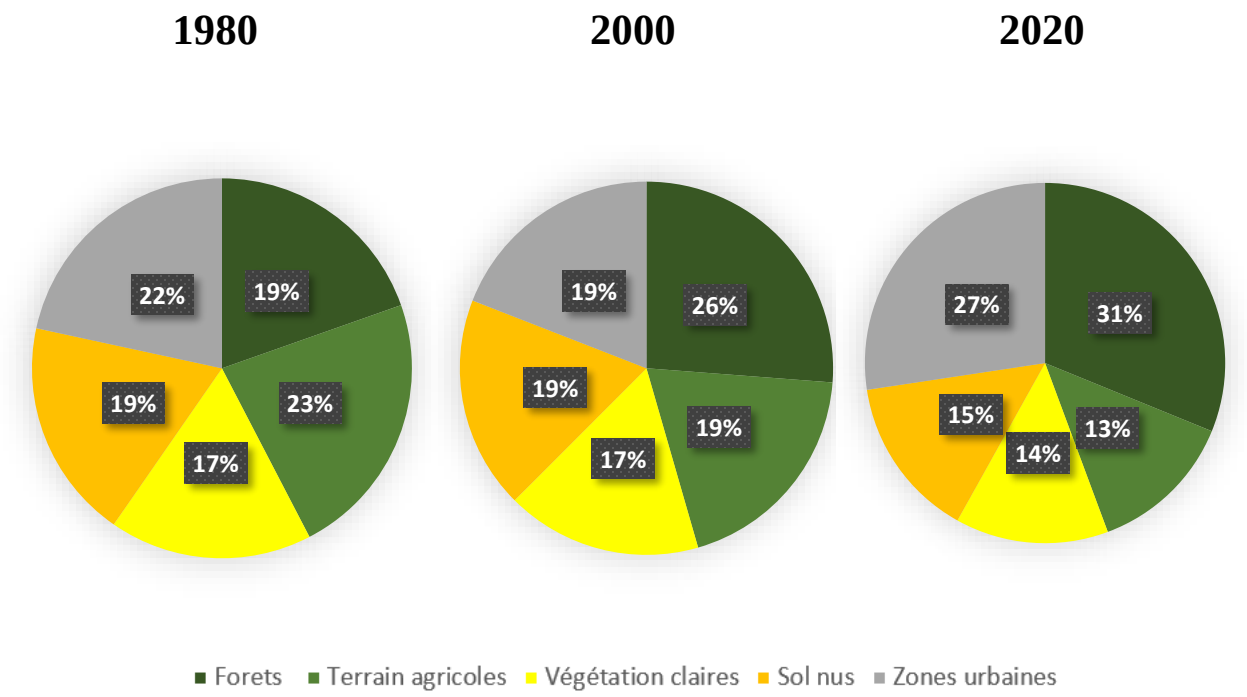
3.6.2.2. Période 2000–2020

La période 2000-2020 montre un changement beaucoup plus marqué. Les forêts continuent de progresser davantage (+208,89 ha +18,93 %), ce qui confirme une tendance positive de la désirabilité du couvert végétal. Les classes claires des végétations et des sols nus diminuent également de manière significative (respectivement -18,93 et -21,07), ce qui peut être une indication de leur conversion à d'autres usages. Le changement le plus notable concerne les zones urbaines, qui enregistrent une forte augmentation de +348,91 ha, soit +43,41 %, ce qui témoigne d'un phénomène d'urbanisation accélérée.

3.6.2.3. Période globale 1980–2020

Les dynamiques identifiées confirment un changement radical du territoire basé sur les tendances observées sur l'ensemble de la période 1980-2020. Les forêts affichent un gain global de +497,77 ha (+61,09 %), ce qui reflète une amélioration d'ampleur significative du couvert végétal. En compensation, les terres agricoles connaissent une réduction très importante de (-392,29 ha) (-41,45 %), compensant une diminution continue de cette classe, au profit d'autres occupations. Les classes de végétation claire et des sols nus présentent également des baisses respectives de (-19,37) et (-21,41). Enfin, les zones urbaines enregistrent une augmentation significative de +254,34 ha en plus d'un changement négatif de +28,31, ce qui confirme la présence d'une extension urbaine progressive au détriment des espaces naturels et agricoles.

Diagramme 1. Comparaison entre les classes de l'occupation des sols au fil des années de la commune de Tlemcen



3.7. Occupation du sol de la commune de Mansourah

Les figures suivantes présentent les cartes de l'occupation du sol de la commune de Mansourah pour les années 1980, 2000 et 2020. Réalisées à partir d'une classification non supervisée des images satellitaires, elles permettent d'analyser l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol et les principales transformations du territoire au cours de cette période.

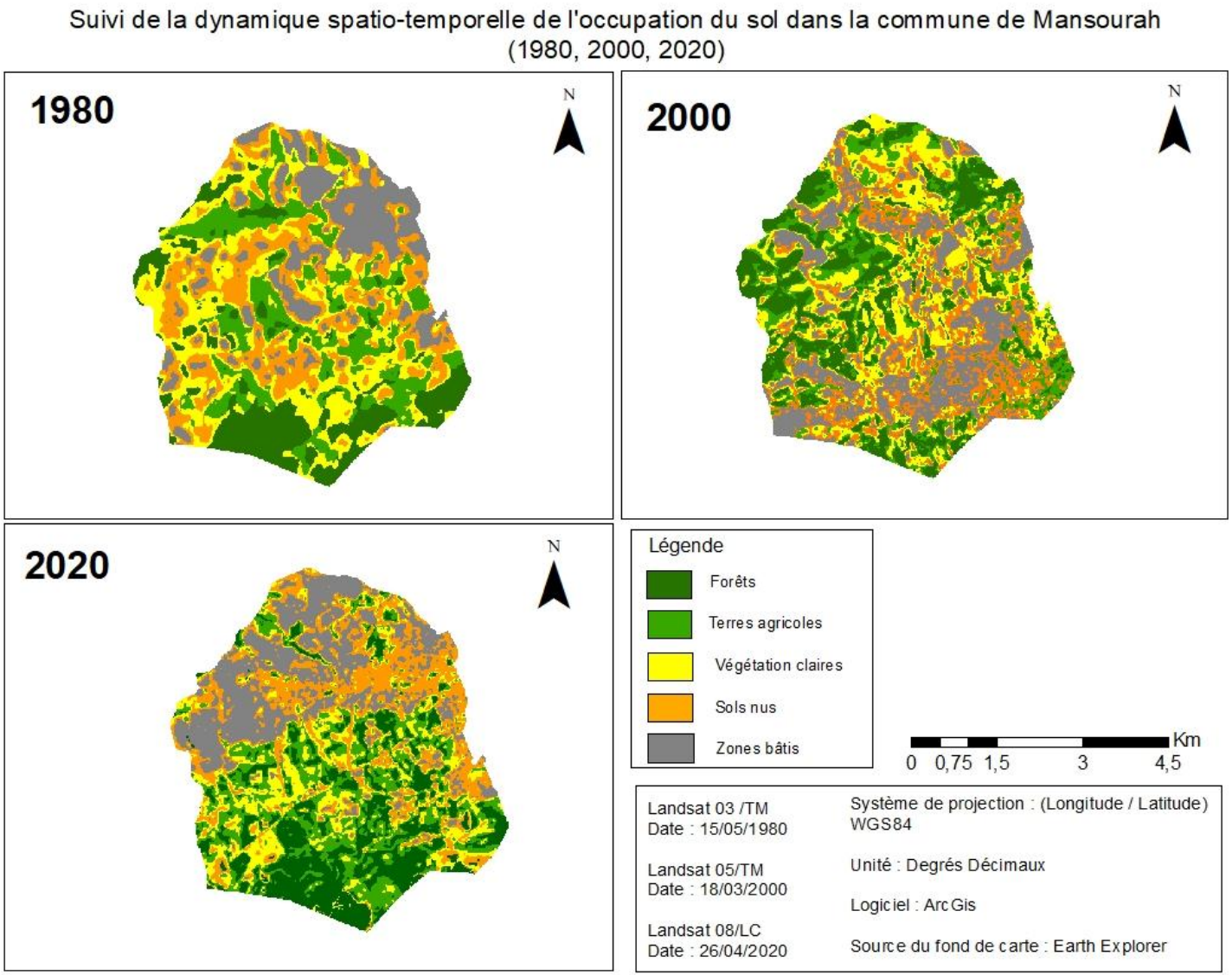


Figure 11. La carte d'occupation du sol de la commune de Mansourah

3.7.1. L'interprétation des résultats révèle des changements majeurs dans la commune de Mansourah entre 1980 et 2020.

La commune de Mansourah a également une dynamique d'occupation du sol importante, plus accentuée que celle de Tlemcen.

Les forêts ont progressé de 609,01 ha en 1980 à 788,31 ha en 2020, indiquant une amélioration du couvert forestier.

Les surfaces agricoles ont connu une légère

Les surfaces nues ont fortement régressé (de 588,26 ha à 369,27 ha), vraisemblablement en raison de leur occupation par des surfaces bâties.

En fait, les zones d'habitation ont fortement augmenté (de 423,95 ha en 1980 à 734,72 ha en 2020). Cette augmentation confirmée révèle que Mansourah est une zone d'urbanisation de Tlemcen.

Tableau 6. Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol de la commune de Mansourah

Types de classes	**Superficies (ha)**		
	1980	**2000**	**2020**
Forêts	609,0075	715,8825	788,31
Terrains Agricoles	465,7275	415,53	385,6725
Végétations Claires	442,8675	365,6925	251,8425
Sols nus	588,2625	388,9125	369,27
Zones bâties	423,945	643,7925	734,715
Total	2 529,81	2 529,81	2 529,81

Tableau 7. Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol pour la commune de Mansourah

Types de classes	Variation (ha)		
	1980-2000	**2000-2020**	**1980-2020**
Forêts	+106,875	+72,4275	+179,3025
Terrains agricoles	-50,1975	-29,8575	-80,055
Végétations claires	-77,175	-113,85	-191,025
Sols nus	-199,35	-19,6425	-218,9925
Zones bâties	+219,8475	+90,9225	+310,77

Tableau 8. Pourcentages des variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol de la commune de Mansourah

Types de classes	Variation (ha)		
	1980-2000	**2000-2020**	**1980-2020**
Forêts	17,55%	+10,12%	+29,44%
Terrains Agricoles	-10,78%	-7,19%	-17,19%
Végétations Claires	-17,43%	-31,13%	-43,13%
Sols nus	-33,89	-5,05%	-37,23%
Zones bâties	51,86%	+14,12%	+73,3%

3.7.2. Analyse temporelle des transformations des classes d'occupation du sol

3.7.2.1. Période 1980 et 2000

L'occupation du sol dans la commune de Mansourah connaît certains changements d'une grande importance marqués principalement par une tendance à l'urbanisation. Les zones d'urbanisation enregistrent une forte croissance de +219,85 ha, soit +51,86 %, ce qui se traduit par un premier essor de la croissance urbaine. Parallèlement, les forêts augmentent de +106,88 ha (+17,55 %), ce qui reflète une amélioration relative du couvert végétal. En revanche, les terres agricoles connaissent une croissance négative de -50,20 ha (-10,78 %), ce qui indique une pression

progressive sur les terres agricoles. Les classes de végétation claire et de sols nus diminuent respectivement de -17,43 % et -33,89 %, traduisant les transformations qu'elles subissent vers d'autres formes d'occupation du sol, par lesquelles les classes de végétation évoluent.

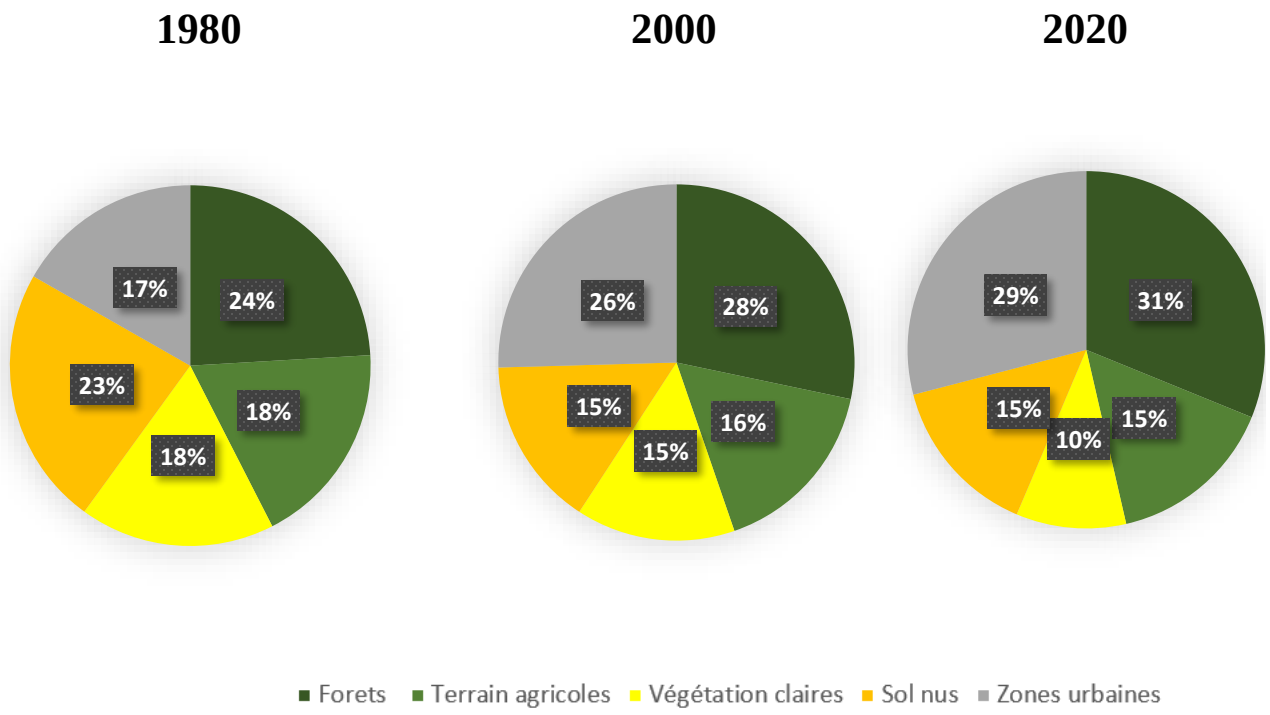
3.7.2.2. Période entre 2000 et 2020

Les dynamiques identifiées durant la période 2000-2020 continuent avec un degré d'intensité différent. Les zones urbaines continuent de s'étendre avec une augmentation de +90,92 ha (+14,12 %) ce qui confirme la continuité du processus d'urbanisation. Dans la direction opposée, les terres agricoles poursuivent leur régression (-29,86 ha -7,19 %), bien que de manière moindre comparé à la période précédente. Les catégories de végétation claire et les sols nus continuent de diminuer, respectivement de -31,13 % et de -5,05 %.

3.7.2.3. Période entre 1980 et 2020

Sur l'ensemble du territoire de la période 1980-2020, les résultats mettent en évidence une refonte du territoire à un niveau profond. Les zones urbaines révèlent la plus forte croissance avec +310,77 ha, ce qui correspond à +73,3 points de pourcentage, prouvant l'existence d'un important étalement urbain. Les forêts connaissent, également, une augmentation remarquable de +179,30 ha (+29,44 %), traduisant une amélioration du couvert végétal. En revanche, les terres agricoles enregistrent une baisse globale de -80,06 ha (-17,19 %), ce qui témoigne de leur déclin progressif. Les classes de végétation clairsemée et de sols nus ont des baisses importantes, respectivement de -43,13 % et -37,23 %, ce qui reflète leur transformation vers d'autres usages, en particulier urbains.

Diagramme 2. Comparaison entre les classes de l'occupation des sols au fil des années de la commune de Mansourah



3.8. Croissance et étalement urbain en relation avec les facteurs environnementaux

À cette fin, les indices NDVI (végétation), NDBI (bâti) et IB (brillance) ont été mobilisés afin d'évaluer respectivement la densité de la couverture végétale, l'intensité de l'urbanisation et la présence de surfaces de couverture minérale. La combinaison de ces indices par exploitation permet d'offrir une lecture plus fine des transformations de l'espace, ainsi que de mieux comprendre les interactions entre l'urbanisation et l'environnement.

3.8.1. Analyse de l'indice de végétation (NDVI) en 1980, 2000 et 2020

L'indice de végétation à normalisation différentielle (NDVI) a été utilisé sur la base de l'évaluation de la dynamique annuelle de la couverture végétale aux années 1980, 2000 et 2020. La différence de réflectance entre l'infrarouge proche et le rouge permet de différencier entre les zones végétalisées et les surfaces non végétalisées.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

3.8.2. L'analyse de l'indice NDVI dans la commune de Tlemcen au cours des années 1980, 2000 et 2020

L'indice met en évidence un développement progressif de la couverture végétale dans la zone. La végétation, en 1980, est globalement présente avec une prépondérance des classes de végétation moyenne et forte, en particulier dans les zones périphériques

Dans le cas d'une observation effectuée en 2000, on note un léger recul des zones à végétation dense au profit de la végétation de densité moyenne, ce qui peut s'expliquer par l'extension de la ville et le changement d'occupation du sol.

En 2020, la tendance au déclin de la végétation forte devient encore plus marquée, avec une augmentation de la taille des zones à végétation faible, indicative d'une détérioration progressive du couvert végétal.

Cette évolution reflète une pression de plus en plus anthropique, qui affecte en particulier les densités et la santé de la végétation.

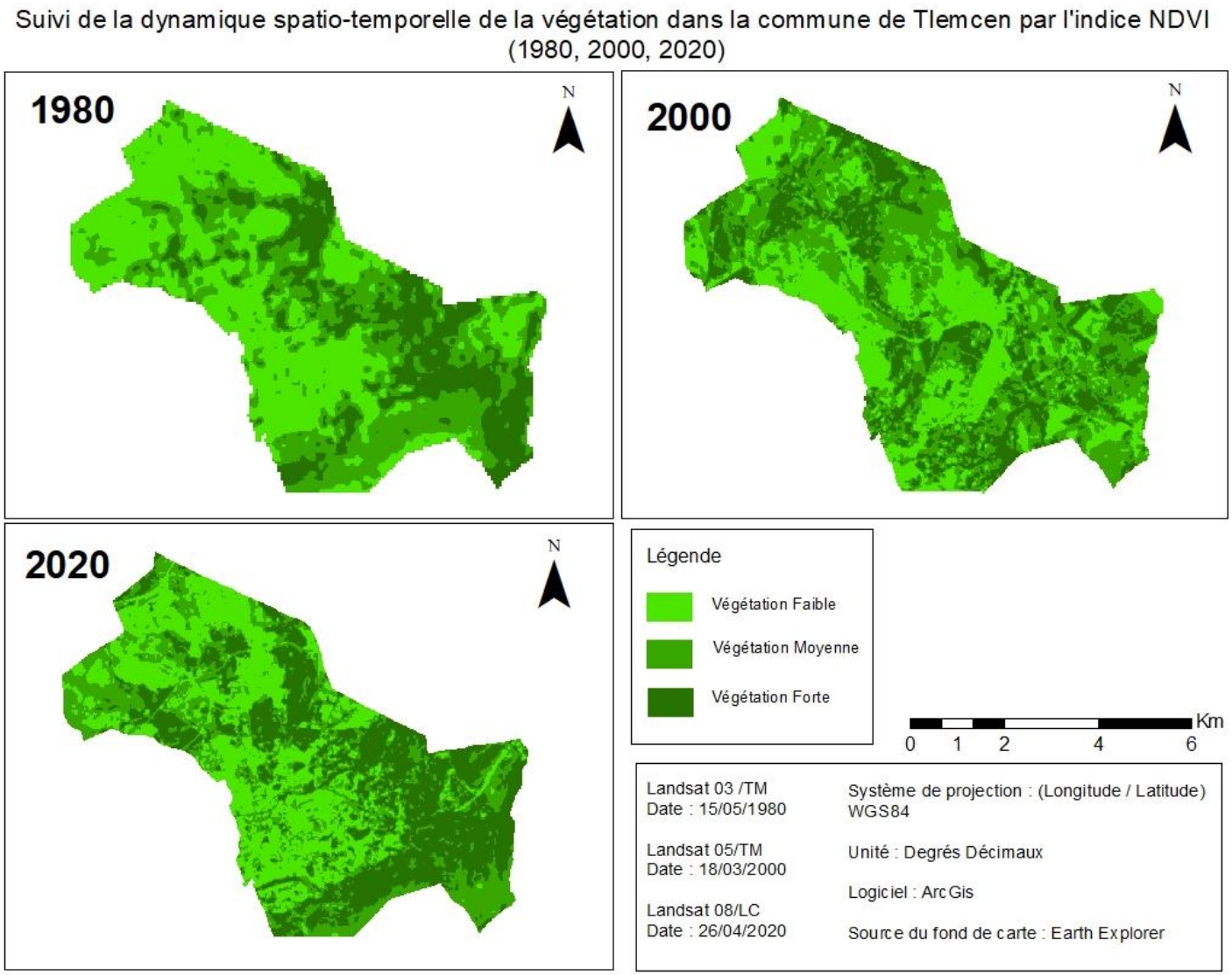


Figure 12. La carte du NDVI de la commune de Tlemcen

3.8.3 L’analyse de l’indice NDVI dans la commune de Mansourah au cours des années 1980, 2000 et 2020

L’analyse du NDVI montre également une évolution temporelle de la végétation, mais avec des caractéristiques différentes.

En 1980, la végétation est relativement homogène avec une présence importante de végétation moyenne et forte.

En 2000, une diminution des zones de végétation dense est observée, accompagnée d’une augmentation des surfaces à végétation moyenne.

En 2020, cette tendance s’accentue avec une dominance de la végétation faible et moyenne, indiquant une réduction de la densité végétale.

Cette dynamique traduit une transformation rapide du territoire, fortement influencée par l’expansion urbaine et la pression sur les espaces naturels.

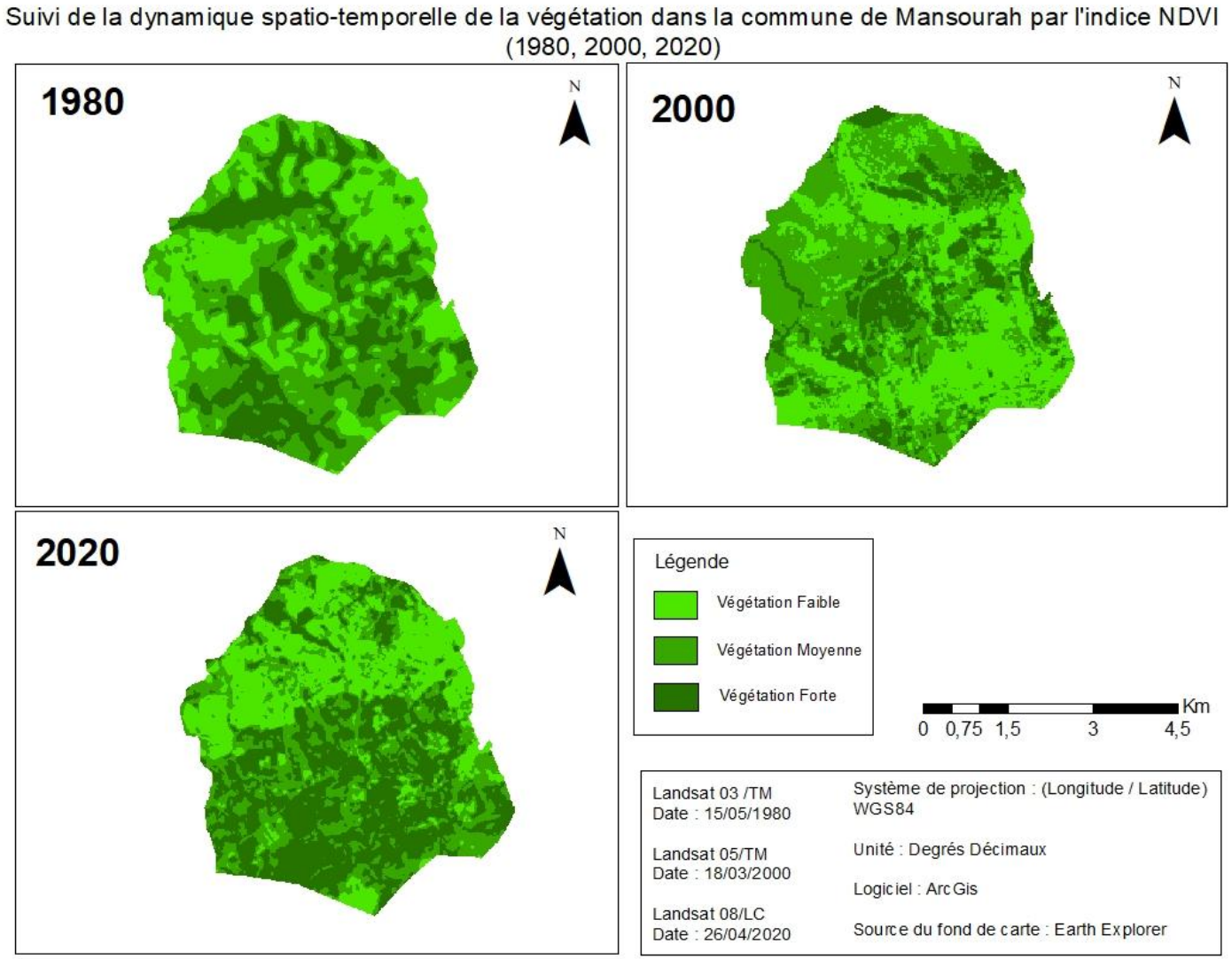


Figure 13. La carte du NDVI de la commune de Mansourah

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de réaliser une analyse urbaine diachronique du développement de la ville de Tlemcen à travers l'exploitation d'images satellitaires sur différentes périodes. Le choix de comparer la ville de Tlemcen avec la commune de Mansourah a été motivé par la volonté de mieux comprendre les dynamiques d'extension urbaine et les différences dans les logiques de croissance entre ces deux entités.

Cette comparaison met en évidence des trajectoires urbaines différenciées. En effet, la ville de Tlemcen semble avoir connu, dans ses phases initiales, une croissance relativement structurée et mieux encadrée par les dispositifs de planification urbaine. À l'inverse, la commune de Mansourah apparaît marquée par une urbanisation plus rapide et moins maîtrisée, traduisant des formes d'expansion parfois non planifiées.

Ainsi, cette analyse diachronique permet de souligner les contrastes dans les dynamiques de développement urbain au sein de l'agglomération tlemcénienne et met en lumière les effets des modes de planification sur l'organisation spatiale actuelle.

Chapitre 4

Confrontation des Documents d'Urbanisme (PDAU) et de la Dynamique Urbaine Satellitaire de Tlemcen

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la confrontation entre les documents d'urbanisme, notamment le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et les Plans d'Occupation des Sols (POS), et la dynamique urbaine observée à travers l'analyse des images satellitaires de la ville de Tlemcen. Cette démarche s'inscrit dans la continuité de l'analyse diachronique réalisée précédemment, qui a permis de mettre en évidence les principales évolutions spatiales de la ville.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer le degré de concordance entre les orientations prévues par les instruments de planification urbaine et les transformations réellement observées sur le terrain. Pour cela, nous croiserons les données issues du PDAU et des POS avec les résultats de l'analyse spatiale par télédétection, afin d'identifier les écarts, les convergences et les éventuels dysfonctionnements dans la mise en œuvre des documents d'urbanisme.

Dans la suite de ce chapitre, nous analyserons successivement les prescriptions des documents de planification, puis nous les comparerons aux dynamiques urbaines issues des images satellitaires et aux observations de terrain. Cette confrontation permettra de mieux comprendre les logiques de développement réel de la ville de Tlemcen et d'évaluer l'efficacité des outils de planification dans la régulation de son expansion urbaine.

4.1. Cadre réglementaire et planification urbaine à Tlemcen : PDAU et POS

La planification urbaine en Algérie repose principalement sur deux instruments complémentaires : le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS). Ces documents constituent le cadre réglementaire de référence pour l'organisation et le développement des villes, dont celle de Tlemcen.

Le **PDAU** est un instrument de planification stratégique à l'échelle communale ou intercommunale. Il définit les grandes orientations d'aménagement du territoire urbain à moyen et long terme. Il détermine la destination générale des sols, prévoit les extensions urbaines, localise les équipements structurants et fixe les zones d'urbanisation future ainsi que les espaces à protéger. Dans le cas de Tlemcen, le PDAU joue un rôle essentiel dans la structuration de l'agglomération, notamment à travers l'encadrement de l'expansion vers les communes périphériques comme Mansourah et Chetouane.

Le **POS**, quant à lui, constitue un outil plus précis et opérationnel. Il intervient à une échelle plus fine et traduit les orientations du PDAU en règles d'urbanisme applicables directement aux parcelles. Il fixe les normes de construction, les hauteurs, les densités, les alignements et les formes urbaines autorisées. Il permet ainsi de contrôler concrètement l'occupation du sol et d'encadrer le développement urbain au niveau local.

Cependant, malgré l'existence de ce dispositif réglementaire, la ville de Tlemcen, à l'instar de nombreuses villes algériennes, connaît des écarts entre la planification théorique et la réalité du développement urbain. L'analyse de ces instruments permet donc non seulement de comprendre les intentions de l'aménagement urbain, mais aussi de les confronter aux dynamiques réelles observées sur le terrain et à travers l'imagerie satellitaire.

4.1.1. Présentation du dernier PDAU du groupement de Tlemcen

Le présent travail s'appuie sur le dernier Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) du groupement de Tlemcen, document de référence en matière de planification urbaine. Ce PDAU fixe les orientations d'aménagement à moyen et à long terme pour les communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Béni Mester. Il définit les secteurs destinés à l'urbanisation, les zones à protéger ainsi que les principales infrastructures structurantes, constituant ainsi un cadre de référence pour l'analyse de la dynamique urbaine observée dans cette étude.

4.1.2. Le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) du groupement de Tlemcen :

Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) du groupement de Tlemcen constitue un instrument stratégique de planification à l'échelle intercommunale, englobant les communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Hennaya. Il vise à organiser le développement urbain de l'ensemble de l'agglomération en définissant les grandes orientations d'aménagement et en encadrant l'expansion future de la ville.

Ce document fixe une vision globale du territoire à moyen et long terme, en cherchant à structurer la croissance urbaine autour de pôles complémentaires et à maîtriser l'étalement urbain. Il repose sur une organisation hiérarchisée de l'espace, en fonction des aptitudes à l'urbanisation et des enjeux de protection des ressources naturelles et agricoles.

Le PDAU distingue ainsi plusieurs catégories de zones. Les **zones à urbaniser (ZAU)** correspondent aux secteurs destinés à accueillir l'extension immédiate ou progressive de l'urbanisation, en continuité du tissu urbain existant. Les **zones d'urbanisation future (ZUF)** sont réservées à un développement à plus long terme, conditionné par l'évolution des besoins en logements, équipements et infrastructures. Enfin, les **zones non urbanisables ou protégées** regroupent les espaces à préserver, notamment les terres agricoles de la plaine de Tlemcen ainsi que les zones naturelles telles que les forêts des piémonts.

À travers cette organisation spatiale, le PDAU cherche à concilier développement urbain et protection des ressources, en orientant la croissance vers des secteurs jugés adaptés tout en limitant la consommation excessive des espaces agricoles et naturels. Toutefois, la mise en œuvre effective de ces orientations dépend fortement des dynamiques réelles d'urbanisation et de leur articulation avec les instruments réglementaires comme les POS.

4.1.3. Les prescriptions du PDAU et la dynamique d'évolution urbaine de Tlemcen

Le groupement urbain de Tlemcen- Mansourah- Chetouane et Beni-Mester, hérite dans le fonctionnement de son espace d'un passé prestigieux, en raison du rôle culturel de l'ancienne capitale du Maghreb central, la qualité de son patrimoine historique a fortement marqué les différents espaces qui le composent. Cet héritage se traduit aussi par la persistance des problèmes liés à la forte polarisation de l'activité et de la population, similaire aux villes de la région nord du pays. En effet, le groupement concentre à lui seul 4000 emplois industriels sur un total de l6000 emplois au niveau de la wilaya, (Monographie de la wilaya DPAT, 2000) 25 % du total des emplois industriels. Il concentre 24 % de la population sur 1,2% de la superficie totale de la wilaya. La densité atteinte dans la zone de Tlemcen est de 520 habitants/Km² comparativement à la moyenne de wilaya 93 habitants/Km².

L'urbanisation massive caractérisant la zone de Tlemcen est manifeste à travers le taux d'urbanisation qui passe de 72 % en 1977 à 80% en 1987 et atteint 87% en 1998. Cette tendance est liée aux multiples avantages comparatifs qu'assure la ville de Tlemcen en matière d'équipements et d'emploi, liés à son statut de chef-lieu de wilaya et la forte dévitalisation des espaces ruraux durant la décennie 90-99.

Sur le plan de l'armature urbaine, l'agglomération urbaine de Tlemcen Koudia regroupant 129.446 habitants, concentre l'essentiel des services du tertiaire supérieur et deux agglomérations semi-urbaines Mansourah 34235 habitants et Chetouane/Ouzidane 25626 habitants qui sont des centres supports en pleine mutation. Le groupement dans son ensemble enregistre un taux d'accroissement démographique assez fort de 2,5%, malgré la baisse de la population de Tlemcen qui reporte son croit sur Chetouane et Mansourah. Les quatre communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni- Mester enregistrent un fort pourcentage d'occupés non agricole (90% Chetouane, 96 % Mansourah).

La lecture du tissu urbain du groupement fait apparaître différentes zones aux contenu typo morphologiques et même démographiques distincts. Chaque entité soulève de part ses spécificités une problématique différente.

La médina qui représente le noyau historique et reflète par sa pérennité, la plus forte expression de l'identité du lieu en tant qu'espace qui concentre l'essentiel des permanences culturelles. Cet espace péricentral connaît une grande transformation affectant sa fonction, structure et forme et pose par conséquent le problème de son dysfonctionnement par rapport au reste de l'agglomération.

L'agglomération d'Abou Tachfine, centre de jonction entre nouvelles urbanisations au Nord et le centre de Tlemcen soulève la question spécifique et le sort de la zone semi industrielle et la création d'une véritable centralité, support au centre-ville de Tlemcen. Les centres ruraux de M'dig-Sidi Aissa en pleine mutation posent la question de la nécessaire conciliation entre évolution urbaine et préservation des vergers agricoles.

L'actuel centre-ville, espace collé à l'ancienne médina, caractérisé par ses voies larges, grands équipements, ses placettes et un type d'habitat datant de la période coloniale. Cet ensemble relativement bien structuré est confronté au problème du stationnement et de la circulation. La présence d'équipements d'appel tel le marché et des commerces et de nouveau équipement en perspective soulève la question d'une politique de restructuration du centre-ville à long terme.

Les espaces urbains de desserrement de Tlemcen constitués des quartiers résidentiels et d'activité tels : Birouana, Boudghène, Kiffane, Koudia, la zone industrielle, Abou Tachfine pose la question des équipements de proximité et articulation et valorisation du foncier industriel.

Les nouvelles urbanisations en formation (champ de tir, Oudjlida, Chetouane, Hai Zitoun, Hamri, …) réalisées au-delà de la rocade et qui sont généralement dépourvues de centralités.

4.2. Comparaison entre Tlemcen et Mansourah

4.2.1. Selon le PDAU

- **La Commune de Tlemcen**

La commune de Tlemcen, chef-lieu de wilaya, est le pôle dominant qui concentre la majorité de la population (54,84 % de l'espace intercommunal) et des activités.

Saturation et dépassement : Le site de Tlemcen est quasiment saturé, ce qui a entraîné un débordement de son urbanisation sur les communes voisines, notamment vers Mansourah et Chetouane.

Réhabilitation de la Médina et du centre-ville : Le PDAU préconise une réhabilitation profonde de la Médina (piétonisation, création de « Zones 30 ») et une rénovation du noyau colonial.

Restructuration des quartiers périphériques : Des secteurs comme Agadir, Sidi Said ou Koudia, marqués par un habitat spontané et désorganisé sur des terres agricoles, doivent subir une restructuration majeure avec la création de réseaux de voirie structurés.

Déplacement d'activités : Pour libérer du foncier en centre-ville, il est prévu de déplacer des activités « gênantes » (abattoirs, dépôts Naftal, parcs communaux) pour les remplacer par des équipements structurants, des parkings à étages ou des tours d'affaires.

Densification : Le plan encourage une densification horizontale et verticale (jusqu'à R+15 sur certains grands axes) pour optimiser l'usage du sol urbain.

- **La Commune de Mansourah**

Mansourah joue un rôle de pôle administratif, universitaire et historique, mais elle est également confrontée à un blocage de ses sites par des terres agricoles fertiles qu'il faut protéger.

Le site archéologique de Mansourah : C'est une priorité absolue. Le PDAU impose des servitudes de protection strictes.

Zone intra-muros : L'urbanisation y est bloquée ; seule la densification limitée (R+2 ou 10m maximum) et la restauration sont autorisées.

Zone extra-muros : Une bande de protection de 200 mètres doit être respectée sans nouvelles constructions. Une servitude de visibilité est instaurée entre le minaret et la RN7.

Le Pôle Universitaire et Imama : Ces secteurs (SU15 et SU24) sont déjà très urbanisés. Le plan prévoit une densification des équipements universitaires qui consomment actuellement trop d'espace, et une restructuration des poches d'habitat spontané à Imama et au Champ de tir.

Développement vers l'Ouest : Mansourah est le point de départ de la réorientation de l'urbanisation vers le nouveau pôle urbain de Boujmil (situé sur Beni Mester), afin de décharger le centre historique.

- **Orientations Communes et Infrastructures**

Schéma directeur de la voirie : Le PDAU projette la création d'une rocade centrale en double voie pour décharger la RN22C et l'extension de la mini-rocade vers l'Ouest (Boujmil). La RN7, axe vital traversant Mansourah et Tlemcen, est proposée au dédoublement.

Préservation du « Haouz » : Le plan insiste sur la protection rigoureuse des terres agricoles fertiles restantes autour de ces deux communes pour stopper le mitage urbain.

Risques majeurs : Les deux communes doivent gérer des contraintes géotechniques (glissements de terrain sur les marnes au Nord) et les risques d'inondations liés aux nombreux oueds traversant le tissu urbain (Oued El Horra, Oued Safsaf)

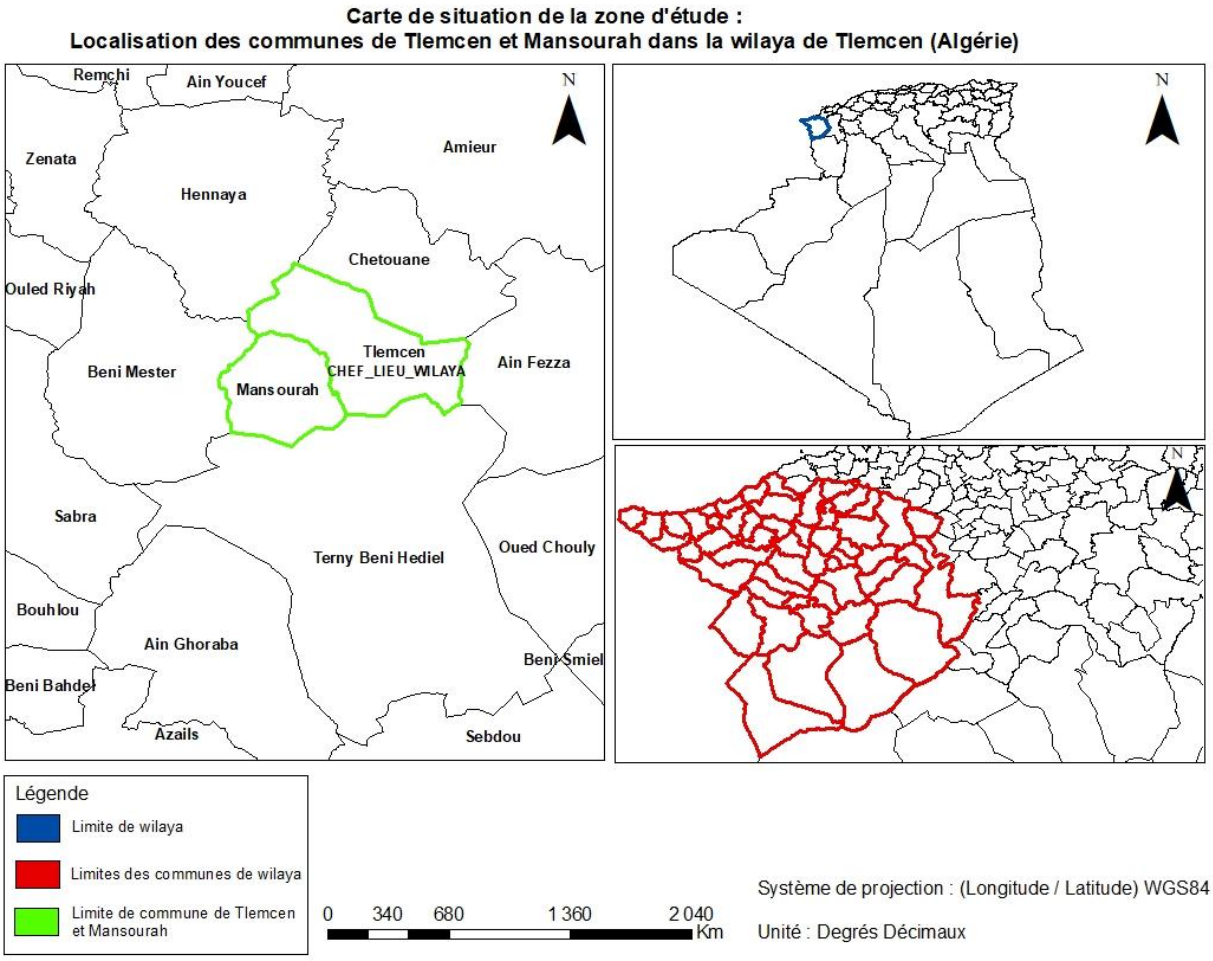


Figure 14. La carte de situation de la commune de Tlemcen et Mansourah

4.2.2. Selon l'image satellitaire

La comparaison des deux communes montre que les deux territoires ont connu une régression de la végétation entre 1980 et 2020. Cependant, cette diminution est plus rapide et plus marquée à Mansourah, où la végétation dense a fortement reculé au profit des classes faibles et moyennes.

En revanche, Tlemcen conserve encore quelques zones de végétation forte, bien que celles-ci soient en diminution.

Ainsi, Mansourah apparaît comme la commune la plus affectée par la dégradation du couvert végétal, ce qui confirme son rôle plus important dans la dynamique d'étalement urbain.

4.3. Expansion des zones bâties à travers l'indice NDBI

L’indice NDBI (Normalized Difference Built-up Index) est un indice spectral utilisé en télédétection pour détecter et cartographier les zones bâties à partir des images satellitaires. Il repose sur la différence entre les bandes du proche infrarouge et du moyen infrarouge, ce qui permet de distinguer les surfaces urbanisées des autres types d’occupation du sol comme la végétation ou les sols nus.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{\mathbf{SWIR + NIR}}$$

4.3.1. L’analyse de l’indice NDBI dans la commune de Tlemcen pour les années 2000 et 2020

En 2000, les zones bâties sont présentes mais restent relativement limitées et dispersées. Les zones mixtes occupent une part importante du territoire, traduisant une transition entre espaces naturels et urbanisés.

En 2020, on observe une augmentation nette des zones bâties, qui deviennent plus étendues et continues. Cette expansion se fait principalement au détriment des zones non bâties et mixtes.

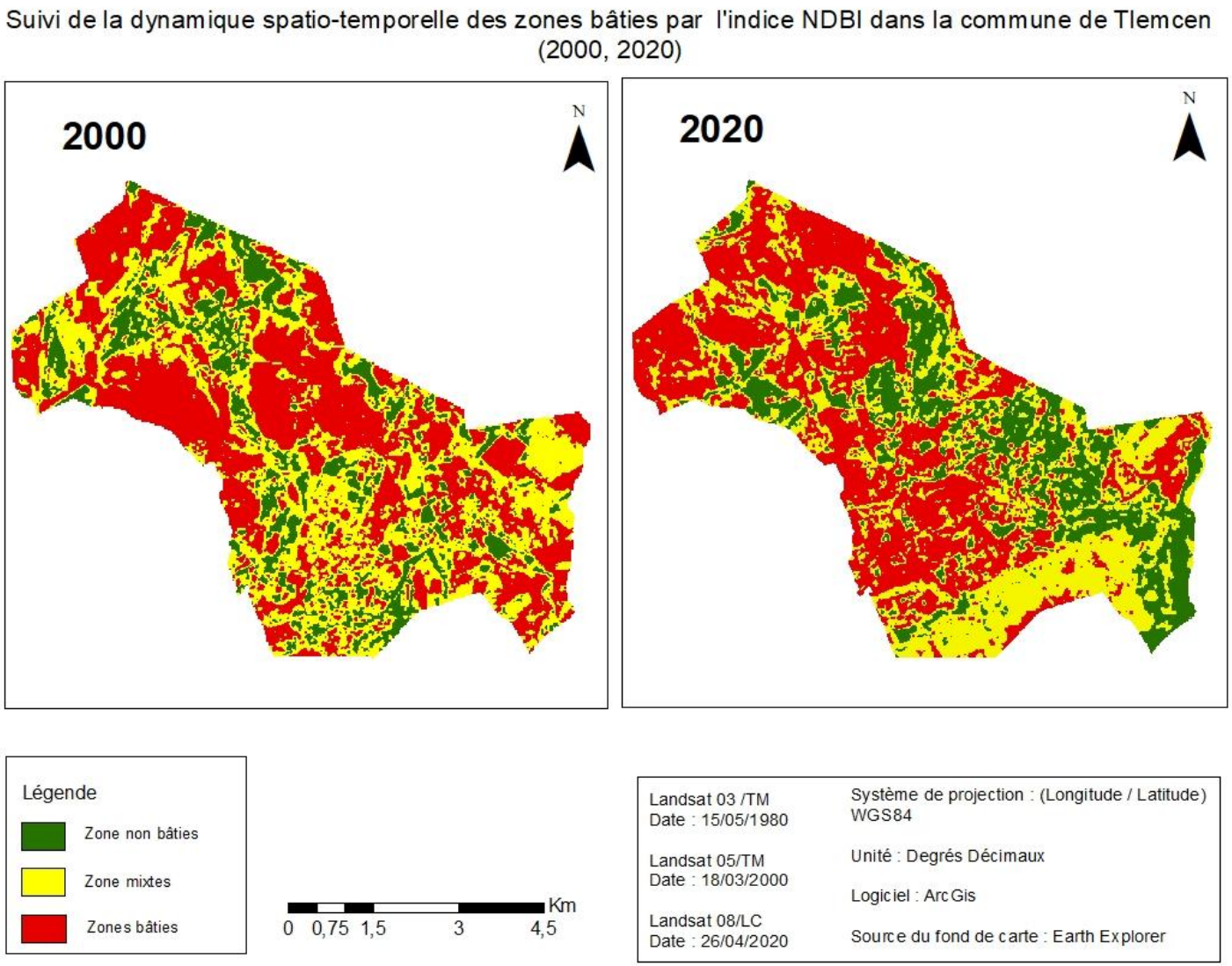


Figure 15. La carte du NDBI de la commune de Tlemcen, année 2000 et 2020

4.3.2. Dans la commune de Mansourah

L’analyse du NDBI révèle également une évolution marquée de l’urbanisation.

En 2000, les zones bâties sont déjà présentes mais restent moins structurées.

En 2020, les zones bâties connaissent une forte expansion et deviennent plus denses, occupant une part importante du territoire. Cette évolution se fait au détriment des zones non bâties.

Cela montre une croissance urbaine rapide et une transformation accélérée du paysage.

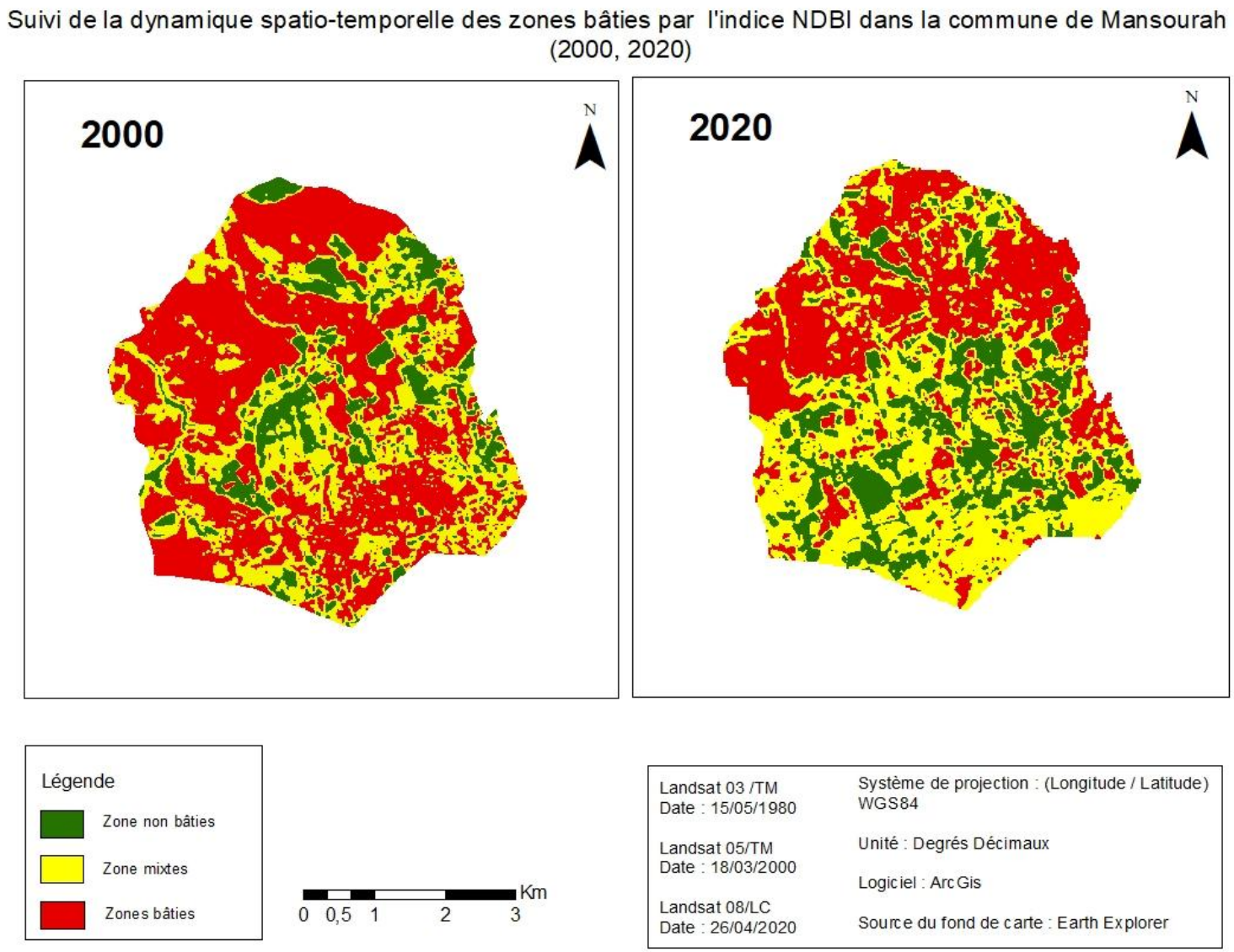


Figure 16. La carte du NDBI de la commune de Mansourah, 2000 et 2020

4.4. L’indice de brillance (IB)

L’indice de brillance est construit à partir des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR), il représente la moyenne des brillances de l'image. Cet indice est donc sensible à la brillance des sols, reliée à son humidité et à la présence de sels en surface. Suivant un calcul

$$\boldsymbol{IB} = \sqrt{(\mathbf{R} \times \boldsymbol{R} + \boldsymbol{PIR} \times \boldsymbol{PIR})}$$

Les valeurs élevées de l’indice correspondent aux zones peu végétalisées, caractérisées par une forte réflectance, tandis que les valeurs faibles indiquent la présence de végétation ou d’humidité.

L’analyse montre une dominance des surfaces naturelles avec une faible présence de zones urbanisées, ce qui reflète un état initial du territoire avant l’expansion urbaine observée dans les périodes récentes.

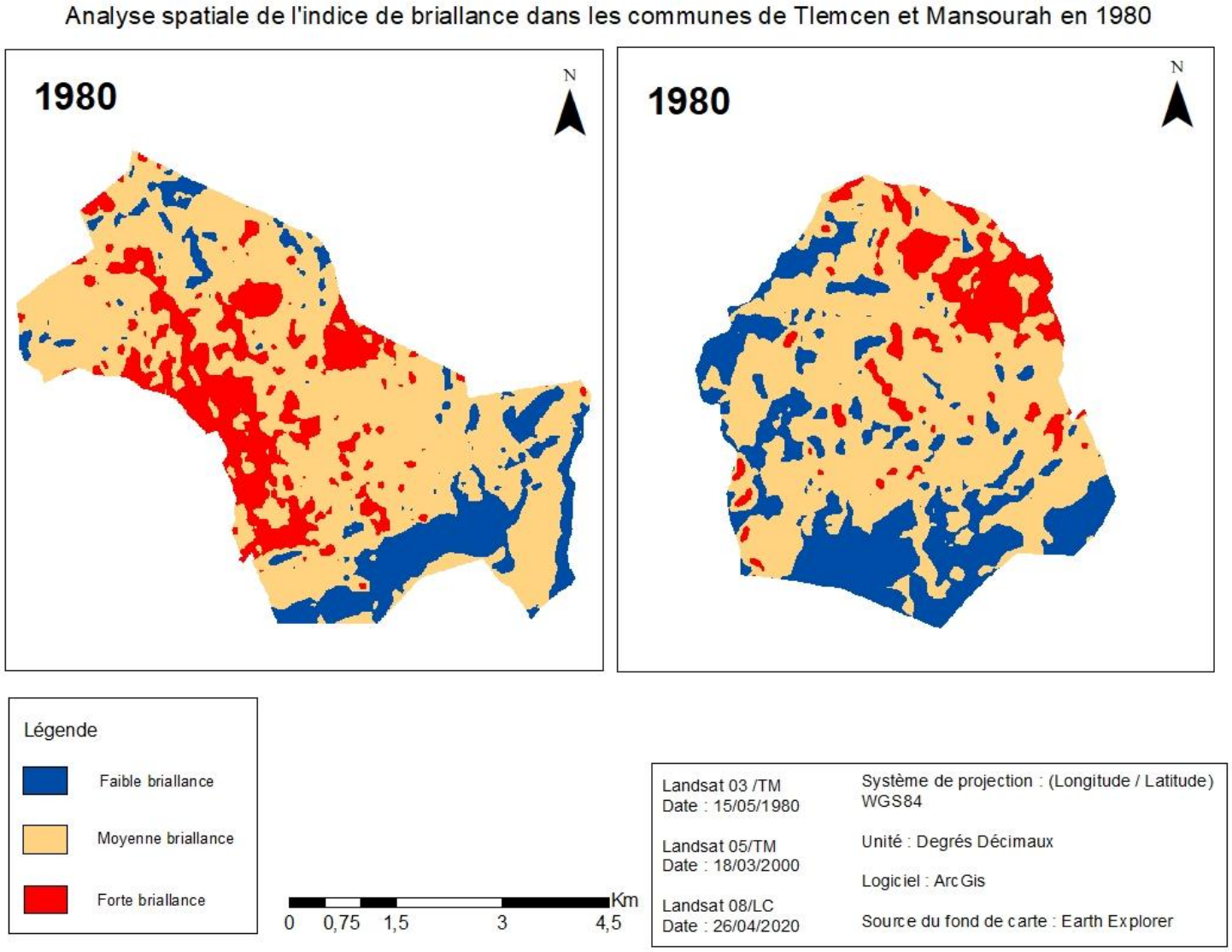


Figure 17. La carte du IB de la commune de Tlemcen et Mansourah

4.5. La comparaison des indices NDBI en 2000 et 2020 et IB en 1980 entre les communes de Tlemcen et Mansourah

Elle montre des similitudes dans la structure initiale du territoire, avec une dominance des surfaces naturelles et peu de zones urbanisées. Les valeurs du NDBI restent globalement faibles dans les deux communes, traduisant une faible extension des zones bâties à cette période. De même, l'indice de brillance (IB) met en évidence la présence majoritaire de sols nus et d'espaces naturels, avec une urbanisation encore peu développée. Toutefois, Mansourah présente déjà une légère tendance à la concentration des surfaces à forte brillance, indiquant un début de transformation plus marqué que dans Tlemcen.

- **Le cas de la commune de Mansourah**

L'analyse diachronique de Mansourah révèle une transformation profonde et continue du paysage urbain, marquée par un passage progressif d'un territoire majoritairement naturel et agricole en 1980 à un espace fortement urbanisé en 2020. Cette évolution met en évidence une dynamique d'étalement urbain particulièrement rapide, caractéristique des périphéries des grandes agglomérations, et notamment de celle de Tlemcen.

Au début de la période étudiée, Mansourah se distingue par la prédominance des terres agricoles et des espaces naturels, traduisant une organisation spatiale encore largement rurale et peu structurée sur le plan urbain. L'urbanisation y est alors limitée et dispersée, s'inscrivant principalement en continuité des noyaux existants. À partir des années 2000, une accélération notable du processus d'urbanisation est observable, accompagnée d'une réduction progressive des surfaces agricoles et d'une fragmentation des espaces naturels. Cette phase correspond à une intensification des constructions résidentielles et à une extension continue du tissu bâti, souvent le long des axes de communication.

En 2020, cette dynamique atteint un stade avancé, caractérisé par une domination nette des zones bâties et une forte consommation des espaces agricoles et naturels. Le paysage initial est profondément restructuré, laissant place à une morphologie urbaine plus dense mais également plus éclatée, traduisant des formes d'urbanisation parfois peu maîtrisées. L'apparition importante de sols nus témoigne également de la poursuite active du processus d'extension urbaine et de mutation foncière.

Ainsi, cette transformation traduit une pression foncière croissante liée à l'attractivité de l'agglomération tlemcénienne, ainsi qu'un rôle de plus en plus marqué de Mansourah comme espace d'expansion urbaine. Cette évolution illustre les logiques contemporaines d'étalement urbain, où la périphérie devient le principal support de croissance de la ville, au détriment des équilibres paysagers et agricoles initiaux.

- **Le cas de Tlemcen**

L'analyse de la situation en 1980 montre un territoire communal encore largement dominé par les espaces naturels et agricoles, où l'empreinte humaine reste mesurée. La zone bâtie (en gris) forme un noyau urbain dense, relativement compact et centralisé. Cette morphologie radioconcentrique laisse une place prépondérante aux ceintures de végétation claire (en jaune) et aux terres agricoles (en vert clair) qui enveloppent la ville, tandis que le sud-est du territoire est rigoureusement préservé par d'importants massifs forestiers (en vert foncé). À cette époque, l'équilibre entre la ville et son environnement immédiat est encore visible.

Le tournant de l'an 2000 marque une phase de transition et de rupture paysagère majeure, caractérisée par les prémices de l'étalement urbain. On observe une fragmentation du noyau central et une poussée du bâti vers la périphérie. Le phénomène le plus marquant de cette période est l'apparition massive de sols nus (en orange), notamment dans la partie ouest et centrale. Cette dynamique traduit un abandon progressif des terres agricoles ou des opérations de défrichage à grande échelle, annonçant une préparation du foncier pour de futurs chantiers de construction sous la pression démographique.

En 2020, le paysage urbain de Tlemcen subit une véritable métamorphose spatiale, témoignant d'une urbanisation agressive et diffuse (phénomène de mitage). Les taches grises du bâti ont colonisé une grande partie du centre, du nord et de l'ouest, fusionnant les anciens noyaux isolés en une nappe urbaine continue. Cette extension s'est faite au détriment direct de la végétation claire et des terres agricoles, qui apparaissent aujourd'hui résiduelles et morcelées. Seul le massif forestier du sud-est maintient sa structure globale, bien que ses bordures subissent la pression de cette dynamique d'artificialisation irréversible.

L'analyse diachronique combinée de Tlemcen et de Mansourah apporte une contribution fondamentale à la révision ou à l'élaboration du PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) de l'agglomération. En urbanisme, le PDAU fixe les orientations fondamentales

d'aménagement d'un groupement de communes (ici, l'intercommunalité Tlemcen-Mansourah) et détermine les zones d'extension, à protéger ou à restructurer.

4.6. Recommandation pour l'intégration systématique de l'imagerie satellitaire dans le PDAU

L'élaboration des Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) ne peut plus reposer uniquement sur des méthodes d'enquêtes traditionnelles, souvent longues, coûteuses et rapidement obsolètes. Face à l'urgence de l'étalement urbain (comme observé de manière critique entre Tlemcen et Mansourah), il est vivement recommandé d'institutionnaliser l'usage de l'imagerie satellitaire comme outil central du diagnostic et de la planification.

Cette recommandation s'appuie sur quatre arguments majeurs :

- **Pour obtenir une vision objective, globale et sans frontières administratives**

Les cartes cadastrales classiques s'arrêtent souvent aux limites administratives d'une commune. Or, la dynamique urbaine (notamment le flux d'étalement entre Tlemcen et Mansourah) dépasse ces frontières. L'imagerie satellitaire offre une vue d'ensemble continue qui permet de traiter l'agglomération comme un seul et unique système vivant, facilitant la mise en place d'un PDAU intercommunal cohérent.

- **Pour passer d'une cartographie statique à un suivi dynamique (Le gain de temps et d'argent)**

La réalisation d'un diagnostic urbain prend parfois plusieurs années, ce qui fait que le PDAU est parfois déjà dépassé le jour de sa signature. Le recours aux satellites permet d'obtenir des données instantanées, actualisables à tout moment et couvrant de larges territoires d'un seul coup. C'est l'assurance de planifier l'avenir de la ville avec des données du présent, et non des données d'il y a cinq ans.

- **Pour mesurer scientifiquement l'impact environnemental (La preuve par l'image)**

Le satellite ne ment pas. Grâce aux données spectrales, il permet de quantifier précisément les surfaces agricoles perdues, le recul des forêts ou l'apparition des sols nus en attente de bétonisation. Intégrer ces images dans le dossier du PDAU donne une légitimité scientifique et incontestable aux décisions de protection de l'environnement (délimitation des zones non urbanisables).

- **Pour détecter l'urbanisation informelle et anticiper les conflits fonciers**

L'imagerie à haute résolution permet de repérer en temps réel le phénomène de mitage (les constructions isolées ou illicites qui apparaissent le long des axes routiers ou sur les terres agricoles). En intégrant le satellite dans le processus du PDAU, la municipalité se dote d'un outil de veille pour stopper les infractions avant qu'elles ne se transforment en quartiers informels complexes à restructurer.

4.6.1. Perspective pour des recherches à suivre

4.6.2. Recommandations sur le choix technique des images

Diversifier les résolutions selon l'échelle d'étude :

Pour le diagnostic global (Échelle de l'agglomération) : Utiliser des images à moyenne résolution (ex. Sentinel-2 ou Landsat, comme dans votre étude) qui offrent un historique gratuit sur plusieurs décennies. C'est idéal pour l'analyse diachronique de l'occupation du sol.

Pour le zonage précis (Échelle des POS / Secteurs urbains) : Exiger des images à Très Haute Résolution (THR) (ex. Pléiades, WorldView ou imagerie drone) avec une précision inférieure au mètre. Cela est indispensable pour délimiter précisément le bâti, repérer le mitage informel et cartographier les réseaux de voirie.

Standardiser la périodicité (Le suivi régulier) : Ne pas se contenter d'une image "photo" à l'instant T. Le PDAU doit imposer l'acquisition d'images actualisées au moins tous les 2 à 3 ans pour suivre le rythme réel de l'étalement urbain et vérifier la conformité des constructions.

4.6.3. Recommandations sur le traitement et l'analyse des données

Automatiser la détection des changements (Change Detection) : Au lieu d'une numérisation manuelle fastidieuse, il est recommandé d'utiliser des algorithmes de classification supervisée (Machine Learning) ou des indices spectraux :

NDVI (Indice de végétation) : Pour suivre précisément la dégradation des terres agricoles et le recul des forêts (comme au sud-est de Tlemcen).

NDBI (Indice de bâti) : Pour extraire automatiquement les surfaces minéralisées et mesurer l'imperméabilisation des sols.

Croiser le satellite avec les données socio-économiques : L'image satellite montre où la ville grandit, mais pas pourquoi. Il faut impérativement superposer la cartographie satellitaire (SIG) avec les données de recensement de l'ONS (croissance démographique), les plans de transport et les registres de permis de construire.

4.6.4. Recommandations opérationnelles pour les urbanistes (Le volet réglementaire)

Créer un SIG Communal/Intercommunal vivant : Les images satellitaires ne doivent pas servir uniquement à illustrer le rapport final du PDAU (sous forme de cartes figées). Elles doivent alimenter une base de données de Système d'Information Géographique (SIG) partagée entre les communes de Tlemcen et Mansourah, permettant une mise à jour continue.

Utiliser le satellite comme preuve juridique : Intégrer l'imagerie spatiale comme outil de contrôle de l'utilisation des sols. L'analyse diachronique permet de repérer immédiatement les infractions, les constructions illicites sur les terres agricoles protégées ou les empiétements sur le domaine forestier.

Aide à la délimitation stricte des "ZUF" (Zones d'Urbanisation Future) : L'imagerie permet d'identifier les "dents creuses" (les espaces vides ou sols nus à l'intérieur du tissu urbain déjà construit). La recommandation principale ici est d'utiliser le satellite pour prioriser le renouvellement urbain (remplir les vides) avant d'autoriser l'extension sur l'extérieur.

Conclusion

L’analyse diachronique des deux communes de Tlemcen et Mansourah (1980-2020) a révélé une nette urbanisation avec la diminution des zones agricoles et la végétation. Ces transformations spatiales ont été suivies avec succès grâce aux indices de NDVI, NDBI et IB.

Les résultats indiquent que Mansourah a enregistré une accélération de la croissance urbaine, plus rapide que celle de Tlemcen, dans laquelle les espaces naturels ont plutôt cédé à la croissance des zones bâties. Cette évolution en confirmant son importance pour la croissance de l'agglomération tlemcénienne.

Cette étude démontre l’intérêt de la télédétection et des SIG comme outils d’aide à la planification urbaine et souligne l’importance d’intégrer l’imagerie satellitaire dans les futurs projets d’aménagement et de gestion du territoire.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'utilisation des images satellitaires Landsat 3, Landsat 5 et Landsat 8, couplées aux outils de télédétection et aux outils des SIG (ArcGIS) a permis d'analyser l'occupation du sol et l'étalement urbain entre 1980, 2000 et 2020.

Les images classées en photos et les valeurs des indices NDVI, NDBI et IB ont permis d'identifier des modifications significatives de la surface étudiée. L'analyse diachronique a révélé un accroissement continu des surfaces urbaines, au détriment des surfaces agricoles et naturelles, en signe d'une dynamisme d'urbanisation important sur les différentes périodes étudiées.

L'isolement des zones végétalisées et des espaces bâtis grâce aux indices spectraux à aider l'interprétation des modifications de l'occupation du sol. Les images satellitaires ont également prouvé leur utilité dans l'observation de l'évolution urbaine sur de longues périodes, comme le montrent les résultats obtenus.

La comparaison avec les techniques classiques du POS a permis de constater que les techniques de télédétection et SIG sont plus rapides, plus efficaces et moins contraignantes. Les traitements effectués dans ArcGIS permettent d'avoir des résultats exploitables, précis et rapides contrairement à la méthode traditionnelle qui est de sortir sur terrain et de consacrer un temps important à la collecte des données.

En conclusion, on peut affirmer que cette étude met en évidence la nécessité de la télédétection et des SIG comme instruments modernes pour appuyer l'analyse et la gestion de l'étalement urbain. Ces technologies sont aujourd'hui des outils vitaux pour la cartographie de la couverture du sol, et peuvent aider à une planification urbaine plus adéquate, ainsi qu'à une gestion du territoire plus durable.

BIBLIOGRAPHIE

Al Khalifeh, S. (2008). L'apport de la télédétection dans l'observation de l'étalement urbain : l'exemple de l'agglomération d'Avignon-France [Thèse de doctorat, Université d'Avignon].

Bendraoua, F., & Bedidi, A. (2011). Dynamique spatio-temporelle de l'agglomération oranaise (Algérie) par télédétection et SIG. Revue du Comité Français de Cartographie, (209), 103-113.

Bornicchia, F., & Dao, H. (2005). Les apports des SIG et de la télédétection dans la compréhension des mutations du système territorial de la région transfrontalière genevoise. Dans Actes du colloque Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne.

Caloz, R., & Collet, C. (2011). Analyse spatiale de l'information géographique. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Direction de l'Urbanisme et de la Construction (DUC). (2020). Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de l'agglomération de Tlemcen : Rapport d'orientation et règlement (Rapport technique). Wilaya de Tlemcen, Algérie.

Goran, J., et al. (2021). Brownfields over the years: From definition to sustainable reuse. Environmental Reviews, 29(1), 1-15.

Haag, G., & Pumain, D. (1991). Urban and regional dynamics—Towards an integrated approach. Environment and Planning A, 23(1), 101-118.

Jahel, C., Leroux, L., Faye, E., Colin de Verdière, K., Degenne, P., Lo Seen, D., & Augusseau, X. (2017). Suivi de dynamiques territoriales par télédétection et modélisation spatiale. Dans P. Caron, E. Valette, T. Wassenaar, G. Coppens d'Eeckenbrugge, & V. Papazian (Dir.), Des territoires vivants pour transformer le monde (p. 219-230). Éditions Quæ.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation (7th ed.). John Wiley & Sons.

Mahtta, R., Mahendra, A., & Seto, K. C. (2019). Building up or spreading out? Typologies of urban growth across 478 cities of 1 million+. Environmental Research Letters, 14(12), 124017.

Pornon, H. (2015). SIG, systèmes d'information géographique : Pouvoirs et savoirs (2e éd.). Éditions L'Harmattan.

Roberts, P. (2008). The evolution, definition and purpose of urban regeneration. Dans P. Syrett & R. North (Dir.), Renewing cities (p. 11-25). Routledge.

Tayem Demaze, M. (2010). Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain. ESO Travaux et Documents, (29), 99-124

Dr. BENTEKHICI, N. (2022, 2023). Maitre de recherche A