

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

— جامعة أبي بكر بلقايد — تلمسان —

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

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

**En** : métiers de la ville

**Spécialité** : Géomatique et Gestion du Foncier

**Par** : HASSAINE Amel & KARI Linda Aya

### Sujet

**Etude de l'Etalement Urbain dans la Daïra de Chetouane : Une Approche par Télédétection et SIG**

Soutenu publiquement, le 25 /06/2025, devant le jury composé de :

M TERKI HASSAINE Taha Elamine	Grade	Université de Tlemcen	Président
M MEBARKI Abdelkader	GE	Université de Tlemcen	Examineur
Mme BENZIAN Imane	MAA	Université de Tlemcen	Encadrante

Année universitaire : 2024/2025

## *Remerciements*

*Ce travail de recherche est la résultante d'un parcours de plusieurs années, animé de rencontres, d'événements, d'apprentissage et de formations qui font de ce mémoire ce que vous avez entre les mains aujourd'hui.*

*Nos remerciements vont à M pour nous faire l'honneur infime d'avoir bien voulu présider le jury de cette soutenance.*

*Par ailleurs, merci à M Mebarki A., pour son intérêt à bien vouloir examiner ce travail à travers ses remarques et conseils dans le souci d'améliorer notre mémoire.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à Madame Benzian Imane, notre encadrante, pour son accompagnement tout au long de ce travail. Sa disponibilité, sa rigueur scientifique et ses conseils précieux ont grandement contribué à la réalisation de ce projet. Nous la remercions sincèrement pour sa bienveillance, son encadrement de qualité et l'intérêt qu'elle a porté à notre travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre respect et de notre reconnaissance les plus sincères.*

*Nous tenons à remercier Monsieur le Directeur du CFS Mahi Habib pour nous avoir accueilli au sein de son établissement durant notre stage*

*Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à Madame Benshila Naïma ingénieur d'étude au CFS pour son accueil chaleureux, sa bienveillance, ainsi que pour le cadre pratique qu'elle nous a offert durant notre stage. Grâce à son encadrement, nous avons pu mieux comprendre les aspects concrets liés à notre sujet et enrichir notre expérience professionnelle.*

*Nos remerciements vont également à l'ensemble du personnel rencontré durant notre stage, ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de nos études.*

*À nos frères et sœurs, compagnons de vie, sources d'équilibre et de motivation, pour leur soutien moral et leur présence rassurante.*

*Nous dédions également ce travail à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à notre réussite par un mot d'encouragement, un geste d'amitié ou une pensée bienveillante.*

*Que cette dédicace soit le reflet de notre reconnaissance profonde et sincère envers vous tous.*

## Résumé

Ce travail a eu pour but d'étudier l'étalement urbain de la daïra de Chetouane, située dans la wilaya de Tlemcen, en se basant sur les techniques de la télédétection. L'étude vise à souligner les dynamiques spatio-temporelles du processus d'urbanisation sur 10 ans (2014-2024), pour caractériser les dynamiques d'occupation du sol, et illustrer ainsi les processus environnementaux et socio-économiques liés à cette expansion.

La méthodologie appliquée se base sur l'analyse multi-temporelle de l'image satellitaire Landsat par la classification supervisée (Maximum Likelihood), et l'analyse croisée des calculs d'indices tels que le NDBI et le NDVI, à partir des informations démographiques et climatiques.

Les résultats ont démontré une urbanisation massive, principalement sur des terres agricoles, révélant ainsi les pressions accrues auxquelles est soumis l'environnement local. Ce qui a contribué au développement d'une plateforme de cartographie web qui a rendu ces « données interactives » disponibles afin de faciliter la compréhension des enjeux territoriaux.

### Mots clés :

Etalement urbain, Chetouane, Télédétection, Occupation du sol, Webmapping.

### ملخص

ان الهدف من هذا العمل دراسة التمدد الحضري في دائرة شتوان، الواقعة في ولاية تلمسان، بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بُعد. تهدف الدراسة إلى تسليط الضوء على الديناميكيات المكانية والزمنية لعملية التمدد على مدى عشر سنوات (2014-2024)، من أجل تمييز الديناميكيات المتعلقة باستخدام الأرض، وبالتالي توضيح العمليات البيئية والاجتماعية-الاقتصادية المرتبطة بهذا التوسع. تستند المنهجية المطبقة على التحليل متعدد الأزمنة لصورة الأقمار الصناعية Landsat من خلال التصنيف المراقب (احتمالية قصوى)، والتحليل المتقاطع لحسابات المؤشرات مثل NDBI و NDVI، استنادًا إلى المعلومات الديمغرافية والمناخية. أظهرت النتائج تمددًا ضخمًا، بشكل رئيسي على الأراضي الزراعية، مما يكشف عن الضغوط المتزايدة التي يتعرض لها البيئة المحلية ما ساهم في تطوير منصة لخرائط الويب التي جعلت هذه "البيانات التفاعلية" متاحة لتسهيل فهم القضايا الإقليمية.

### الكلمات الرئيسية:

التمدد الحضري، شتوان، الاستشعار عن بعد، استخدام الأرض، رسم خرائط الويب.

### Abstract

This study aimed to examine the urban sprawl of the daïra of Chetouane, located in the wilaya of Tlemcen, based on remote sensing techniques. The study aims to highlight the spatio-temporal dynamics of the urbanization process over 10 years (2014-2024), to characterize the dynamics of land use, and to illustrate the environmental and socio-economic processes related to this expansion. The applied methodology relies on the multi-temporal analysis of Landsat satellite imagery through supervised classification (Maximum Likelihood), and the cross-analysis of index calculations such as NDBI and NDVI, using demographic and climatic information. The results demonstrated massive urbanization, primarily on agricultural lands, thereby revealing the increased pressures faced by the local environment. This contributed to the development of a webmapping platform that made this 'data interactive' available to facilitate the understanding of territorial issues.

### Key words:

Urban sprawl, Chetouane, Remote sensing, Land use, Web mapping.

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

<b>ACP :</b>	<b>Analyse en Composantes Principales</b>
<b>AEE :</b>	<b>Agence Européenne de l'Environnement</b>
<b>APC :</b>	<b>Assemblée Populaire Communale</b>
<b>API :</b>	<b>Application Programming Interface</b>
<b>ASAL :</b>	<b>Agence Spatiale Algérienne</b>
<b>CAMEG :</b>	<b>Centrale d'Achat des Médicaments Essentiels Génériques et des consommables médicaux</b>
<b>CQL :</b>	<b>Common Query Language</b>
<b>CSS :</b>	<b>Cascading Style Sheets</b>
<b>CSV :</b>	<b>Comma Separated Values</b>
<b>EPSG :</b>	<b>European Petroleum Survey Group</b>
<b>ERTS :</b>	<b>Earth Resources Technology Satellite</b>
<b>ENTC :</b>	<b>l'Entreprise Nationale des Travaux de Canalisation</b>
<b>GML :</b>	<b>Geography Markup Language</b>
<b>GPS :</b>	<b>Système de Positionnement Global</b>
<b>HTML :</b>	<b>HyperText Markup Language</b>
<b>IDE :</b>	<b>Integrated Development Environment</b>
<b>IP :</b>	<b>Internet Protocol</b>
<b>MIR :</b>	<b>Mid InfraRed</b>
<b>NDBI :</b>	<b>Normalized Difference Built-up Index</b>
<b>NDVI :</b>	<b>Normalized Différence Végétation Index</b>
<b>NIR :</b>	<b>Near InfraRed</b>
<b>OGC :</b>	<b>Open Geospatial Consortium</b>
<b>OS :</b>	<b>Operating Système</b>
<b>OSGeo :</b>	<b>Open Source Geospatial</b>
<b>PSN :</b>	<b>Programme Spatial National</b>
<b>RVB :</b>	<b>Rouge, Vert, Bleu</b>
<b>SIG :</b>	<b>Système d'Information Géographique</b>
<b>SITEL :</b>	<b>Société Industrielle Algérienne de Télécommunications</b>
<b>SLD :</b>	<b>Styled Layer Descriptor</b>
<b>SNTA :</b>	<b>Société Nationale des Tabacs et Allumettes</b>
<b>SNVI :</b>	<b>Société Nationale des Véhicules Industriels</b>
<b>SRC :</b>	<b>Système de Référence de Coordonnées</b>
<b>TCP :</b>	<b>Transmission Control Protocol</b>
<b>TMS :</b>	<b>Tile Map Service</b>
<b>URL :</b>	<b>Uniforme Resource Locator</b>
<b>USGS :</b>	<b>United States Geological Survey</b>
<b>UTM :</b>	<b>Universal Transverse Mercator</b>
<b>WFS :</b>	<b>Web Feature Service</b>
<b>WGS :</b>	<b>World Geodetic System</b>
<b>WMS :</b>	<b>Web Map Service</b>
<b>WMTS :</b>	<b>Web Map Tile Service</b>
<b>XML :</b>	<b>eXtensible Markup Language</b>

# SOMMAIRE

Remerciements .....	I
Dédicace .....	II
Résumé .....	III
ملخص .....	III
Abstarct .....	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	IV
Introduction générale.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<i>Chapitre 1 Cadre théorique et conceptuel</i> .....	5
Introduction .....	6
1. Définition et caractéristiques de l'étalement urbain.....	6
1.1. Historique du phénomène de l'étalement urbain .....	6
1.2. Définition de l'étalement urbain .....	7
1.3. Formes d'étalement urbain .....	7
1.4. Formes d'étalement urbain en Algérie .....	8
1.5. Les facteurs de l'étalement urbain .....	10
1.6. Les impacts de l'étalement urbain.....	11
2. Introduction à la télédétection appliquée à l'urbanisation .....	13
2.1. Évolution des techniques de télédétection .....	13
2.2. Définition et principes de la télédétection .....	14
2.3. La télédétection en Algérie .....	15
3. Les avantages de la télédétection sur l'étalement urbain .....	16
4. L'étalement urbain à travers le territoire algérien .....	16
4.1. Synthèse comparative .....	19
Conclusion.....	19
<i>Chapitre 2 Présentation de la zone d'étude</i> .....	20
Introduction .....	21
1. Identification et aperçu historique.....	21
1.2. Situation géographique de la wilaya de Tlemcen .....	21
1.2. Situation de la zone d'étude .....	22
1.3. Histoire et évolution urbaine de Chetouane.....	23

2. Contexte administratif et socio-économique .....	25
2.1. Contexte administratif .....	25
2.2. Contexte socio-économique.....	25
3. La dynamique de l'urbanisation dans la daïra de Chetouane.....	26
3.1. L'éloignement au centre-ville de Tlemcen .....	26
3.2. La croissance démographique.....	27
3.2.1. Les causes de la croissance démographique .....	28
3.2.2. Les conséquences de la croissance démographique .....	28
3.3. Le trafic urbain de chetouane .....	29
3.4. Évolution spatiale de la daïra de Chetouane entre 2004 et 2024.....	32
4. Facteurs influençant l'urbanisation de la daïra de Chetouane .....	33
Conclusion.....	33
<i>Chapitre 3 Méthodologie d'analyse spatiale</i> .....	34
Introduction .....	35
1. Approche méthodologique .....	35
1.2. Acquisition des images satellitaire .....	37
1.3. Préparation des images pour la classification (prétraitement).....	37
1.3.1. L'amélioration de la résolution par pansharping .....	37
1.3.2. Composition colorée des images .....	38
1.3.3. Découpage de la zone d'étude (masquage par découpage administratif).....	38
1.4. Classification supervisée .....	39
1.4.1. Sélection des zones d'intérêt et étiquetage des échantillons .....	39
1.4.2. Évaluation des classes d'apprentissage .....	40
1.4.3. Algorithme de la classification .....	40
1.5. Évaluation de la qualité de la classification.....	42
2. Résultats & discussion .....	43
2.2. Résultats.....	43
2.3. Discussion.....	45
2.3.1. Bilan de changement d'occupation du sol dans la commune de Chetouane (2014-2024).....	45
2.3.2. Analyse diachronique de l'occupation du sol .....	46
2.3.3. Analyse croisée de l'étalement urbain en fonction des facteurs environnementaux et socio-démographiques .....	48
2.3.3.1. Influence de la croissance démographique sur l'étalement urbain.....	48

2.3.3.2.	Expansion des zones bâties à travers l'indice NDBI.....	48
2.3.3.3.	Rôle des précipitations dans la dynamique d'occupation du sol .....	50
2.3.3.4.	Réduction des surfaces végétalisées selon l'indice NDVI .....	51
2.3.3.5.	Interactions entre facteurs et intensité de l'étalement urbain .....	53
2.3.4.	Corrélation entre NDVI et NDBI .....	53
Conclusion.....		55
<i>Chapitre 4 Développement du site web pour la visualisation cartographique .....</i>		<i>56</i>
Introduction .....		57
1. Présentation des interfaces cartographiques web .....		57
1.1.	Architecture proposée .....	57
2. Webmapping .....		58
2.1.	Définition et principes et fonctionnement du WebMapping .....	58
2.2.	Fonctionnalités du Webmapping .....	58
3. Publication des données spatiales via GeoServer .....		59
3.1.	Définition de Geoserver.....	59
3.2.	La configuration.....	60
3.3.	La publication des données spatiales .....	60
4. Développement de plateformes web pour la visualisation des données géospatiales.....		63
4.1.	Objectif du site web .....	63
4.2.	Langages utilisés.....	64
4.3.	Description de la plateforme web .....	65
4.3.1.	Utilisateurs concernés .....	65
4.3.2.	Page d'accueil.....	65
4.3.3.	Exploitation des couches thématiques .....	66
5. Les avantages et les inconvénients.....		68
Conclusion.....		69

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Carte d’occupation du sol de Mostaganem .....	6
<b>Figure 2.</b> Formes d’étalement urbain.....	8
<b>Figure 3.</b> Etalement urbain à Alger .....	8
<b>Figure 4.</b> Etalement urbain à Constantine .....	9
<b>Figure 5.</b> Etalement urbain à Laghouat .....	9
<b>Figure 6.</b> Etalement urbain à Tizi Ouzou .....	10
<b>Figure 7.</b> Les facteurs de l’étalement urbain .....	11
<b>Figure 8.</b> Evolution de la télédétection .....	14
<b>Figure 9.</b> Lancement AlSat-1.....	15
<b>Figure 10.</b> Évolution spatiotemporelle des classes d’occupation du sol de l’oasis de Biskra (1985 - 2015).....	17
<b>Figure 11.</b> L’étalement urbain dans le groupement intercommunal de Guelma de 1987 à 2015 .....	18
<b>Figure 12.</b> Carte d’occupation du sol de Mostaganem .....	19
<b>Figure 13.</b> Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.....	22
<b>Figure 14.</b> Localisation de la Daïra de Chetouane, Wilaya de Tlemcen .....	23
<b>Figure 15.</b> Ancienne photo de « Négrier » telle qu’elle a été bâtie à ses débuts .....	24
<b>Figure 16.</b> L’éloignement entre la daïra de Chetouane et le centre de la ville Tlemcen .....	26
<b>Figure 17.</b> Itinéraire de la ligne D menant à Gare Routière.....	30
<b>Figure 18.</b> Itinéraire de la ligne 03 menant à centre-ville.....	30
<b>Figure 19.</b> Itinéraire de la ligne 23 menant à Ain El Hout .....	31
<b>Figure 20.</b> Itinéraire de la ligne 13 menant à .....	31
<b>Figure 21.</b> Le cadre bâti de la daïra de Chetouane à travers le temps : 2004-2024 .....	32
<b>Figure 22.</b> Sélection des échantillons d’apprentissage .....	39
<b>Figure 23.</b> Évaluation des choix des échantillons d’apprentissage.....	40
<b>Figure 24.</b> Application de l’algorithme de Maximum Likelihood .....	41
<b>Figure 25.</b> Méthode de validation par échantillonnage .....	42
<b>Figure 26.</b> Matrice de confusion.....	43
<b>Figure 27.</b> La carte d’occupation du sol de la daïra de Chetouane .....	44
<b>Figure 28.</b> La carte du NDBI de la daïra de Chetouane.....	49
<b>Figure 29.</b> La carte du NDVI de la daïra de Chetouane .....	52
<b>Figure 30.</b> Corrélation entre NDVI et NDBI.....	54
<b>Figure 31.</b> Architecture proposée .....	57
<b>Figure 32.</b> Interface GeoServer .....	60
<b>Figure 33.</b> Définition d’un espace de travail .....	60
<b>Figure 34.</b> Sélection d’un entrepôt .....	61
<b>Figure 35.</b> L’enregistrement du fichier SLD à partir de QGIS (donnée image).....	62
<b>Figure 36.</b> Importation de fichiers SLD au GeoServer (donnée raster).....	62
<b>Figure 37.</b> Enregistrement d’un fichier SLD à partir de QGIS (donnée vectorielle) .....	63
<b>Figure 38.</b> Exemple d’une superposition d’une couche Vectorielle .....	66
<b>Figure 39.</b> Exemple d’une couche Raster « NDVI » de 2014 (Chetouane).....	67
<b>Figure 40.</b> Exemple d’une couche Raster « NDBI » de 2014 (Chetouane).....	68

## **LISTES DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1.</b> Variation dans la population à travers le temps de la daïra de Chetouane .....	27
<b>Tableau 2.</b> Données téléchargées depuis USGS.....	37
<b>Tableau 3.</b> Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol .....	45
<b>Tableau 4.</b> Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol .....	45
<b>Tableau 5.</b> Pourcentages des variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol .....	46

## **LISTES DES DIAGRAMME**

<b>Diagramme 1.</b> Évolution de la population totale de la daïra de Chetouane 1998-2024.....	28
<b>Diagramme 2.</b> Comparaison entre les classes de l'occupation des sols.....	47
<b>Diagramme 3.</b> Variation de la quantité de précipitation mensuelle à Chetouane .....	50

## **LISTES DES ORGANIGRAMME**

<b>Organigramme 1.</b> La méthodologie de travail.....	36
<b>Organigramme 2.</b> Méthode Pansharpening sur ENVI.....	38

---

# *Introduction générale*

---

## **1. Introduction**

La croissance urbaine constitue aujourd'hui l'un des phénomènes les plus marquants de notre époque. Sous l'effet conjugué de la pression démographique, de l'évolution des modes de vie et des dynamiques économiques, les villes connaissent une expansion souvent rapide, désordonnée et difficilement maîtrisable. Ce processus est communément appelé « étalement urbain ».

Face à ces dynamiques, la compréhension fine de l'évolution spatio-temporelle de l'urbanisation devient indispensable. C'est dans ce cadre que les technologies de la géomatique, et plus particulièrement la télédétection, s'est imposée comme un outil puissants pour observer, analyser et cartographier les transformations du territoire. De plus, la diffusion de ces données à travers des plateformes de WebMapping contribue à démocratiser l'accès à l'information géospatiale.

De nombreuses études ont déjà été menées à travers le monde pour analyser l'étalement urbain dans diverses métropoles. Ces travaux ont permis de mieux comprendre les facteurs déclencheurs de l'expansion urbaine, ses formes spatiales et ses impacts. Toutefois, des lacunes persistent, en particulier en ce qui concerne les zones secondaires ou périurbaines, souvent exclues des grandes études urbaines. En Algérie, bien que quelques initiatives aient vu le jour, l'analyse rigoureuse de l'étalement urbain à l'échelle communale reste encore peu documentée.

Dans cette perspective, nous nous sommes intéressés à la daïra de Chetouane qui représente un bon échantillon de ces enjeux. Avec un taux de croissance démographique soutenu et une urbanisation incontrôlée, elle est confrontée à de profondes transformations de son sol. L'étude de l'étalement urbain de cette zone s'avère essentielle pour prévoir ses effets environnementaux, sociaux et économiques.

## **2. L'objet de la recherche**

L'objet de cette recherche est d'explorer l'analyse spatio-temporelle de l'étalement urbain de la daïra de Chetouane. Elle a connu, au cours des dernières années, une expansion urbaine conséquente impliquant une modification significative de son occupation du sol. Les images satellites Landsat 8 couvrant la période 2014-2024 avec l'aide de WebMapping constituent la base de la recherche. Elle vise ainsi à documenter très sévèrement cette dynamique d'urbanisation et à fournir un outil d'aide à la décision destiné aux acteurs territoriaux.

## **3. Problématique**

Bien que l'ampleur de l'étalement urbain et son impact sur les territoires sont devenus profonds, la compréhension fine de son évolution reste souvent restreinte, notamment dans les milieux où les instruments d'observation et de gestion urbaines sont peu développés. La daïra de Chetouane, illustre cette situation par son urbanisation rapide et peu contrôlée. Cette situation révèle une double carence majeure : d'une part, l'absence de suivi cartographique fiable et régulier de l'évolution de l'occupation du sol rend difficile l'analyse spatio-temporelle des dynamiques urbaines ; d'autre part, la faiblesse des dispositifs de diffusion et de vulgarisation de l'information géographique empêche une appropriation effective des données par les acteurs locaux. A cet égard, il devient essentiel de s'interroger sur les moyens techniques et méthodologiques disponibles pour améliorer l'observation territoriale et favoriser un accès élargi à l'information géospatiale.

Notre problématique peut alors se formuler comme suit :

Comment caractériser, analyser et visualiser le développement de l'étalement urbain de la daïra de Chetouane de 2014 à 2024 grâce aux outils de télédétection et de webmapping ?

#### **4. Hypothèses**

Sur la base de l'observation préalable de la croissance urbaine à Chetouane, de recherches bibliographiques, de concepts théoriques dans le domaine de la télédétection et de la gestion urbaine, les hypothèses suivantes ont été formulées pour conduire cette étude :

- ✓ La surface urbaine de Chetouane a connu une croissance marquée entre 2014 et 2024, identifiable par l'analyse diachronique d'images satellites Landsat.
- ✓ Le développement d'une plateforme WebMapping permettrait d'améliorer la valorisation et la diffusion des résultats d'analyse spatiale.

#### **5. Objectifs de la recherche**

L'objectif central de ce travail est de combiner les méthodologies de la télédétection et du WebMapping afin de produire une analyse approfondie de l'expansion de Chetouane, et aussi de rendre les résultats interactifs pour le consultant. Ce mémoire a donc un double objectif :

- ✓ Étudier l'évolution spatio-temporelle de l'urbanisation de Chetouane à partir d'images satellitaires, en mesurant les changements d'occupation des sols entre la période 2014-2024.
- ✓ Développer une plateforme WebMapping à partir de laquelle on peut accéder à la diffusion interactive des données géospatiales générées à partir de l'analyse, afin de mieux pouvoir accéder à l'information et faciliter ainsi la prise de décision en matière d'aménagement urbain.

#### **6. L'intérêt de la recherche**

Sur le plan scientifique, ce travail contribue à combler un vide méthodologique dans la littérature nationale, en proposant une application pratique des méthodes de télédétection au niveau local. En Algérie, il n'y a pas beaucoup de travaux qui ont traité, en profondeur, l'évolution urbaine de daïras comme Chetouane à partir d'images satellitaires multi-temporelle, encore moins avec l'ajout d'une interface web pour la diffusion des données.

Sur le plan pratique, les résultats de ces recherches sont susceptibles de servir d'outil d'aide à la décision pour les autorités locales, les urbanistes et les acteurs du développement territorial.

De ce fait, ce mémoire s'inscrit dans une logique de modernisation des pratiques d'analyse spatiale, en accord avec les exigences actuelles de la numérisation des données et de la transparence de l'information géographique.

#### **7. Méthodologie**

La méthode utilisée dans ce travail repose sur l'utilisation des techniques de télédétection et des outils WebMapping, pour connaître comment l'étalement urbain de la daïra de Chetouane a évolué depuis 2014 jusqu'à 2024.

En premier lieu, des images satellitaires de Landsat 8 ont été acquises pour les années 2014, 2019 et 2024 depuis le site officiel de l'USGS (United States Geological Survey). Ces images ont été prétraitées puis soumises à une classification supervisée, pour déterminer les différentes classes d'occupation du sol.

Les résultats de la classification ont été utilisés dans une analyse diachronique pour quantifier les changements de surface par classe au cours des dix années d'étude. À la fois, quelques facteurs expliquant le phénomène d'étalement urbain ont été croisés avec ces résultats pour préciser l'analyse des formes spatiales détectées.

Enfin, les données géospatiales obtenues ont été intégrées dans une plateforme de WebMapping

## **8. Structure du mémoire**

Ce travail s'articule autour de quatre grands chapitres :

Le premier chapitre pose les cadre conceptuels et théoriques de l'étude, en définissant les notions clés du phénomène de l'étalement urbain et en récapitulant l'évolution de la télédétection comme outil de suivi territorial.

Le second présente la daïra de Chetouane, son contexte géographique, historique, socio-économique et les tendances récentes de son urbanisation.

Le troisième chapitre décrit la démarche méthodologique suivie pour l'analyse spatio-temporelle de l'étalement urbain à partir des images Landsat.

Le quatrième chapitre exposera la conception de la plateforme web de visualisation, en décrivant les principes du WebMapping, les étapes de publication par GeoServer, et les technologies utilisées.

---

*Chapitre 1*

**Cadre théorique et conceptuel**

---

## Introduction

Avec les progrès économiques et technologiques, toute agglomération urbaine est soumise à une croissance rapide entraînant un processus d'étalement urbain.

Le processus, trop souvent incompatible avec les valeurs du développement durable, se caractérise par une croissance du taux d'urbanisation qui empiète sur les terres agricoles et modifie les écosystèmes naturels. D'abord observé dans les pays industrialisés, l'étalement urbain est devenu aujourd'hui un phénomène universel qui a plus ou moins la même morphologie et provoque souvent les mêmes effets à l'échelle mondiale.

Le but de ce chapitre est de définir le phénomène d'étalement urbain et de déterminer ses causes et ses effets les plus importants. Il s'agira également d'étudier le rôle joué par la télédétection en tant que technologie d'analyse permettant de suivre, de cartographier et de quantifier les dynamiques spatiales de l'urbanisation.

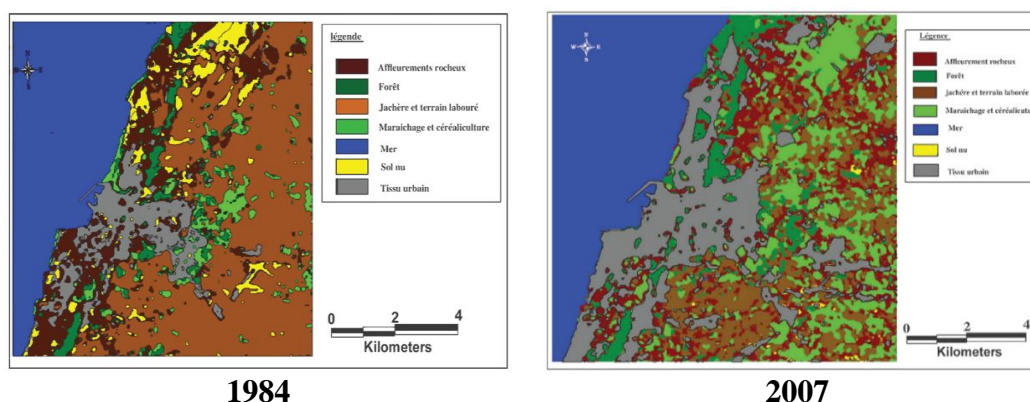
### 1. Définition et caractéristiques de l'étalement urbain

#### 1.1. Historique du phénomène de l'étalement urbain [1]

L'histoire de l'étalement urbain est l'histoire des sociétés, de l'urbanisation et des modes de vie. Ce n'est ni une cause récente ni un événement récent. Les premières sociétés humaines vivaient principalement dans des zones rurales, les villes étaient beaucoup plus petites et plus densément peuplées et la meilleure façon de se déplacer était de marcher ou d'utiliser des moyens de transport non motorisés. Presque aucun phénomène d'étalement tel que nous le connaissons n'existait avant l'époque industrielle.

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, beaucoup de ces changements ont été observés. L'urbanisation a été développée, ainsi que les infrastructures de transport modernes, y compris les chemins de fer. Sur la base de ces tendances, le nombre de villes au sens propre du terme a augmenté, en outre, comme cela a été indiqué par l'apparition de maladies, qui est une autre anomalie a été notée dû essentiellement à la densité, dont jusque-là les gens n'étaient simplement pas assez conscients en tant que facteur de désinfection.

Au XX<sup>e</sup> siècle, le développement de l'étalement urbain est devenu un sujet d'études.



**Figure 1.** Carte d'occupation du sol de Mostaganem

Source BENTEKHICI & al. 2013

### 1.2. Définition de l'étalement urbain

L'étalement urbain se traduit par une expansion excessive des zones urbaines sur des espaces naturels ou agricoles, entraînant l'artificialisation des sols. Ce phénomène résulte principalement d'un déséquilibre entre l'offre et la demande de logements dans les grandes métropoles et les villes moyennes, ainsi que du choix de modèles urbains à faible densité, tels que les lotissements pavillonnaires et les zones industrielles ou commerciales en périphérie.

Aujourd'hui, le phénomène d'étalement urbain est relativement bien reconnu et de nombreuses recherches ont été menées par des économistes et des géographes qui se sont penchés sur ce thème. Généralement, G. RITCHOT, G. MERCIER et S. MASCOLO, ont défini l'expansion urbaine comme étant « l'extension d'un corps sur une surface ». Le terme urbain fait référence à la substance de ce corps en extension. En revanche, la zone de support n'est pas urbaine, elle est située en milieu rural. Par conséquent, le concept d'étalement urbain implique que l'urbain en tant qu'objet, (c'est-à-dire comme surface matérielle), crée une tache qui se déploie sur un sol rural. D'après cette perspective sémantique, l'expansion est « diffusante » et traverse le milieu rural depuis les foyers. (ERRAUGUI, 2021)

L'étalement urbain se manifeste par une densification progressive de zones de plus en plus éloignées du centre-ville. Il ne s'agit pas uniquement de l'expansion spatiale d'une agglomération, mais aussi de l'occupation croissante de ces nouvelles zones par la population. Ce phénomène peut se produire même sans accroissement démographique global, lorsque, par exemple, la population diminue au centre tout en augmentant en périphérie, traduisant ainsi une réorganisation du peuplement qui élargit l'espace urbain.

Une autre approche telle que celle avancée dans la définition de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) s'attache davantage à la consommation foncière:

« L'étalement urbain se manifeste lorsque le taux de changement d'occupation des terres excède le taux de croissance de la population ». <sup>[2]</sup>

Ces définitions mettent en évidence une consommation non structurée et non contrôlée de la terre, et permettent de définir l'étalement urbain sur base de deux concepts :

- ✓ La vitesse de conversion de l'occupation des sols en introduisant des territoires récemment urbanisés ;
- ✓ La comparaison entre la croissance du territoire urbain et celle du nombre de personnes, en lien avec une notion d'efficacité foncière.

### 1.3. Formes d'étalement urbain (MALKI, 2016)

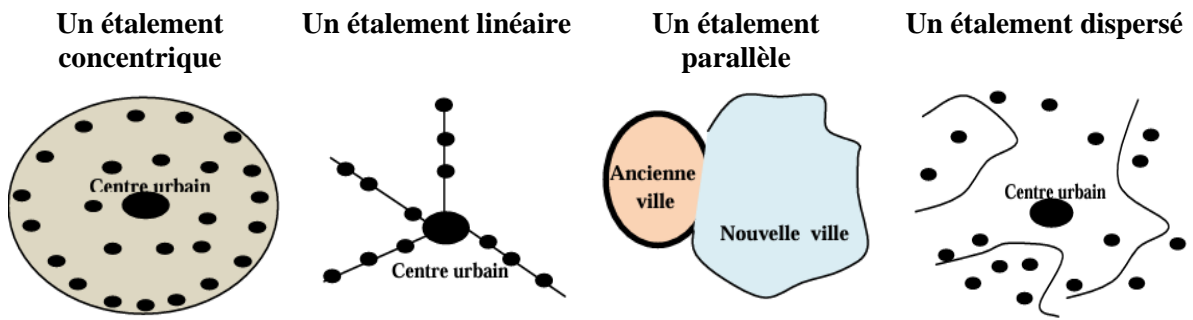
L'étalement urbain prend des formes variées selon les dynamiques d'expansion de la ville.

**Un étalement concentrique :** Lorsque l'extension urbaine se développe autour d'un noyau central (centre urbain).

**Un étalement linéaire :** Lorsque l'étalement urbain se développe le long des axes routiers et autoroutiers.

**Un étalement parallèle :** Lors de la création d'une nouvelle ville à côté d'une ville ancienne existante, c'est à dire deux entités urbaines l'une « parallèle » à l'autre.

**Un étalement dispersé :** extension urbaine dispersé ne suivant aucun des type d'extension cité plus haut à cause très souvent du relief du terrain ou au manque de réseau de communication.



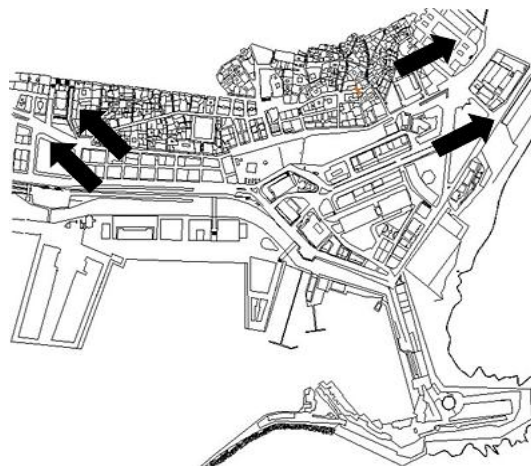
**Figure 2.** Formes d'étalement urbain

Source MALKI, 2016

#### 1.4. Formes d'étalement urbain en Algérie (MALKI, 2016)

Les formes que prend l'étalement urbain en Algérie, selon Marc Côte (1997), peuvent se résumer comme suit :

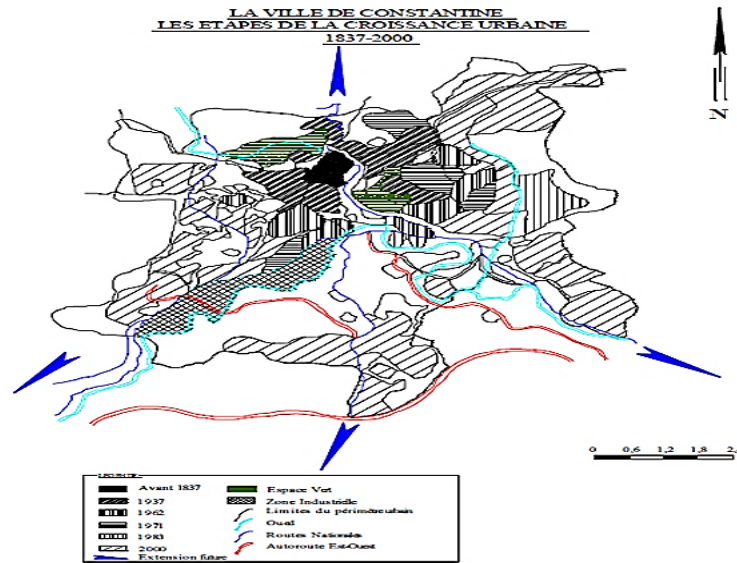
- **L'étalement sur des plaines en évitant la mer et la montagne :** cas des villes portuaires (exemple d'Alger).



**Figure 3.** Etalement urbain à Alger

Source MALKI, 2016

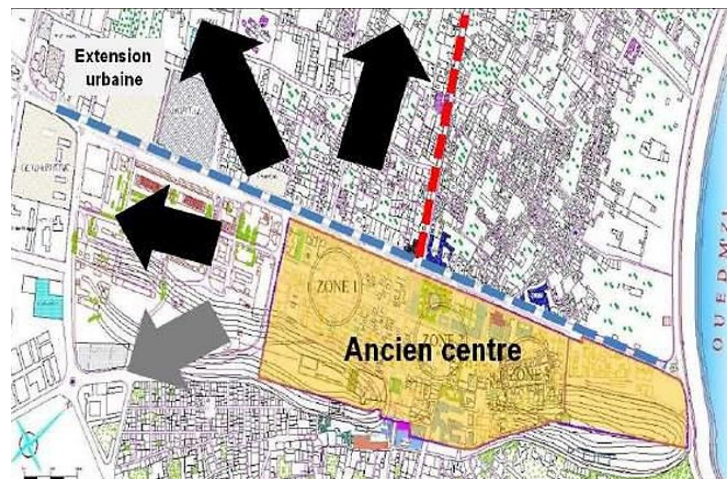
- **L'étalement en semi-auréoles** : cas des villes intérieures d'origine anciennes (exemple de Constantine).



**Figure 4.** Etalement urbain à Constantine

Source FILLALI, 2006

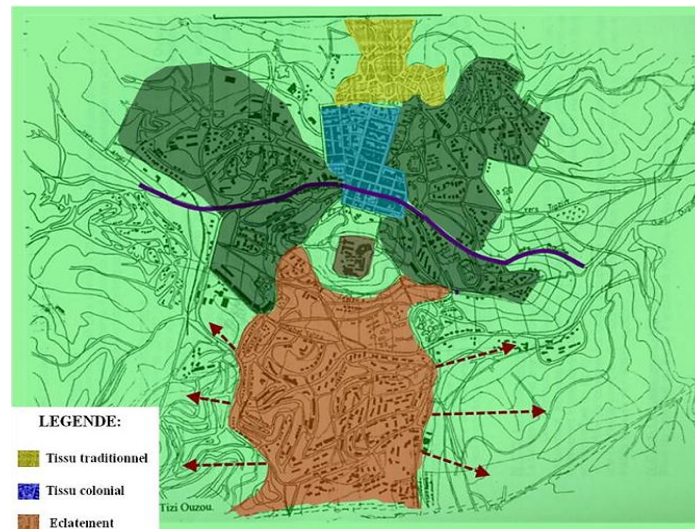
- **L'étalement autour d'un centre de l'époque islamique** : cas des villes sahariennes (exemple de Laghouat).



**Figure 5.** Etalement urbain à Laghouat

Source MALKI, 2016

- **L'étalement autour d'un centre urbain colonial:** cas des villes intérieures d'origines coloniales (exemple de Tizi-Ouzou).



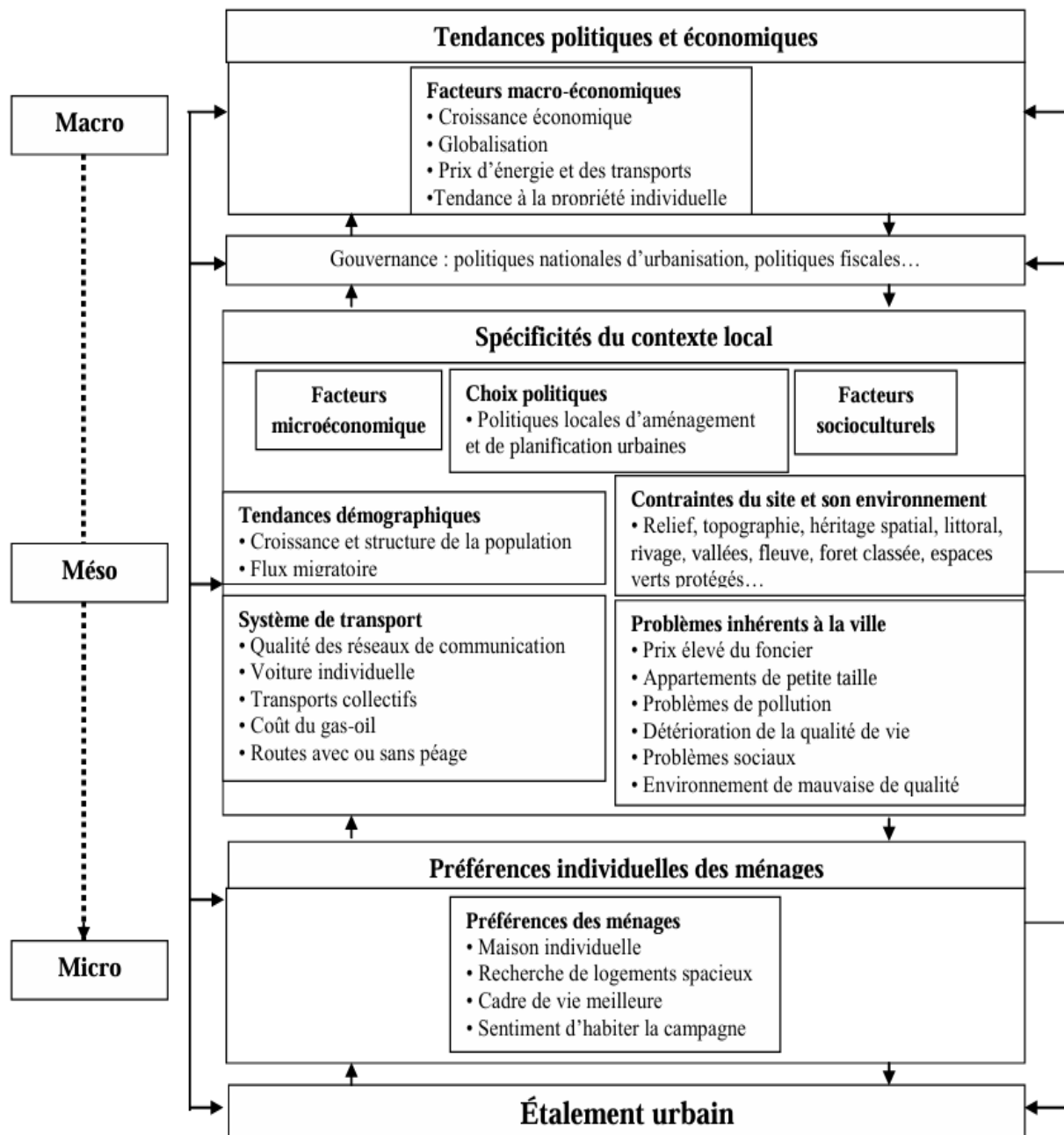
**Figure 6.** Etalement urbain à Tizi Ouzou

Source MALKI, 2016

### 1.5. Les facteurs de l'étalement urbain

L'étalement urbain est la résultante de l'interaction complexe entre plusieurs facteurs, d'ordre démographique, économique et environnemental, qui influencent directement ou indirectement la dynamique spatiale des villes.

- **La croissance de la population :** l'augmentation de la population dans la région urbaine implique une demande croissante sur le logement, ce qui peut pousser le développement urbain à s'étendre sur les zones périphériques.
- **L'évolution économique :** le développement économique et la dynamique de l'emploi en ville permet l'émigration de nouveaux habitants et favorisent la croissance urbaine, surtout de la périphérie où il y a plus d'espace et les terrains sont moins chers.
- **Politiques d'urbanisation :** les politiques gouvernementales et les réglementations en matière d'urbanisme peuvent influencer la localisation et le rythme du développement urbain.
- **Infrastructure de transport :** La création de nouvelles routes, autoroutes ou transports en commun sur les périphéries des centres urbains peuvent consolider le développement dans ces régions en rendant plus accessibles les zones jusqu'alors moins développées.
- **Préférences individuelles :** Certaines personnes préfèrent vivre dans des zones moins denses, avec plus d'espace extérieur et une atmosphère plus calme. C'est à l'origine, un déplacement de la population vers les banlieues ou des zones rurales.
- **Développement foncier :** La possibilité d'acquérir des terrains à moindre coût à la périphérie des villes peut vraisemblablement inciter les promoteurs immobiliers à développer de nouveaux lotissements résidentiels ou commerciaux dans ces zones.



**Figure 7.** Les facteurs de l'étalement urbain  
Source Aguejdad, 2009

### 1.6. Les impacts de l'étalement urbain

L'étalement urbain engendre de multiples impacts sur les territoires. Comme le souligne Aguejdad (2009) « L'étalement urbain est un vrai défi au développement durable. Il accélère la consommation d'espaces voués à l'agriculture dans les zones périurbaines, entraînant une ségrégation socio-spatiale, qui représente un coût économique et surtout entraîne des problèmes environnementaux ». Ces effets sont synthétisés dans ce qui suit :



### Impact environnemental

- Consommation des terres et des ressources ;
- Modification de l'occupation des sols ;
- Disparition d'espaces à fortes qualités écologiques (marais, prairies, bois, zones inondables, littoral, zones humides ...) ;
- Destruction de haies bocagères ;
- Fragmentation des structures paysagères.
- Dégradation des paysages à la frange de la ville ;
- Imperméabilisation et ruissellement des sols ;
- Augmentation des risques d'inondation ;
- Pollution (air, eau, bruit).



### Impact social

- Ségrégation spatiale et sociale ;
- Perte d'identité du territoire ;
- Individualisme et perte du sens de la vie en communauté ;
- Plus de temps pour se rendre au travail ;
- Stress des ménages ;
- Accidents ;
- Problèmes de santé ;
- Conflits d'usage des sols des services publics ;
- Budgets familiaux (coûts des déplacements).



### Impact économique

- Menace sérieuse, pression permanente et fragilisation de l'agriculture périurbaine ;
- Spéculation foncière et augmentation du prix du foncier ;
- Longueur des trajets parcourus ;
- Investissement des collectivités (équipements publics) ;
- Entretien des réseaux routiers ;
- Coût élevé du raccordement aux réseaux des services publics ;
- Budgets familiaux (coûts des déplacements).

## 2. Introduction à la télédétection appliquée à l'urbanisation

### 2.1. Évolution des techniques de télédétection <sup>[3]</sup>

L'histoire de la télédétection peut être divisée en cinq grandes périodes :

- **L'époque des pionniers (1856 - Première Guerre mondiale)**

L'installation d'un appareil photo sur un ballon en 1856 marque le début de la photographie aérienne. C'est une période de découverte du potentiel de la photographie verticale pour la cartographie et de découverte des principes fondamentaux de la stéréoscopie et de la photogrammétrie vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

- **L'essor de la photographie aérienne (1914 - fin des années 1950)**

Pendant cette phase, la photographie aérienne est un outil de cartographie, de prospection pétrole et de végétalisation surveillée. La répétition des avancées aéronautiques, l'équipement photographique et les émulsions en usage (couleur, noir et blanc infrarouge noir et couleur fausse infrarouge) donnent cours à des perfectionnements de techniques de photo-interprétation, encodées au fil du temps.

- **L'exploration spatiale et l'essor de la télédétection (1957 - 1972)**

L'ouverture de l'ère spatiale, amorcée par la mise en orbite des premiers satellites et vaisseaux spatiaux habités, révèle la capacité de l'observation de la planète terre depuis l'espace. C'est alors que les radiomètres-imageurs et les radars aéroportés sont développés et améliorés. La télédétection spatiale découvre ses premières applications opérationnelles avec les satellites météorologiques de la série ESSA dans les années 1960.

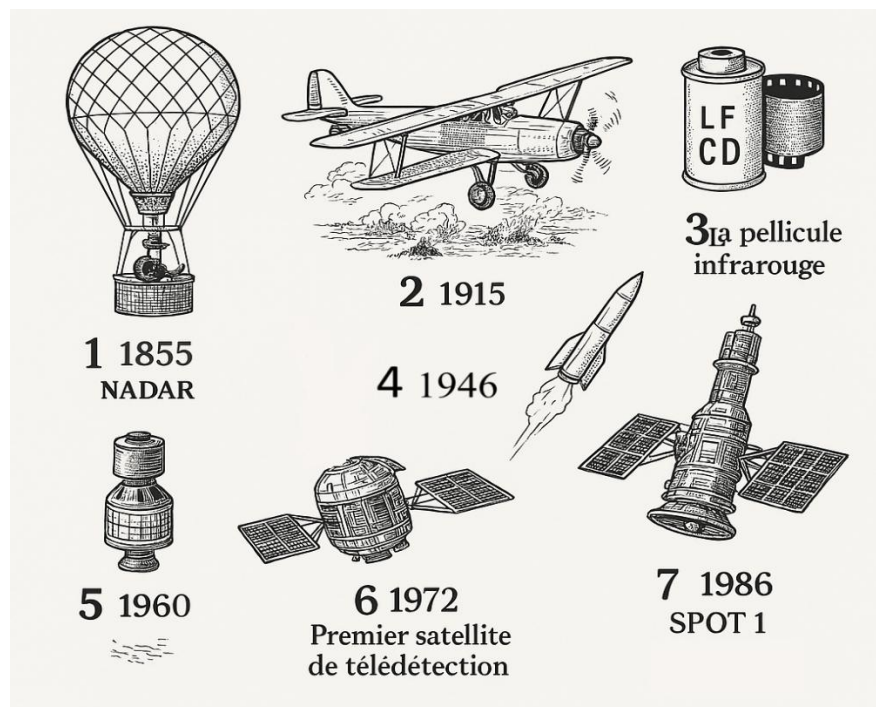
- **L'avènement de la télédétection moderne (les années 1970)**

Lancement du satellite ERTS (Landsat 1) en 1972, qui inaugure l'ère contemporaine de la télédétection. L'amélioration des détecteurs et des procédures de traitement des images numériques ouvre de nouveaux ensembles d'application, faisant de la télédétection un outil incontournable à la gestion des ressources terrestres et un levier économique d'un grand enjeu.

- **L'essor continu de la télédétection (après les années 1970)**

L'évolution de la télédétection se fait en parallèle de plusieurs progrès marquants, c'est-à-dire avec :

- Augmentation de la résolution spatiale des capteurs, permettant une observation plus détaillée de la surface terrestre.
- Diversification des capteurs, couvrant un spectre électromagnétique de plus en plus large et spécialisé.
- Multiplication des satellites équipés de capteurs actifs, tels que des radars, aux années 1990. Des capteurs de très grande résolution spectrale sont utilisés couramment dans l'aéroporté et appréciés pour commencer à être embarqués sur des satellites.
- Commercialisation des données, engagée avec le programme SPOT (1986), qui entérine l'émergence d'un marché concurrentiel et l'engagement progressif d'acteurs privés.
- Diffusion rapide et optimisation de l'exploitation des données, rendues possibles par la capacité croissante des ordinateurs, qui favorisent l'émergence de nouvelles techniques d'analyse.



**Figure 8.** Evolution de la télédétection <sup>[4]</sup>

## 2.2. Définition et principes de la télédétection

Le mot « télédétection » peut être divisé en deux parties : Télé (à distance) et détection (dérivé du verbe détecter).

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir des informations de la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.

- Par le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol, ...), etc.
- Développer un outil essentiel pour fournir des images de satellites d'observation de la Terre, convenant pour les multiples applications souhaitées.
- Élargir la connaissance de notre environnement et faciliter l'interprétation des multiples processus qui affectent la planète.
- La télédétection est de plus en plus utilisée en géosciences, depuis les photographies aériennes jusqu'aux drones super équipés, la notion de télédétection a passé d'un outil d'observation à un outil d'investigation et de prospection.

- Elle s'appuie sur la physique quantique (rayonnement électromagnétique) et les sciences informatiques (algorithmes de traitement des images).

### 2.3. La télédétection en Algérie

En Algérie, l'Agence spatiale algérienne (ASAL), s'est engagée dans une politique de développement spatial visant à consolider le développement socio-économique et la souveraineté nationale. Un certain nombre de satellites ont été lancés depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle, notamment AlSat-1 (2002), AlSat-2A (2010), AlSat-2B et AlSat-1B (2014), AlSat-1N (2016) et AlcomSat-1 (2017). Un projet de satellite d'observation à très haute résolution, AlSat-3, est en phase de réalisation.

Le Programme Spatial National (PSN), adopté en 2006 et renouvelé tous les cinq ans, oriente la stratégie spatiale algérienne à l'horizon 2040. Il vise à renforcer les capacités industrielles et scientifiques du pays, notamment dans les domaines de la télédétection satellitaire, des SIG et de la géolocalisation (GPS, Glonass, Galileo). Le programme soutient également divers secteurs par le biais des télécommunications spatiales et des outils d'aide à la décision. <sup>[5]</sup>



**Figure 9.** Lancement AlSat-1 <sup>[5]</sup>

### 3. Les avantages de la télédétection sur l'étalement urbain

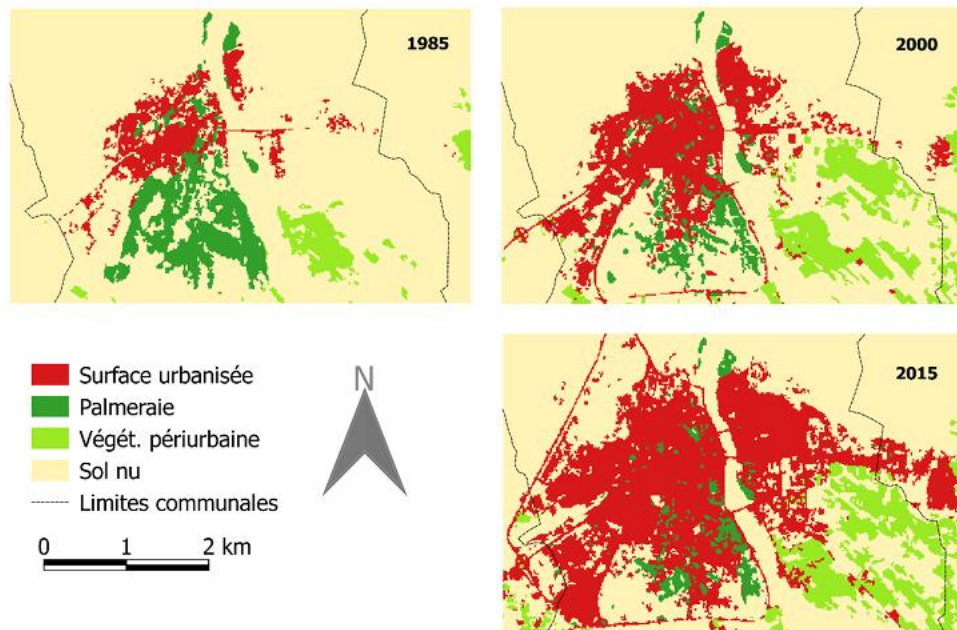
Les avantages spécifiques sur l'utilisation de la télédétection pour l'étalement urbain sont:

- **Couverture spatiale étendue** : Les satellites de télédétection ont la capacité de couvrir de grandes régions et permet le suivi de l'étalement des villes à grande échelle. Par exemple, une scène Landsat couvre une zone de 115x115 miles. <sup>[6]</sup>
- **Collecte non intrusive et régulière des données** : La télédétection permet d'obtenir des données d'une manière non intrusive et systématique, particulièrement utile dans les zones inaccessibles. De plus, les données sont disponibles avec une fréquence régulière, permettant ainsi une analyse temporelle des changements urbains. <sup>[5]</sup>
- **Analyse historique et contemporaine** : L'exploitation d'archives d'images satellites a pour but une analyse historique afin de comprendre les mécanismes de l'étalement urbain à travers le temps. Cela permet de déterminer les tendances déjà existantes et de lancer des prévisions de transformations à venir.
- **Classification et cartographie précises** : Les méthodes de classification multispectrale permettant de distinguer les surfaces en plusieurs types d'occupation du sol facilitant la création de cartes précises de l'étalement urbain.
- **Évaluation des impacts environnementaux** : La télédétection contribue à l'analyse des impacts environnementaux du phénomène d'étalement urbain tels que la distorsion naturelle et la perte de biodiversité. (MARZOUK & al. 2018)

### 4. L'étalement urbain à travers le territoire algérien

#### ➤ L'étalement urbain au Bas-Sahara : cas de Biskra

L'étude de la ville de Biskra révèle une urbanisation rapide ayant fortement réduit les palmeraies. Grâce à l'analyse d'images satellitaires (1985, 2000, 2015), la télédétection a permis de suivre cette dynamique. Le bâti a progressé de 52,75 ha/an (1985–2000), puis 92,89 ha/an (2000–2015), transformant 66,56 % des palmeraies en zones urbaines ou sols nus. L'expansion urbaine, dirigée vers le sud et l'ouest, met en péril l'équilibre écologique oasien, confirmant l'utilité des SIG pour anticiper et gérer ce phénomène.

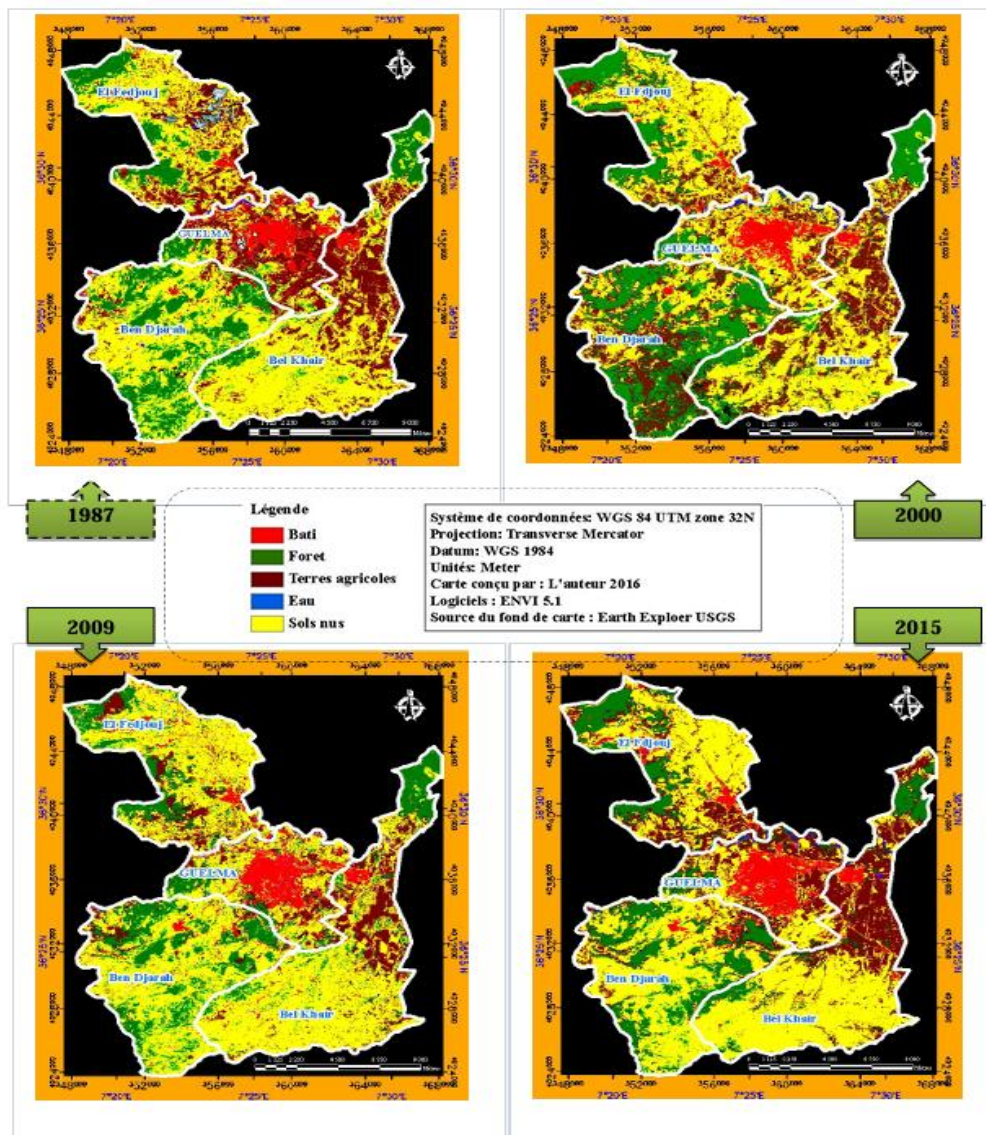


**Figure 10.** Évolution spatiotemporelle des classes d'occupation du sol de l'oasis de Biskra (1985 - 2015)

Source Dechaicha & *al.* 2020

### ➤ L'étalement urbain dans les Hauts Plateaux : cas de Guelma

Une étude a analysé l'étalement urbain du groupement intercommunal de Guelma entre 1987 et 2015 à l'aide de données satellitaires Landsat (TM et ETM+). Par classification supervisée, ACP et analyse visuelle, elle met en évidence une croissance importante du bâti au détriment des terres agricoles et forestières, notamment vers le Sud et l'Est de Guelma, avec une conurbation progressive avec Bel Khair. La morphologie urbaine varie : compacte à Bel Khair et Ben Djarah, allongée à Guelma et El Fdjouj. La télédétection se révèle un outil efficace pour suivre les dynamiques spatio-temporelles de l'urbanisation.

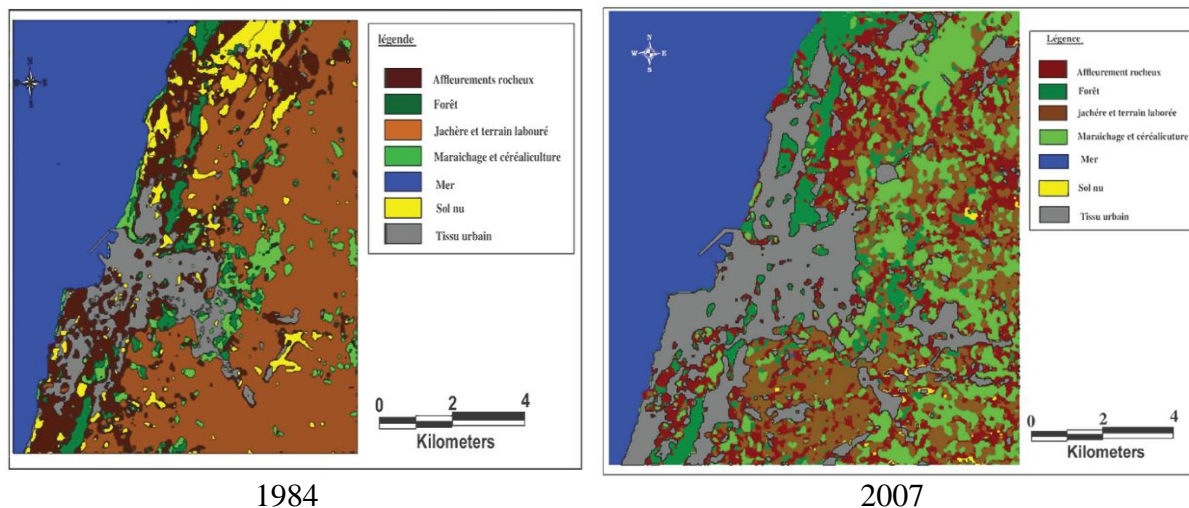


**Figure 11.** L'étalement urbain dans le groupement intercommunal de Guelma de 1987 à 2015

Source GUECHI & al. 2017

### ➤ L'étalement urbain en zone littorale : cas de Mostaganem

L'analyse spatio-temporelle entre 1984 et 2007 révèle une forte dynamique d'urbanisation à Mostaganem, où la superficie bâtie est passée de 1 377 ha à 2 936 ha. Cette croissance de 3,3 % par an, bien supérieure au rythme démographique (1,22 %), s'est traduite par un étalement vers le nord-est et le sud-ouest. La télédétection, à travers les images Landsat et QuickBird, a permis de cartographier et quantifier ces transformations, reflétant l'impact des facteurs socio-économiques et migratoires sur l'occupation du sol.



**Figure 12.** Carte d'occupation du sol de Mostaganem

Source BENTEKHICI & al. 2013

#### 4.1. Synthèse comparative

L'étalement urbain en Algérie, observable à travers des contextes géographiques variés du Bas-Sahara aux Hautes Plaines et jusqu'aux zones littorales confirme que ce phénomène ne connaît pas de barrières topographiques. Les études menées sur les villes de Biskra, Guelma et Mostaganem révèlent une urbanisation rapide et souvent incontrôlée, touchant aussi bien les zones arides des oasis que les milieux de montagnes ou les régions côtières. Ces transformations spatiales ont été rigoureusement quantifiées grâce à la télédétection spatiale et aux SIG, outils désormais incontournables pour l'analyse diachronique de l'occupation du sol. L'utilisation d'images satellites multi-dates (Landsat, QuickBird, ALSAT) et de techniques de classification supervisée permet non seulement d'identifier les zones urbanisées, mais aussi de mesurer avec précision les taux de croissance, les directions d'expansion et les formes d'urbanisation (compacte ou diffuse). Ainsi, la télédétection offre une solution technologique essentielle pour comprendre, anticiper et potentiellement maîtriser ce phénomène complexe d'étalement urbain, quels que soient le contexte climatique ou géomorphologique.

#### Conclusion

L'étude de l'étalement urbain nécessite une compréhension approfondie de ses : définitions, causes et implications. Ce phénomène, qui est le résultat d'une multitude de facteurs économiques, sociaux et environnementaux, constitue un défi sérieux pour l'aménagement du territoire et du développement durable.

Ce cadre théorique et conceptuel constitue donc le socle nécessaire à l'étude de l'étalement urbain par l'utilisation de la télédétection, qui sera étudié plus en détail dans les chapitres suivants à travers une approche méthodologique et appliquée.

---

*Chapitre 2*

**Présentation de la zone d'étude**

---

## **Introduction**

L'étalement urbain est un phénomène qui accompagne la croissance des villes, souvent de manière non planifiée, modifiant profondément l'organisation de l'espace. La daïra de Chetouane a été choisie comme terrain d'étude en raison de sa situation géographique stratégique à proximité de la ville de Tlemcen, de son expansion urbaine rapide et de l'impact visible de cette croissance sur le paysage local. Marquée par l'extension des zones bâties au détriment des espaces agricoles

Ce choix s'explique par les transformations visibles du territoire. Ce chapitre se propose ainsi d'analyser les facteurs géographiques, socio-économiques et administratifs ayant favorisé cette urbanisation diffuse.

### **1. Identification et aperçu historique**

#### **1.2. Situation géographique de la wilaya de Tlemcen**

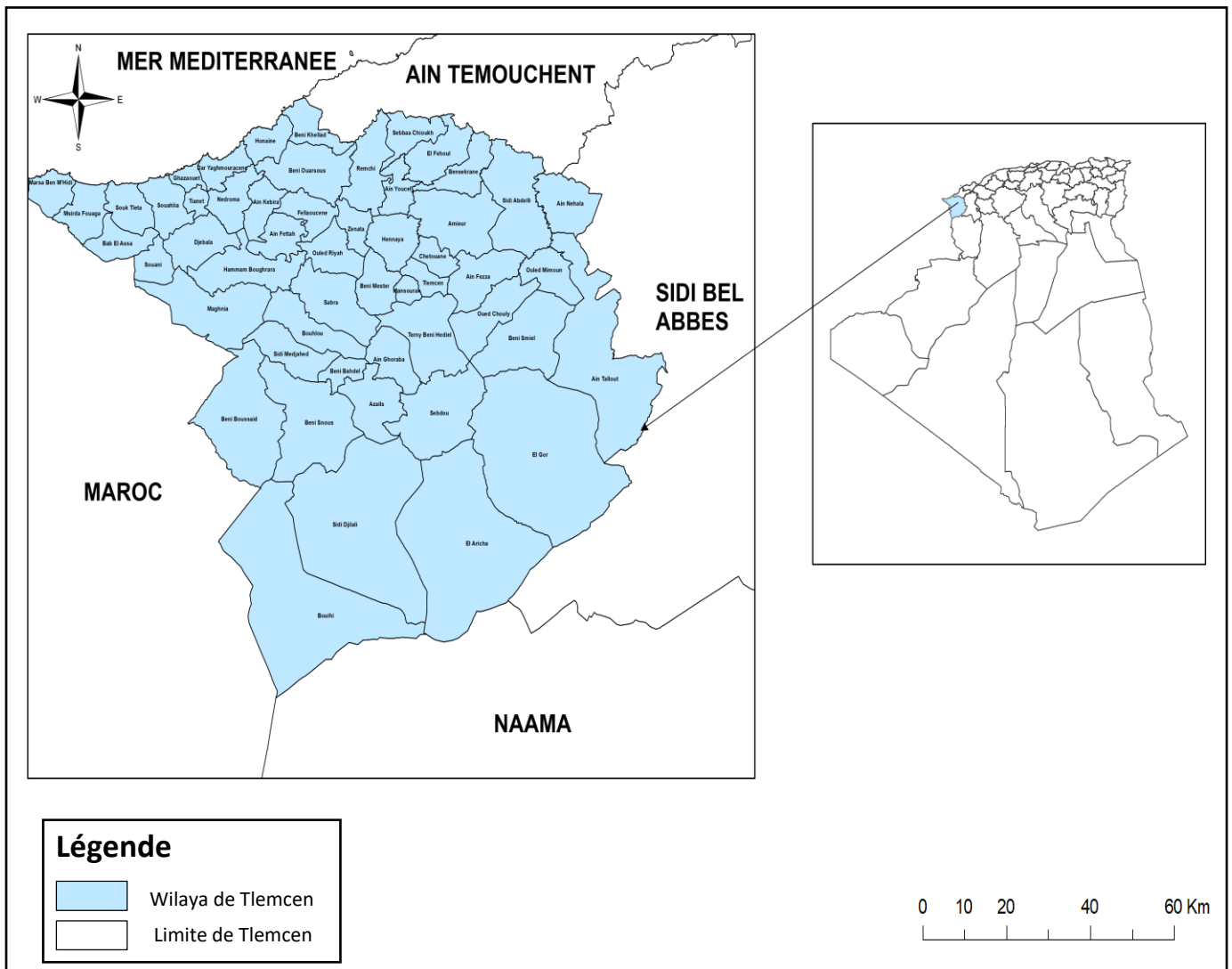
La wilaya de Tlemcen est située sur le littoral nord-ouest de l'Algérie et dispose d'une façade maritime de 120 km. Elle est frontalière avec le Maroc et couvre une superficie de 9 017,69 km<sup>2</sup>.

Le chef-lieu de la wilaya est située à 521 km à l'ouest de la capitale Alger. La wilaya se trouve à l'extrême nord-ouest de l'Oranie, dans l'ouest du pays.

Tlemcen est une ville ancestrale au riche passé, l'homme s'y est intéressé depuis des temps immémoriaux. Tlemcen est connue par ces monuments historiques de valeur touristique et culturelle et d'une touche unique. Le visiteur entre aperçoit les vestiges de la splendeur de l'ancienne civilisation islamique.

Elle est délimitée :

- Au nord par la mer Méditerranée.
- À l'ouest par le Maroc.
- Au sud par la wilaya de Naâma.
- À l'est par les wilayas de Sidi Bel Abbès et Aïn Témouchent.



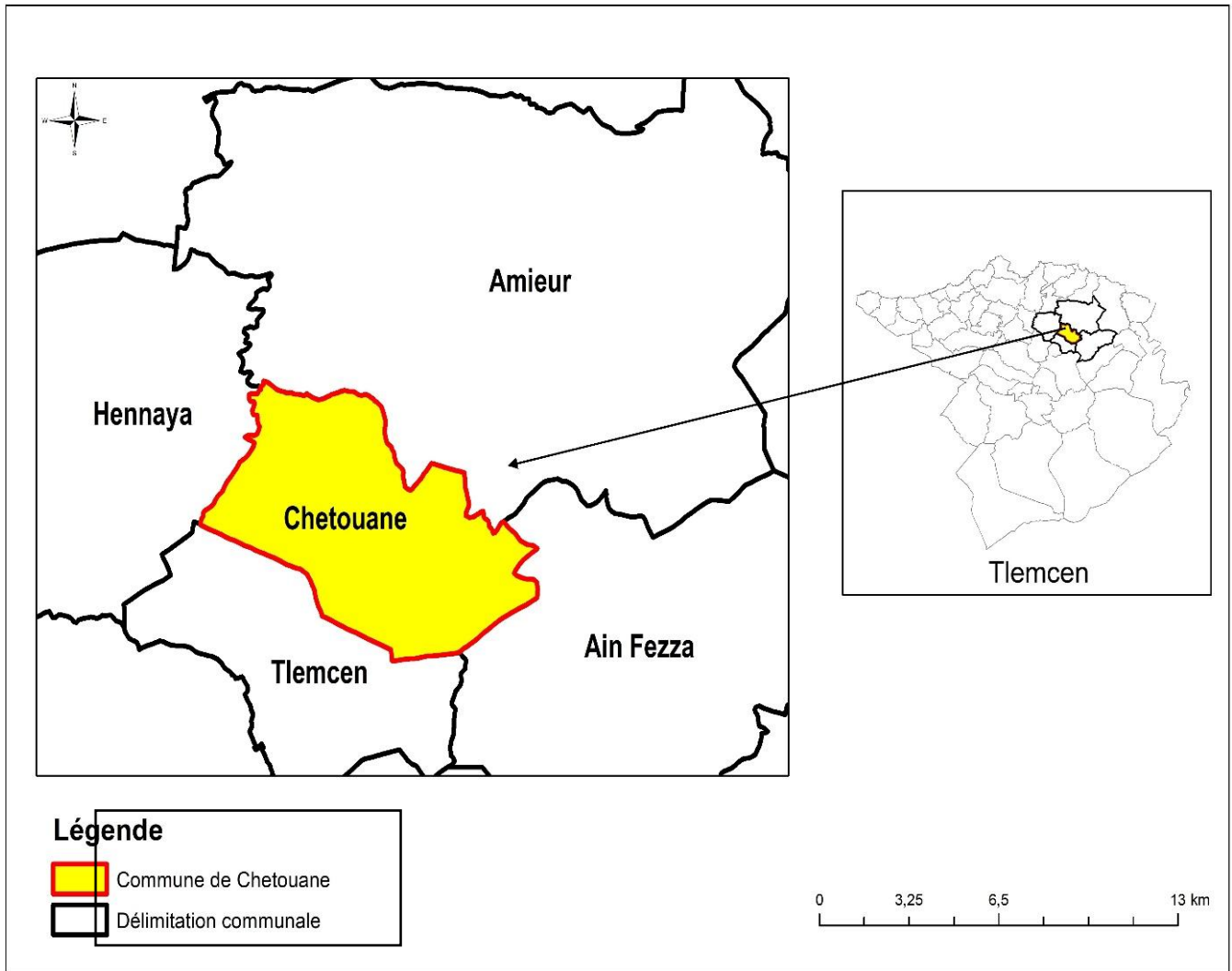
**Figure 13.** Situation géographique de la wilaya de Tlemcen

## 1.2. Situation de la zone d'étude

La Daïra de Chetouane est localisée à environ 6 km au nord-est de la ville de Tlemcen, à 574 mètres d'altitude. Cette ville est construite le long de l'ancienne route reliant Tlemcen à Oran, à proximité de l'Oued Saf-Saf et au pied du Djebel El Hadid. Son relief caractérisé par une succession de plaines et de collines, contribue pleinement à l'urbanisation de la ville.

La zone d'étude est délimitée au :

- Nord-est par la commune d'Amieur.
- Nord-ouest par la commune de Henaya.
- Sud-ouest par la commune de Tlemcen.
- Sud-est par la commune d'Ain Fezza.



**Figure 14.** Localisation de la Daïra de Chetouane, Wilaya de Tlemcen

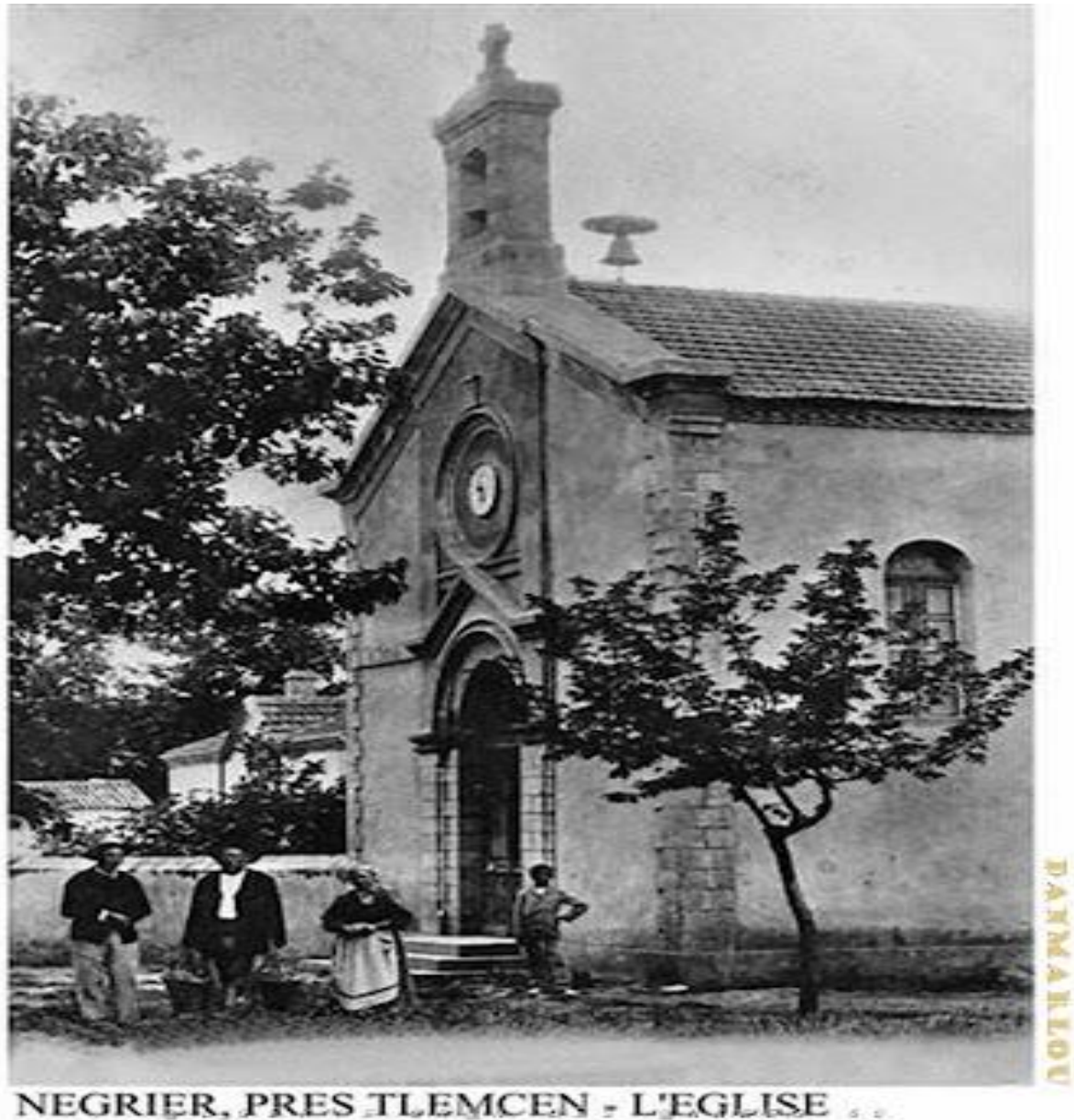
### 1.3. Histoire et évolution urbaine de Chetouane

Chetouane, créé en 1849 par décret, portait initialement le nom du général François Marie Casimir de Négrier, commandant de la Division de Constantine, très populaire au point que la population lui a offert une épée d'honneur. À sa fondation, la ville avait bénéficié d'un territoire de 380 hectares destinés à accueillir 40 colons français pour lesquels des logis et une enceinte furent construits aussitôt. Le but était de faire un village organisé et sécurisé pour recevoir les nouveaux habitants dans des conditions propices à l'établissement et à l'épanouissement. En 1854, un adjoint spécial fut adoubé pour administrer le village sous l'autorité de la commune de Tlemcen, assurant la sécurité grâce à une petite milice et un garde champêtre chargé de maintenir l'ordre public et d'assurer la protection des biens. En 1856 fut ouverte une école pour accueillir 32 élèves, ce qui témoigne d'une volonté d'éducation et d'instruction de la part des habitants du village.

L'agriculture a joué un rôle déterminant dans l'économie et l'expansion du village. En 1864 le territoire de la ville est étendu à 2 168 ha ce qui a permis une expansion de l'activité agricole. Grâce à un bon système d'irrigation, ils avaient pu planter des vergers possédant des

oliviers, des cerisiers, des pommiers, des poiriers, et d'autres arbres fruitiers, sans oublier la vigne et les légumes. Ces plantations contribuèrent à l'autosuffisance du village et à l'essor d'un marché agricole qui permit aux habitants de subsister et d'échanger leurs productions. Après l'indépendance de l'Algérie, « **Négrier** » fut rebaptisé **Chetouane**. (Rosso, 2008)

En 19 décembre 1984, la commune de Chetouane englobé les localités suivantes : Chetouane, Ouzidan, Aïn El-Hout, Aïn Defla, Saf Saf, Medigue, Sidi Aïssa et Domaine Hamadouche.



**Figure 15.** Ancienne photo de « Négrier » telle qu'elle a été bâtie à ses débuts

Source Rosso, 2008

## **2. Contexte administratif et socio-économique**

### **2.1. Contexte administratif**

Dans la wilaya de Tlemcen, la daïra de Chetouane joue un rôle administratif majeur dans la région. Elle se distingue par une organisation institutionnelle dense et une concentration importante d'équipements publics, ce qui renforce sa position en tant que pôle urbain d'intérêt local. En matière d'éducation, la commune dispose de 21 écoles primaires, 7 collèges, 2 lycées, ainsi qu'un centre de formation professionnelle et un pôle universitaire, offrant ainsi un parcours éducatif complet à sa population. Elle accueille également une cité universitaire, renforçant son attractivité pour les étudiants et stimulant le développement d'infrastructures et de services annexes.

Sur le plan administratif et institutionnel, Chetouane abrite le siège de la daïra, l'Assemblée Populaire Communale (APC), la recette des impôts, l'inspection des impôts, ainsi que la direction de l'urbanisme et de la construction, jouant un rôle central dans la gouvernance, la fiscalité locale et la planification urbaine. En matière de sécurité, la commune est équipée du siège de la police et du siège de la gendarmerie nationale, garantissant un climat de stabilité essentiel au développement urbain.

Dans le domaine des services publics, la commune dispose de plusieurs agences importantes telles que l'Agence de la SONELGAZ, Algérienne des Eaux, l'Agence foncière, le Bureau national de l'assainissement, ainsi que le Bureau national de développement, qui assurent la gestion des ressources, de l'assainissement, de l'urbanisme et de l'énergie. Le secteur sanitaire est également bien représenté à travers un centre de santé multiservices et sept salles de soins, répondant aux besoins médicaux de la population.

Sur le plan socio-culturel, la commune est dotée de plusieurs infrastructures destinées à améliorer le cadre de vie de ses habitants, telles que le centre psychopédagogique pour handicapés moteurs, le centre culturel municipal Frères Khemis, une maison de jeunes, un complexe sportif Chouhada Boulenouar, ainsi que trois bureaux de poste. L'ensemble de ces équipements témoigne du développement urbain soutenu de Chetouane et de son importance croissante au sein du territoire, des éléments essentiels à prendre en compte dans l'étude de l'étalement urbain de la commune. (ANNEXE 1)

### **2.2. Contexte socio-économique**

Sur le plan socio-économique, la daïra de Chetouane bénéficie d'une activité économique particulièrement dense et diversifiée, qui constitue un moteur majeur de son développement urbain. Elle accueille un tissu industriel, commercial et logistique composé d'entreprises publiques, privées et mixtes opérant dans divers secteurs tels que l'industrie, l'énergie, le transport, la mécanique, la plasturgie, l'agroalimentaire, et le bâtiment. Parmi les entreprises publiques et nationales les plus notables figurent la Société Nationale des Véhicules Industriels (SNVI), l'Entreprise Nationale des Travaux de Canalisation (ENTC), la SONELGAZ, NAFTAL, la CAMEG (matériel médical), la SNTA (tabacs), ainsi que la société SITEL, spécialisée dans les technologies et solutions industrielles.

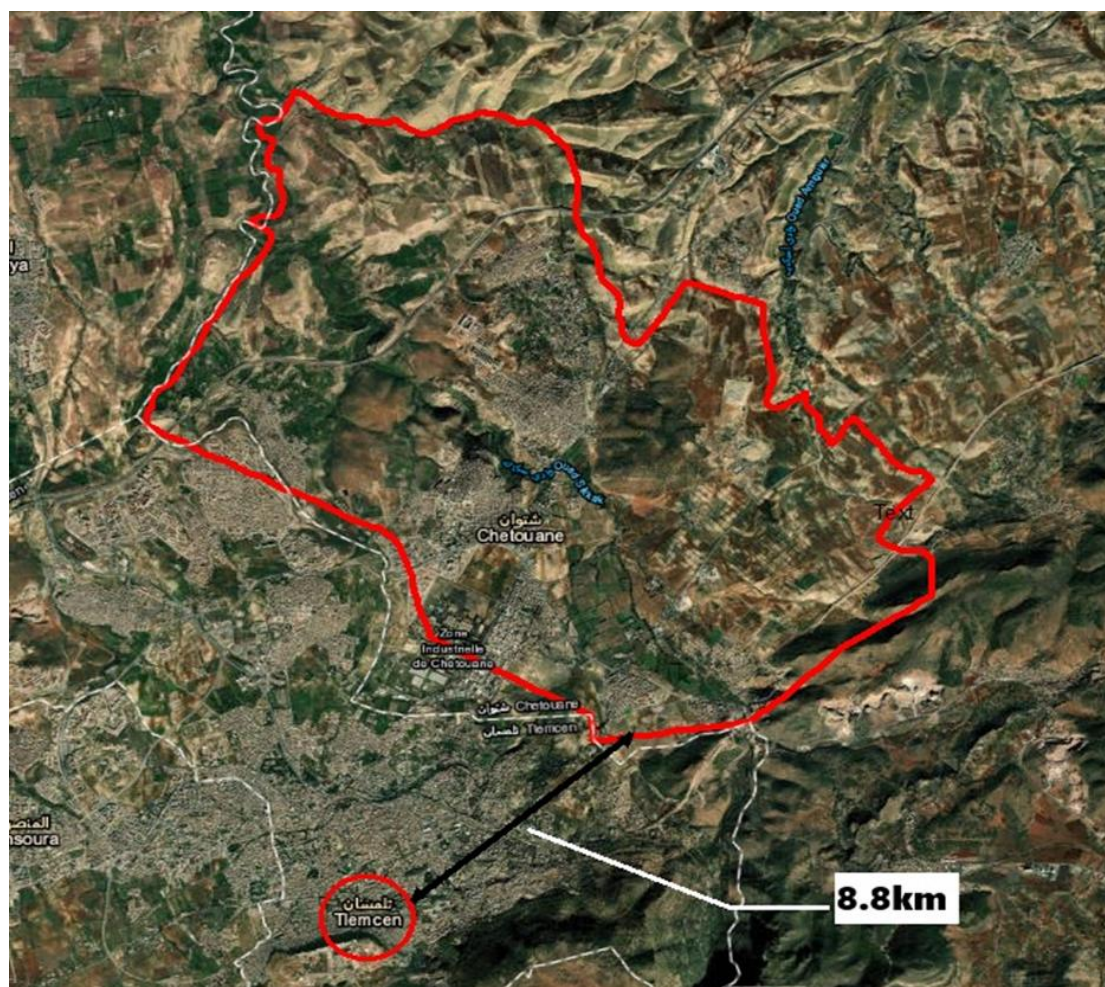
La sphère privée est tout aussi dynamique, avec des entreprises de renom telles que TAHKOUT Mahieddine, Matla Atlas, TECHNALIT, SANP Ben Mimoune, (SPA) du Maghreb, FABI Laachachi Hebri, SARL Ben Sfia, Foryouta Automobiles, SARL Belplast, SARI Abdelhakim Hydra Sanitaire, Le Rouel Laachachi Mustapha, SARL CM, SARL Cosa Plast, AB Chouping, SARL Vergour, SOMACT, La Chatex, SARL Maghreb, Afrikafi, Roi de la Dorure, Minoterie

El Maghreb, ETS Benyahia, le Groupe EGTH Dennouni, et Minoterie Tafna. Ces entités couvrent un large éventail d'activités industrielles et commerciales, générant une offre importante d'emplois directs et indirects pour la population locale. (ANNEXE 1)

Cette vitalité économique attire une population active croissante, en quête d'opportunités professionnelles et de logements, ce qui contribue significativement à l'étalement spatial de la commune. L'implantation massive de ces entreprises entraîne le développement de zones industrielles, de lotissements résidentiels et d'infrastructures connexes, accentuant l'urbanisation souvent non planifiée des périphéries. Ainsi, le dynamisme économique de Chetouane constitue un levier essentiel à considérer dans l'analyse de l'étalement urbain, car il influence directement l'occupation de l'espace, les flux migratoires internes et la morphologie urbaine en constante évolution.

### 3. La dynamique de l'urbanisation dans la daïra de Chetouane

#### 3.1. L'éloignement au centre-ville de Tlemcen



**Figure 16.** L'éloignement entre la daïra de Chetouane et le centre de la ville Tlemcen

La carte montre clairement la proximité géographique entre la daïra de Chetouane et le centre-ville de Tlemcen, à une distance approximative de 8,8 km, elle joue un rôle important dans le processus d'étalement urbain de la daïra.

Cette proximité favorise les déplacements quotidiens des habitants vers Tlemcen pour des raisons professionnelles, éducatives ou de loisirs. De ce fait Chetouane dispose d'un accès facile à l'animation sociale et économique au centre-ville et donc de plus en plus attractive.

Les effets de cet étalement sont variés : la demande foncière devient plus importante, ce qui entraîne une forte pression sur le marché immobilier, cela peut faire apparaître une spéculation foncière.

Par ailleurs, l'urbanisation sur les terres agricoles constitue une menace pour les espaces naturels et la biodiversité. Cette urbanisation rapide et non planifiée complique également la gestion du territoire, avec les problèmes de planification urbaine.

Dans ce contexte, les résultats obtenus permettent de caractériser la dynamique de l'étalement urbain à Chetouane, marquée par une progression de l'occupation de l'emprise au sol et une hausse de la pression terres agricoles.

### 3.2. La croissance démographique

L'évolution démographique de la daïra de Chetouane entre 1998 et 2025 montre une tendance à une croissance continue, donc une plus forte pression sur l'espace urbain. En réalité la population totale a ainsi augmenté de 35 082 habitants en 1998 à 58 500 habitants en 2025 soit plus de 67 % en 27 ans.

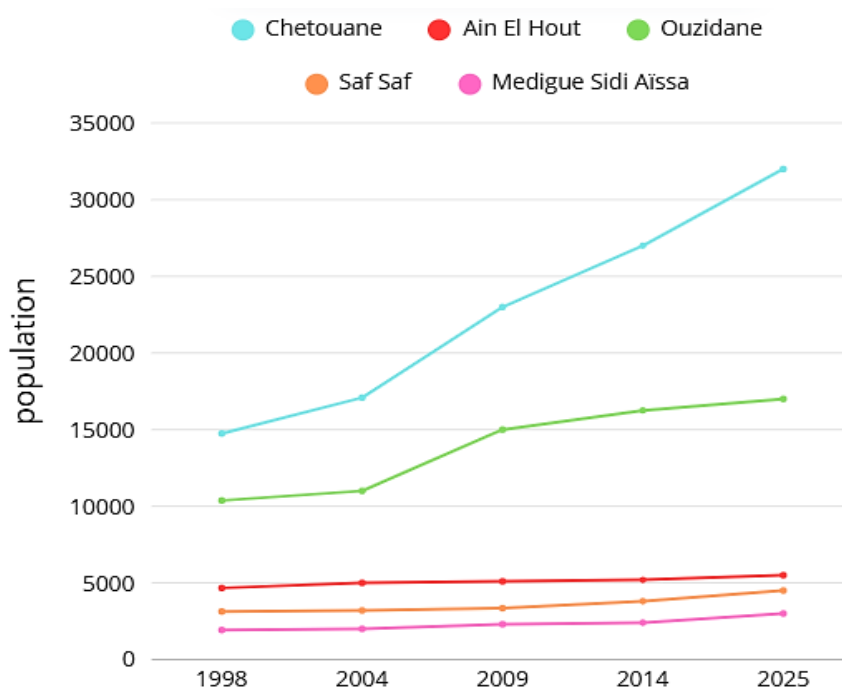
Cette évolution est très sensible chez la localité principale de Chetouane, qui a atteint à elle seule six fois les chiffres de progressions 14 749 habitants en 1998 pour arriver à 32 000 habitants en 2025. Ce doublement de population montre clairement l'intérêt de cette zone, ce qui peut être dû à des facteurs socio-économiques, à la disponibilité des services, ou encore à des projets d'urbanisation.

Les autres communes, comme Ouzidane et Saf-Saf, suivent aussi une forte augmentation, bien que moins spectaculaire, ce qui traduit une expansion progressive de l'urbanisation vers les périphéries. La zone d'habitat dispersé, initialement peu peuplée (237 habitants en 1998), sa population augmente plus que du doublée à 500 habitants en 2025, ce qui témoigne d'un étalement urbain diffus, a souvent non planifié.

Le tableau suivant montre l'accroissement de la population dans notre zone d'étude selon les différentes années. (BELHADEF, 2015)

**Tableau 1.** Variation dans la population à travers le temps de la daïra de Chetouane

Localité	1998	2004	2009	2014	2025
<b>Chetouane</b>	14749	17085	23000	27000	32000
<b>Ain El Hout</b>	4667	5000	5100	5200	5500
<b>Ouzidane</b>	10376	11000	15000	16250	17000
<b>Saf Saf</b>	3133	3200	3350	3800	4500
<b>Medigue Sidi Aissa</b>	1920	2000	2300	2400	3000
<b>Zone éparsé</b>	237	250	300	350	500
<b>Total</b>	35082	38535	49250	52000	58500



**Diagramme 1.** Évolution de la population totale de la daïra de Chetouane 1998-2024

### 3.2.1. Les causes de la croissance démographique

- **Accroissement naturel** : L'augmentation des naissances et la baisse de la mortalité contribuent fortement à la croissance urbaine, en particulier dans les pays en développement.
- **Migrations** :
  - **Exode rural** : La crise de l'emploi agricole, la faible rentabilité rurale et l'influence croissante de la culture urbaine poussent les populations rurales à s'installer en ville.
  - **Immigration étrangère** : L'arrivée de populations étrangères, principalement en milieu urbain, est influencée par des facteurs économiques et politiques.
- **Politiques de logement** : Le développement de logements sociaux et promotionnels a favorisé l'installation de nouveaux citoyens dans les villes.
- **Évolution économique** : L'industrialisation et l'expansion du secteur tertiaire ont accéléré l'urbanisation.

### 3.2.2. Les conséquences de la croissance démographique

Sont multiples, nommons :

- **Impact sur la population** : L'augmentation de la densité de population entraîne un déséquilibre démographique marqué par une pyramide des âges irrégulière, un taux d'inactivité élevé, une diversité culturelle croissante, ce qui impacte directement les systèmes éducatifs et le marché de l'emploi.
- **Transformation urbaine** : L'expansion des villes et la formation de conurbations entraînent une réduction significative des terres agricoles et provoquent des mutations importantes dans l'organisation et le paysage urbain.

- Transformation urbaine : L'expansion des villes et la formation de conurbations entraînent une réduction significative des terres agricoles et provoquent des mutations importantes dans l'organisation et le paysage urbain. **Enjeux et coûts associés :**
  - **Foncier** : Hausse des prix du sol due à sa rareté et à sa localisation stratégique.
  - **Services et infrastructures** : Forte demande en logements, transports et équipements publics, ainsi que des défis liés à la pollution et aux nuisances urbaines.

### 3.3. Le trafic urbain de Chetouane

Le transport public dans la daïra de Chetouane est constitué de plusieurs lignes principales : la ligne 03 en direction du centre-ville, la ligne 13 pour Ouzidane, la ligne 23 vers Aïn Hout et la ligne D allant vers la Gare Routière de Tlemcen. Ces lignes passent par différents quartiers anciens et modernes, avec un grand nombre d'arrêts. Ce qui signifie une constante expansion du tissu urbanisé au fil des ans.

Nous avons cartographié l'ensemble de ces lignes afin d'illustrer visuellement leur parcours et leur contribution à l'organisation spatiale de la commune.

Cependant, la carte de la ligne 23 en direction d'Aïn El Hout n'a pas pu être finalisée, en raison de travaux en cours sur cette route.

La ramification de ces lignes de bus montre l'ajustement du réseau de transports aux besoins croissants d'une population toujours plus dispersée résultant directement de l'étalement urbain. En reliant les zones périphériques aux secteurs d'activités et de services, ces lignes permettent d'intégrer les nouveaux quartiers socio-spatialement tout en facilitant les déplacements quotidiens (au travail, à l'école ou pour le commerce).

En particulier, la ligne D joue un rôle important dans la liaison de Chetouane aux réseaux interurbains, renforçant son intégration régionale et sa fonction croissante de pôle secondaire au sein du système urbain de la wilaya de Tlemcen.

Ce réseau de transport n'accompagne pas seulement la croissance urbaine : il la structure, l'oriente et la rend possible. Il s'impose ainsi comme un indicateur pertinent pour analyser les transformations spatiales, la dynamique démographique et les enjeux socio-économiques liés à l'étalement urbain.



Figure 17. Itinéraire de la ligne D menant à Gare Routière



Figure 18. Itinéraire de la ligne 03 menant à centre-ville



Figure 19. Itinéraire de la ligne 23 menant à Ain El Hout

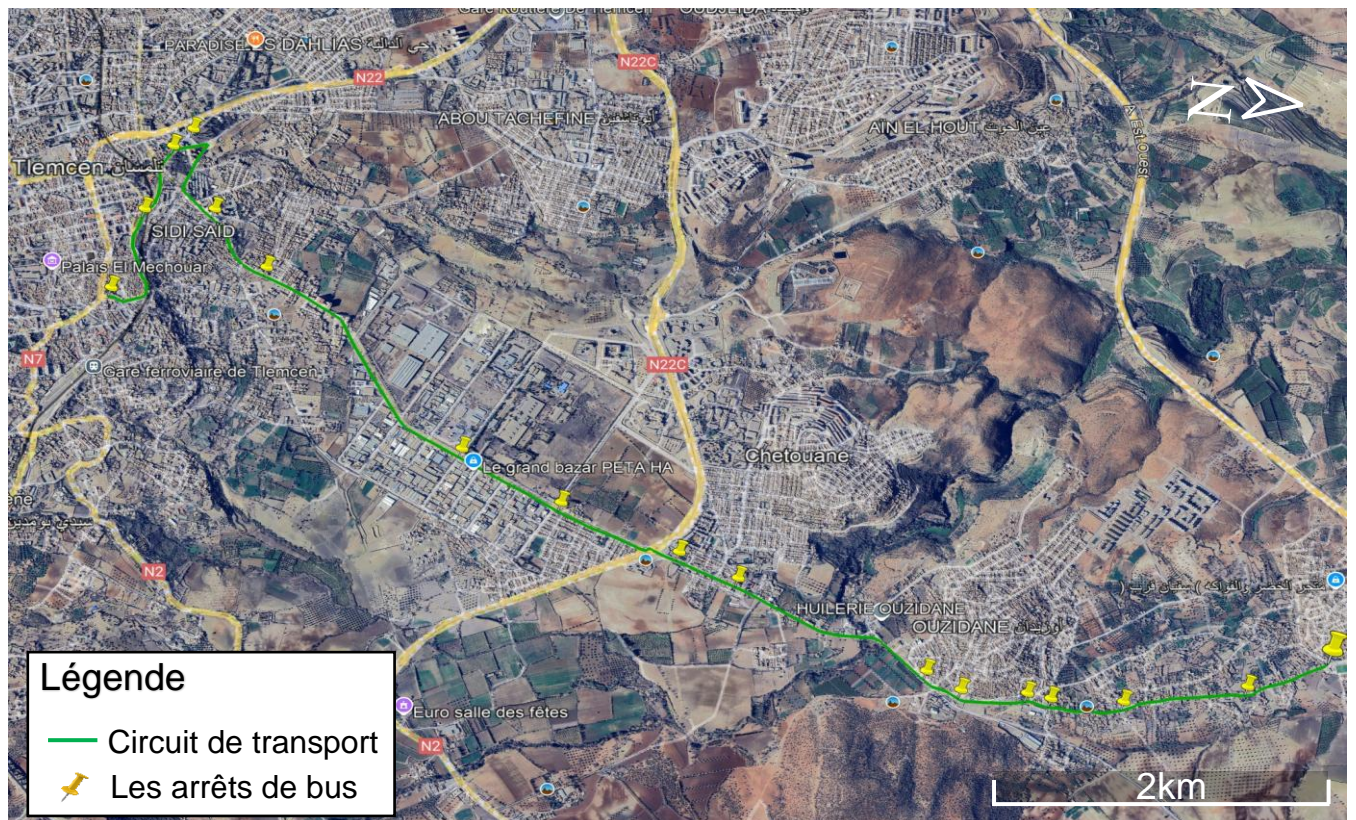


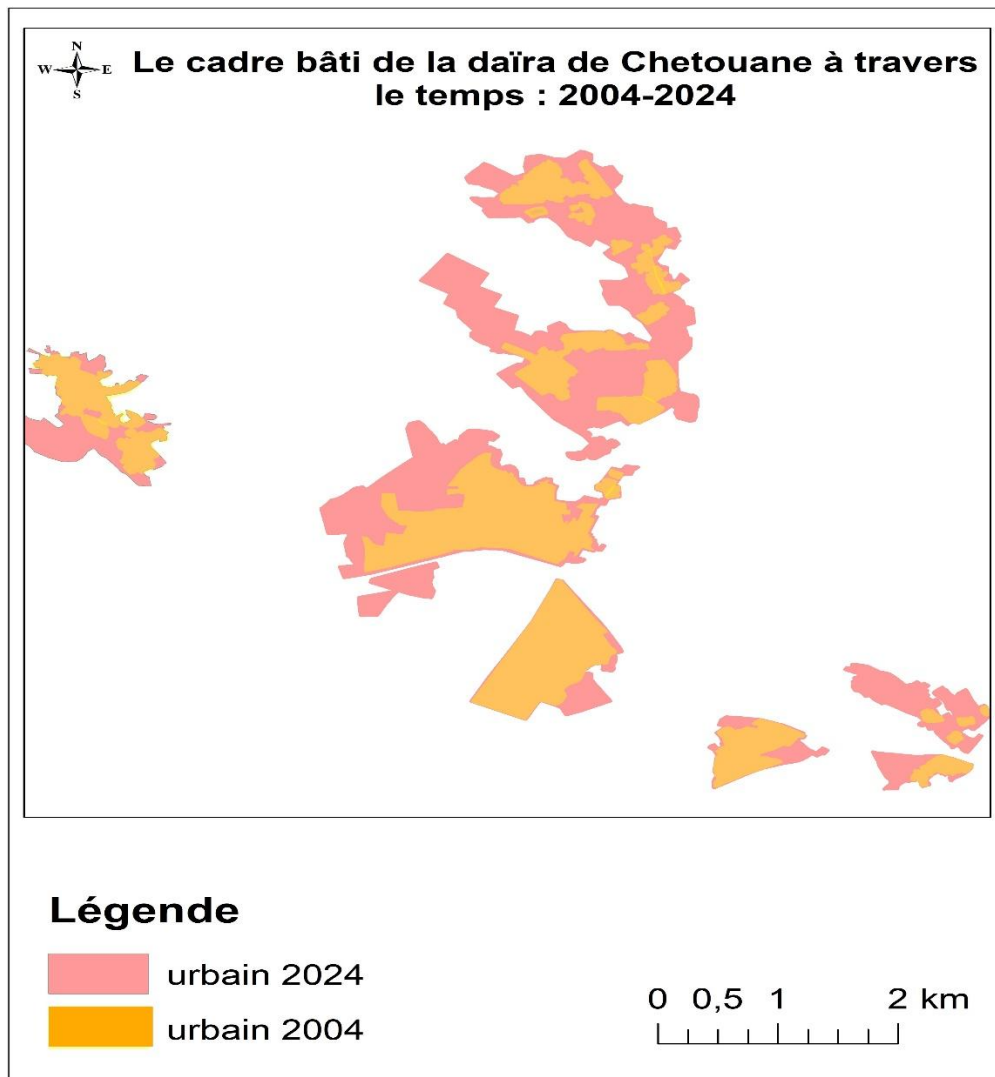
Figure 20. Itinéraire de la ligne 13 menant à Ouzidane

### 3.4. Évolution spatiale de la daïra de Chetouane entre 2004 et 2024

Si la population de la ville augmente, elle aura besoin de plus d'espace, ce qui favorisera au phénomène d'étalement urbain. Afin d'évaluer les conséquences à l'échelle spatiale, nous allons dans ce qui suit exposer et décrire les résultats de l'analyse de l'évolution du paysage bâti de la daïra de Chetouane.

L'objectif de ce travail est de caractériser la dynamique de l'étalement urbain de cette daïra. Nous avons exploité les données issues de l'analyse d'images satellitaires issues de Google Earth (voir figure 21). Nous présenterons ainsi l'évolution du cadre bâti pour les années sélectionnées : 2004 et 2024.

Cette analyse visuelle a révélé une augmentation très sensible du cadre bâti que nous pouvons corréler avec la croissance démographique examinée dans la section précédente.



**Figure 21.** Le cadre bâti de la daïra de Chetouane à travers le temps : 2004-2024

#### 4. Facteurs influençant l'urbanisation de la daïra de Chetouane

- **Politiques de décongestionnement** : Face à la saturation de Tlemcen, les autorités ont favorisé l'extension vers Chetouane pour y développer des infrastructures résidentielles et industrielles.
- **Mobilité résidentielle** : La recherche de logements plus spacieux et abordables a conduit de nombreux habitants à s'installer en périphérie.
- **Développement de l'habitat désordonné** : Comme dans d'autres villes algériennes, Tlemcen a vu l'émergence de quartiers d'habitat informel, résultant de lotissements privés non réglementés.
- **Programmes de logements publics** : Les politiques de la politique du logement qui sont les programmes AADL, LSP, LPP ou les logements sociaux se sont développés souvent à la périphérie des villes, cela a permis de délocaliser massivement les populations et de permettre une urbanisation de ces nouvelles zones.
- **La migration** : interne ou externe et c'est le premier moteur de la croissance urbaine dans la commune de Chetouane. Les flux de populations rurales vers cette zone ont été motivés par la recherche de meilleures conditions de vie et la proximité avec la ville de Tlemcen.
- **Problèmes de cadastre et de contrôle foncier** : L'absence d'une régulation stricte, la négligence de l'État sur le plan du contrôle foncier, la rareté des documents cadastraux précis ont facilité les occupations illégales et l'étalement urbain non planifié.
- **Industrialisation** : L'émergence d'activités industrielles dans et autour de Chetouane a attiré un grand nombre de travailleurs, favorisant ainsi le développement de nouveaux quartiers pour loger les ouvriers et leurs familles.

Le développement urbain rapide affecte directement les ressources locales, notamment les ressources en eau et les terres agricoles. L'accroissement de la population urbaine entraîne une demande accrue en eau, mettant à rude épreuve les infrastructures existantes et les réserves disponibles. Sans une gestion adaptée, cette pression peut entraîner des pénuries et affecter durablement les écosystèmes aquatiques. Par ailleurs, l'extension des zones urbaines se traduit souvent par l'artificialisation des sols, entraînant la disparition progressive des terres cultivables et la fragmentation des espaces verts. Ces changements nuisent à la productivité agricole, à la biodiversité, et diminuent la résilience des milieux naturels face aux aléas climatiques.

#### Conclusion

L'étude du contexte urbain, démographique, et socio-économique et administratif de la daïra de Chetouane met en évidence une croissance urbaine souvent non planifiée, Cette situation engendre une pression importante sur les terres agricoles et les ressources naturelles.

Pour mieux comprendre l'évolution spatiale de l'urbanisation dans la daïra de Chetouane, une approche par télédétection a été adoptée. Celle-ci permet d'analyser les dynamiques d'occupation du sol au fil du temps.

---

*Chapitre 3*

**Méthodologie d'analyse spatiale**

---

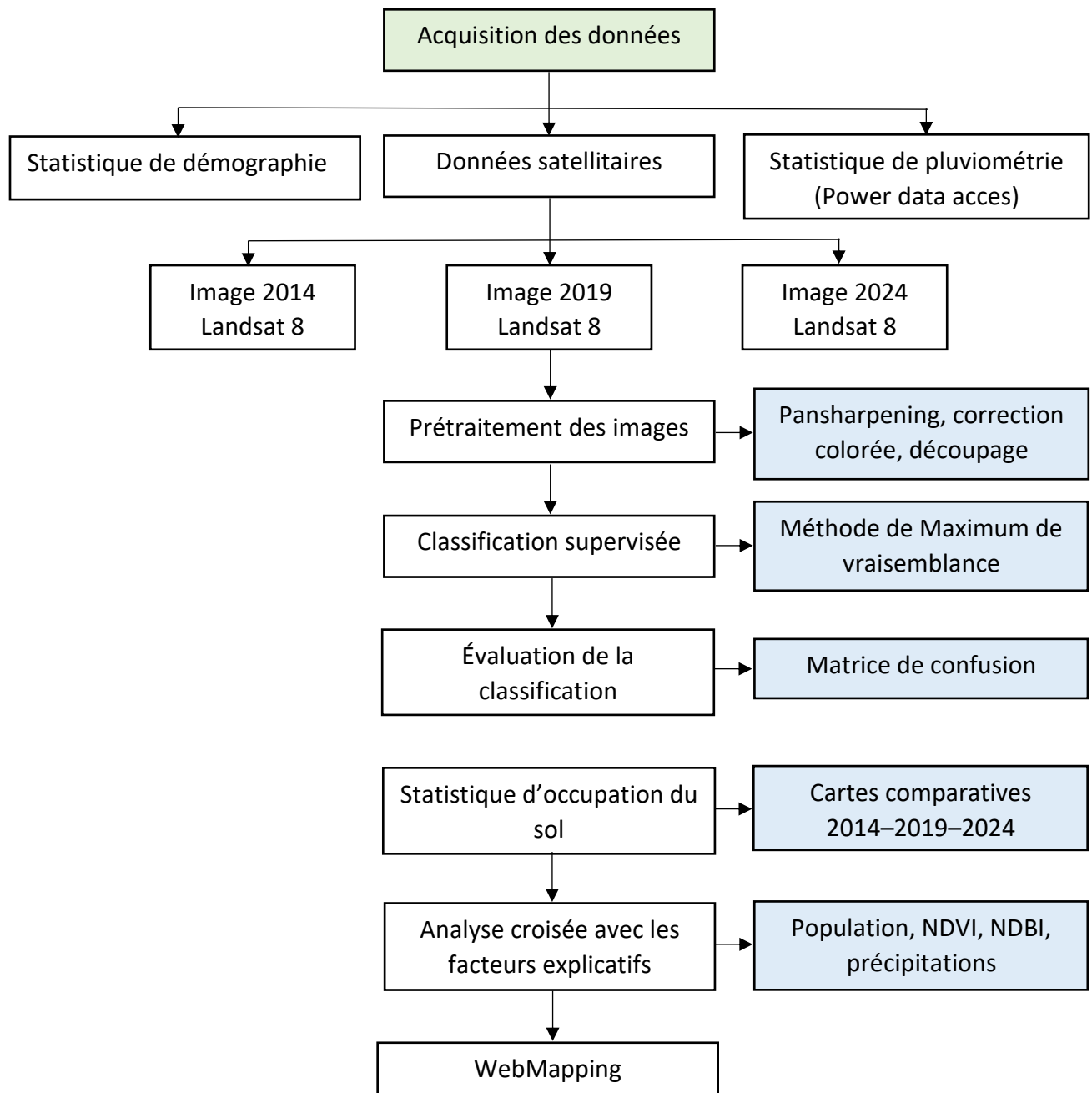
## **Introduction**

L'étalement des secteurs urbains est devenu aujourd'hui un problème majeur pour planifier une bonne gestion et des aménagements normés du territoire. La daïra de Chetouane illustre parfaitement cette dynamique de transformation. L'analyse spatio-temporelle de son extension montre que son tracé est marqué par une évolution constante de l'occupation des sols.

Ce chapitre a pour objectif de faire l'analyse de l'évolution de l'urbanisation de Chetouane à partir d'une optique axée sur la télédétection. En utilisant des images satellitaires Landsat des années 2014, 2019 et 2024, une classification supervisée a été établie pour montrer les principaux changements d'occupation du sol, en mettant en avant les dynamiques de croissance urbaine en fonction du temps.

### **1. Approche méthodologique**

L'étude de l'étalement urbain, repose sur l'analyse spatio-temporelle et le traitement des images satellitaires par télédétection. L'organigramme ci-dessous définit les différentes étapes d'analyse et de traitement réalisées dans cette étude.



**Organigramme 1.** La méthodologie de travail

## 1.2. Acquisition des images satellitaire

Dans le cadre de cette étude, visant à analyser l'évolution spatiale de la daïra de Chetouane, nous avons exploité trois images multispectrales multi-dates acquises par le satellite Landsat 8 pour les années 2014, 2019 et 2024, couvrant ainsi une période d'observation de dix ans. Ces données ont été téléchargées du site officiel de l'USGS, garantissant ainsi leur fiabilité et leur qualité.

Une attention particulière a été portée aux images acquises entre les mois de mars et avril, une période caractérisée par une activité chlorophyllienne élevée. Cette période de l'année est cruciale pour observer les dynamiques de la couverture végétale et analyser les variations spectrales associées.

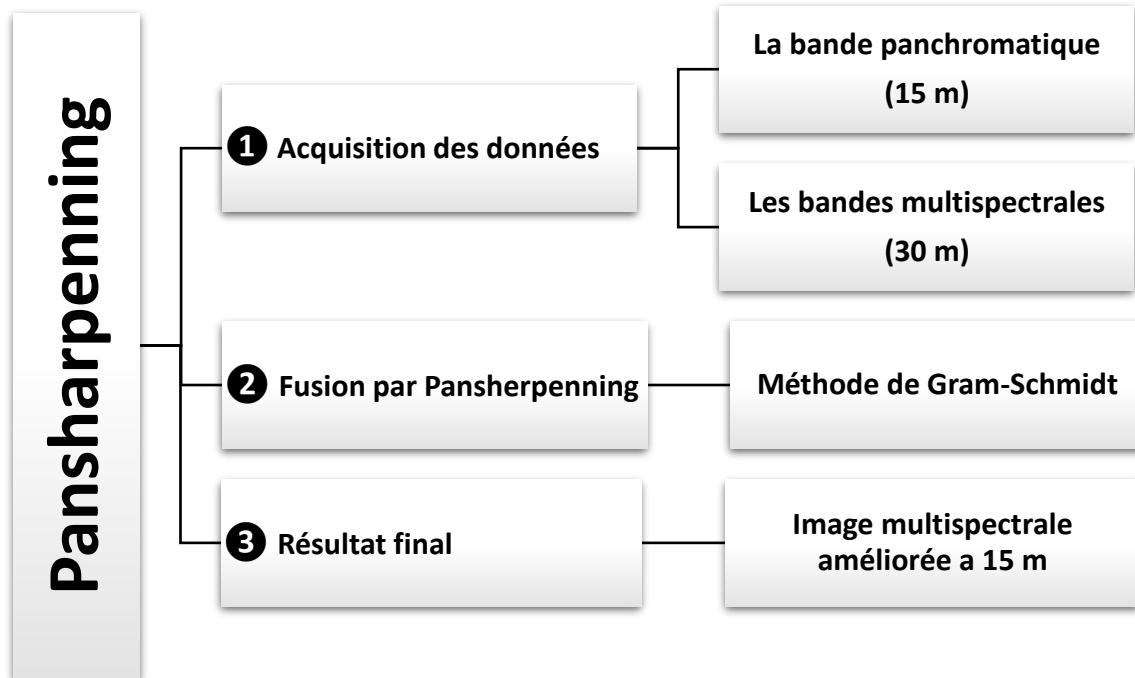
**Tableau 2.** Données téléchargées depuis USGS

Date	Type	Taille de pixel	Image géoréférencée
25/03/2014	Landsat 8	30m×30m	WGS 84 UTM zone 30 N
24/04/2019	Landsat 8	30m×30m	WGS 84 UTM zone 30 N
05/04/2024	Landsat 8	30m×30m	WGS 84 UTM zone 30 N

## 1.3. Préparation des images pour la classification (prétraitement)

### 1.3.1. L'amélioration de la résolution par pansharpening

Les images Landsat 8, initialement dotées d'une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes multispectrales, ont été améliorées à 15 mètres grâce à la technique de pansharpening. Cette méthode de fusion d'images combine la bande panchromatique (à haute résolution) avec les bandes multispectrales, permettant d'obtenir des images plus détaillées. Cette amélioration a considérablement renforcé la qualité visuelle et la précision de l'analyse, rendant possible une cartographie plus fine de l'occupation du sol et une meilleure évaluation des dynamiques environnementales, notamment dans le cadre de l'étude de l'étalement urbain.



**Organigramme 2.** Méthode Pansharpening sur ENVI

### 1.3.2. Composition colorée des images

En télédétection la représentation significative d'une image est obtenue par une combinaison de couleurs, en générale chaque couleur correspond à une bande d'image. Pour ce faire, la composition colorée utilisée a été obtenue par une superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs de base additive : Rouge, Vert, Bleu ; c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde, cette composition colorée permet de distinguer chaque objet indépendamment selon sa réponse spectrale dans le RVB (grande réflectance de la végétation dans le proche infrarouge).

La trichromie adoptée comporte : La couleur rouge qui a été affectée au canal 5 (Proche Infrarouge), La couleur verte a été affectée au canal 4 (Rouge) et la couleur bleu a été affecté au canal 2 (Bleu).

### 1.3.3. Découpage de la zone d'étude (masquage par découpage administratif)

Nous avons réalisé un découpage de la zone d'étude par l'application d'un masque en utilisant un fichier de format vecteur selon le découpage administratif de Chetouane.

Nous avons suivi ces étapes pour l'extraction de notre zone d'étude :

- Élaboration du masque ; nous distinguerons deux étapes : l'élaboration du masque et l'élaboration du masque à un canal. Ce qui permet de choisir la base de l'élaboration à partir d'une image affichée.
- Application du masque : on peut alors appliquer le masque sur une image en trichromie.

#### 1.4. Classification supervisée

Afin d'établir les cartes d'occupation du sol de Chetouane, nous avons réalisé une classification supervisée de l'image satellite Landsat 8 prise en 2014, 2019 et 2024, la classification d'une image de télédétection consiste à une reconnaissance automatique des réflectances. Le principe de cette dernière c'est que l'utilisateur va guider l'ordinateur en lui fournissant des informations d'ordre spatial. Ce type de classification nécessite donc un minimum de connaissance sur la zone d'étude.

Dans le cadre de ce travail de classification supervisée, plusieurs étapes clés ont été réalisées pour garantir la qualité des résultats obtenus. Voici en détail les étapes comme suite :

##### 1.4.1. Sélection des zones d'intérêt et étiquetage des échantillons

Afin de faciliter le choix des classes, une photo aidant à l'interprétation de la composition colorée (RGB) de la zone d'étude est nécessaire. Selon les reconnaissances de la zone, cette interprétation permet de dresser une légende exhaustive de différentes classes sélectionnées (figure 22), ce qui nous a permis de définir une légende englobant l'ensemble des classes suivantes:

- Agriculture,
- Terrain labouré,
- Terrain Dégradé,
- Urbain,
- Sol nu.

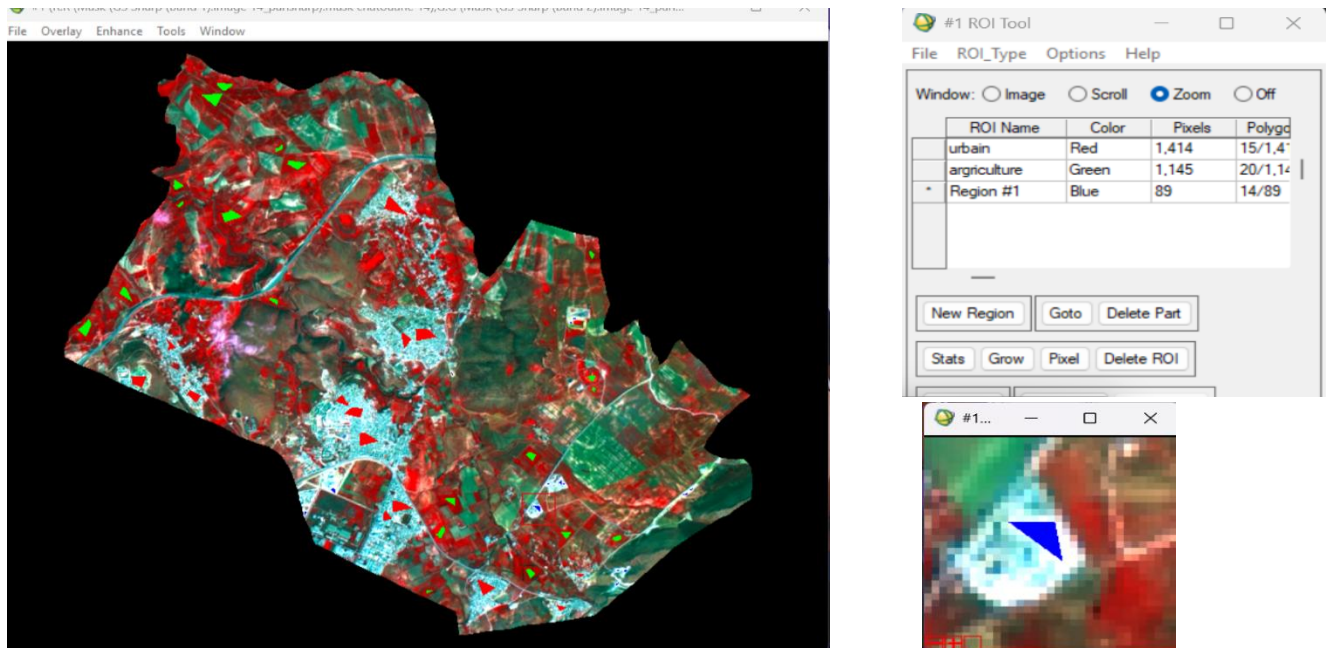
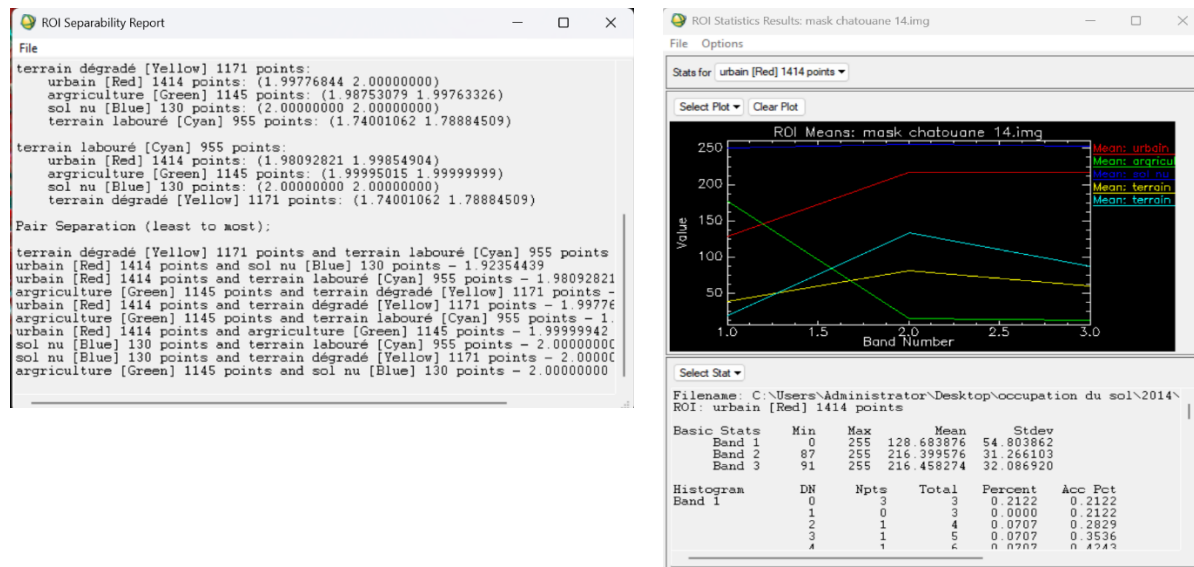


Figure 22. Sélection des échantillons d'apprentissage

### 1.4.2. Évaluation des classes d'apprentissage

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de la classification supervisée, une analyse de la séparabilité spectrale entre les différentes classes a été menée à partir du calcul de la distance spectrale interclasses. Cette mesure, dont les valeurs varient entre 0 (confusion totale) et 2 (séparabilité parfaite), permet d'estimer la distinction entre les classes identifiées. Les résultats obtenus indiquent des valeurs comprises entre 1,9 et 2, ce qui traduit une bonne séparabilité globale et suggère une classification fiable et cohérente. Par ailleurs, une analyse des signatures spectrales des classes a été entreprise afin de renforcer cette évaluation et de confirmer la validité des échantillons d'apprentissage sélectionnés (figure 23).



Calcul de la séparabilité

Analyse de la signature spectrale des classes

**Figure 23.** Évaluation des choix des échantillons d'apprentissage

### 1.4.3. Algorithme de la classification

Il existe 4 algorithmes ou méthodes de classification supervisée qui sont :

- Minimum distance,
- Mahalanobis distance,
- Parallelepiped,
- Maximum Likelihood (maximum de vraisemblance).

Pour cette classification, nous avons choisi l'algorithme de Maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood) (figure 24) et ce pour les raisons suivantes :

- La distribution des pixels dans chaque classe suit une loi normale ;
- La méthode calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée ;
- Le pixel sera affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte ;

- Cette méthode classe tous les pixels sauf si on applique un seuil de probabilité (en dessous duquel les pixels de très faibles probabilités ne seront pas classés) ;
- Elle présente l'avantage de minimiser les erreurs de la classification.

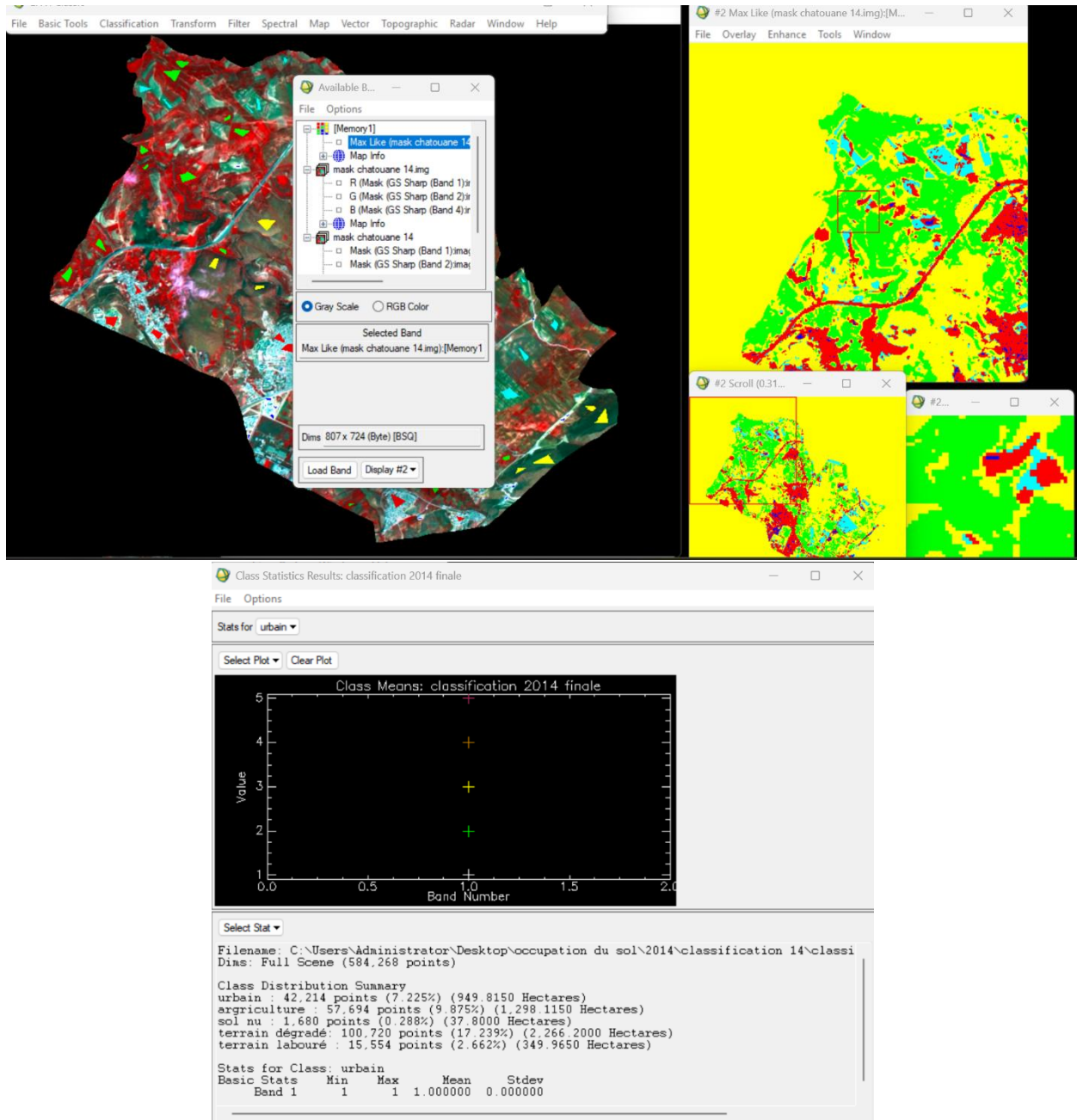


Figure 24. Application de l'algorithme de Maximum Likelihood

### 1.5. Évaluation de la qualité de la classification

Afin d'évaluer la fiabilité de la classification, nous avons effectué une validation croisée ; les échantillons de validation se font sur la base d'un échantillonnage de pixels répartis sur l'ensemble de l'image. On a pu identifier les échantillons à partir de notre connaissance du terrain et sur la base de l'interprétation visuelle de l'image.

Les résultats de classification ont été comparés à des échantillons de validation, c'est-à-dire des zones dont l'occupation du sol était déjà connue, mais qui n'avaient pas été utilisées pour la réalisation du modèle.

Pour évaluer cette classification, nous avons établi une matrice de confusion qui ait parvenu à mettre en valeur le calcul du pourcentage de précision des classifications. La matrice de confusion permet de confronter des échantillons de validation au résultat de la classification et d'évaluer la précision de la classification par rapport à la référence sur les échantillons de validation (figure 26).

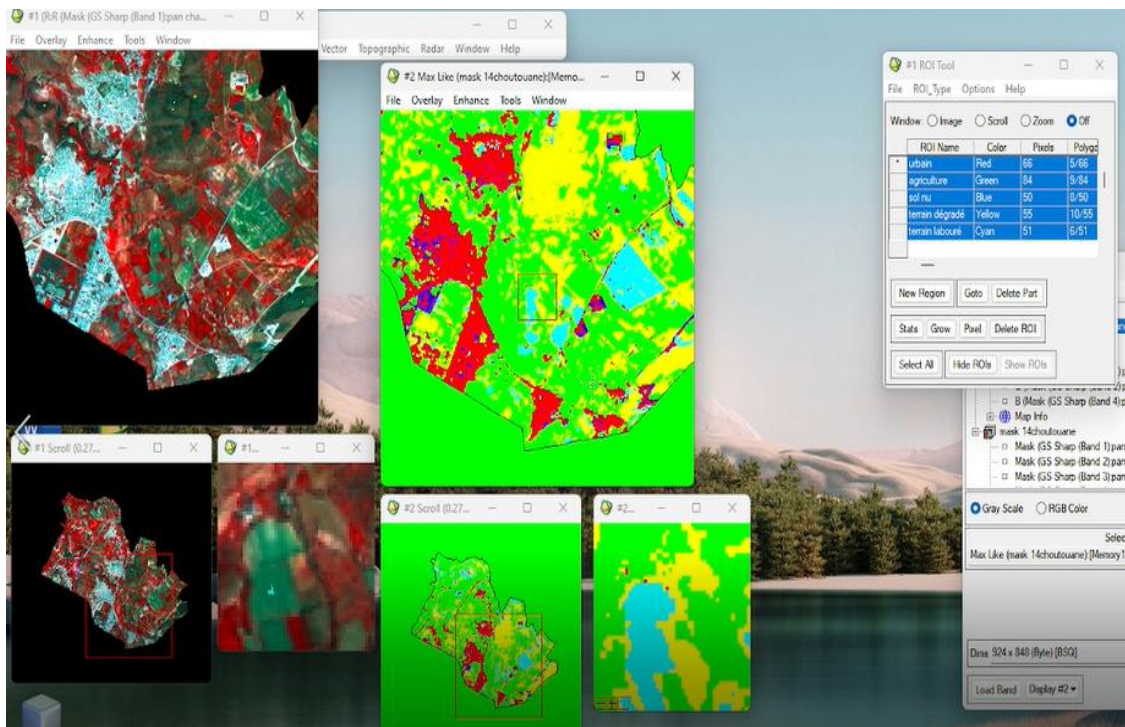


Figure 25. Méthode de validation par échantillonnage

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: D:\occupation du sol\les images\2019\classification2019\classification 2019final

Overall Accuracy = (304/304) 100.0000%

Kappa Coefficient = 1.0000

Class	Ground Truth (Percent)					
	urbain	agriculture	sol nu	terrain labou	terrain dégra	Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
urbain [Red]	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
agriculture [	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
sol nu [Blue]	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
terrain labou	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
terrain dégra	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	304.00

**Figure 26.** Matrice de confusion

La matrice de confusion calculée représente une précision globale de 197/197, soit 100 % de pixels bien classés par rapport au total des pixels. Un coefficient Kappa égale à 1.

## 2. Résultats & discussion

### 2.2. Résultats

Après validation des classifications supervisées, les cartes d'occupation du sol ont été générées pour les années 2014, 2019 et 2024. Ces cartes permettent de visualiser l'évolution spatiale des différentes classes d'occupation au fil du temps : Agriculture, Sol nu, Terrain dégradé, Terrain labouré, Urbain ; ils constituent une base essentielle pour l'analyse diachronique de l'étalement urbain à Chetouane.

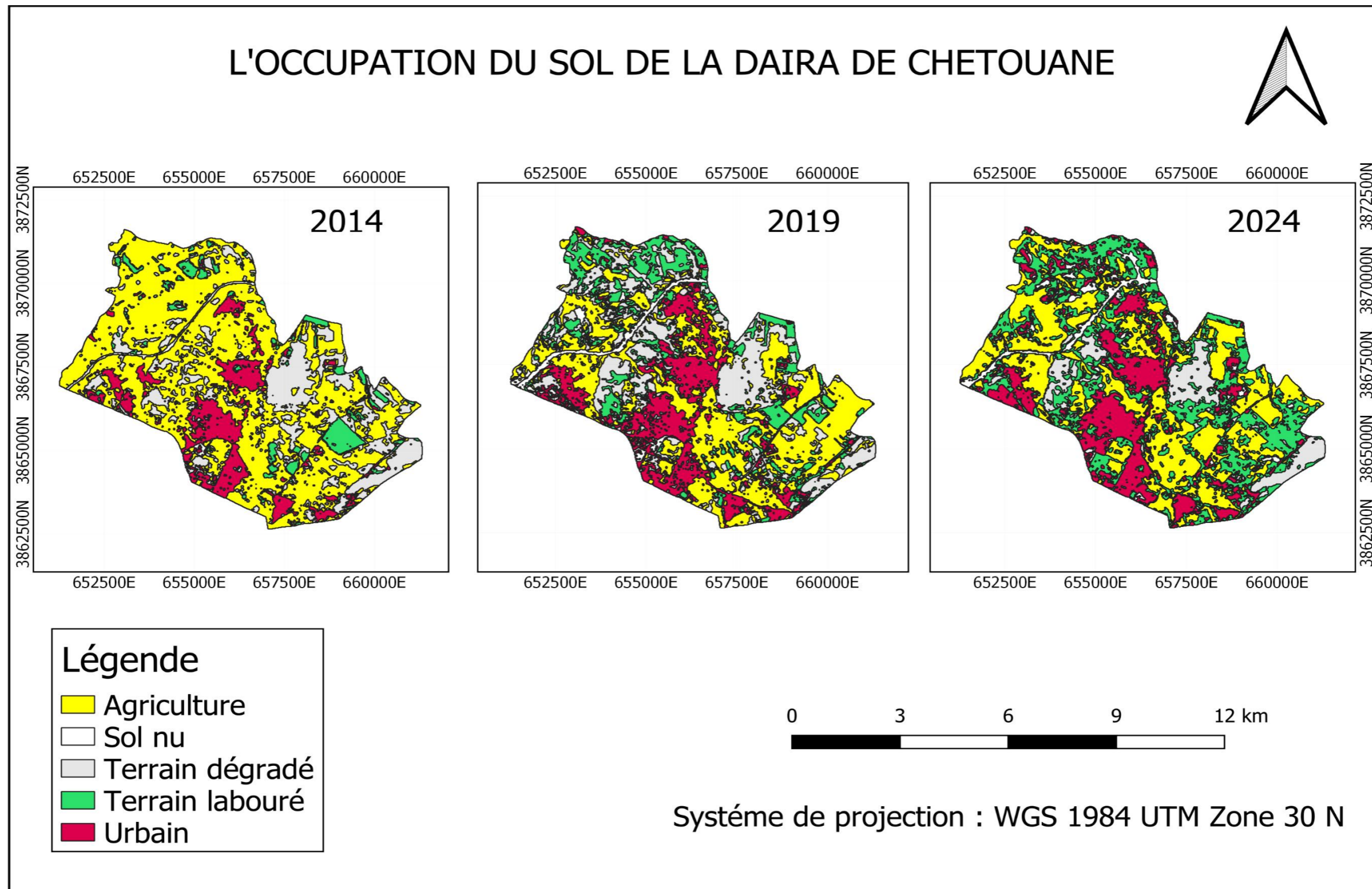






Figure 27. La carte d'occupation du sol de la daïra de Chetouane

## 2.3. Discussion

### 2.3.1. Bilan de changement d'occupation du sol dans la commune de Chetouane (2014-2024)






Le tableau ci-dessous présente l'évolution des superficies (en hectares) des différentes classes d'occupation du sol identifiées à Chetouane en 2014, 2019 et 2024. Ces résultats sont en fait issus de la classification supervisée des images satellitaires Landsat 8, et montrent les changements spatiaux de différents types tels que les zones agricoles, les sols nus, les terrains dégradés, les terrains labourés et les zones urbaines. L'analyse diachronique de ces données permet de suivre les tendances pour l'urbanisation et des transformations de l'usage du sol sur une période de dix années.

**Tableau 3.** Superficies occupées par les différentes classes d'occupation du sol






Types de classe	Superficie (ha)		
	2014	2019	2024
 Agriculture	2 894,0175	1 659,555	1 662,255
 Sol nu	77,8025	242,974	260,775
 Terrain dégradé	1 053,225	1 296,6	469,17
 Terrain labouré	279,945	816,21	1 574,1675
 Urbain	596,8925	886,542	935,513
<b>Total</b>	4 901,88	4 901,88	4 901,88

Les valeurs du tableau 4 ont été calculées à partir du tableau 3. Ce tableau exprime les variations des superficies pour les différentes classes de chaque période. Il permet de quantifier la progression ou la régression de chaque classe en fonction de la période. Alors que le tableau 5 exprime le pourcentage de ces variations.

**Tableau 4.** Variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol

Types de classe	Variation (ha)		
	2014-2019	2019-2024	2014-2024
 Agriculture	-1 234,4625	+2,70	-1 231,7625
 Sol nu	+165,1715	+17,801	+182,9725
 Terrain dégradé	+243,375	-827,43	-584,055
 Terrain labouré	+536,265	+757,9575	+1 294,2225
 Urbain	+289,6495	+48,971	+338,6205

**Tableau 5.** Pourcentages des variations des superficies occupées par les classes d'occupation du sol

Types de classe	Variation (%)		
	2014-2019	2019-2024	2014-2024
 Agriculture	-42,66 %	+0,16 %	-42,56 %
 Sol nu	+209,57 %	+7,34 %	+235,18 %
 Terrain dégradé	+23,11 %	-63,80 %	-55,45 %
 Terrain labouré	+191,61 %	+92,89 %	+462,31 %
 Urbain	+48,52 %	+5,52 %	+56,73 %

### 2.3.2. Analyse diachronique de l'occupation du sol

#### Période 2014-2019 :

L'analyse de données sur une période de cinq ans met en évidence une dynamique marquée de l'évolution de l'occupation du sol de Chetouane. Au cours de cette période, on observe une forte régression des terres agricoles, avec une perte de 1 234,46 ha, soit une diminution de -42,66 %.

De même, les terrains labourés ont considérablement progressé de +536,26 ha, soit +191,61 %, indiquant une intensification des pratiques agricoles ou un élargissement des superficies cultivées au détriment des terres en friche ou naturelles. Cette évolution se conjuguera par l'augmentation des sols nus de +165,17 ha (+209,57 %) et des terrains dégradés de +243,38 ha (+23,11 %), ce sont des signaux qui traduisent soit des pressions anthropiques en forte augmentation soit de dégradations non maîtrisées.

Une urbanisation qui connaît un essor avec un gain de +289.65 ha, soit +48.52 %, traduisant une expansion du tissu bâti aux détriments des terres agricoles et naturelles.

#### Période 2019-2024 :

La tendance du changement s'est poursuivie entre 2019 et 2024 mais avec des évolutions légèrement différentes. Les terres agricoles sont restées globalement inchangées avec une petite augmentation de +2,7 ha, soit +0,16 % tendant à une stabilité de l'utilisation de ce territoire.

En revanche, les terrains labourés ont de nouveau fortement progressé avec +757,96 ha soit +92,89 %, confirmant l'évolution de l'activité agricole. Cette transformation s'est associée à une diminution spectaculaire des terrains dégradés, qui ont perdu -827,43 ha, ces -63,80 %, traduisant probablement des projets de réhabilitation, de plantation et transfert de terres agricoles productives.

Les sols nus ont poursuivi leur avancée, mais proportionnellement un peu moins, avec un gain de +17,80 ha (+7,34 %), ce qui signifie que la pression foncière perdure. L'urbanisation pour sa part, a continué mais à un rythme plus modéré, avec +48,97 ha supplémentaires soit +5,52 %, suggérant un ralentissement relatif du processus d'étalement urbain. Il pourrait d'une part être en partie imputable aux conséquences de la pandémie de COVID-19, à savoir les périodes de confinement,

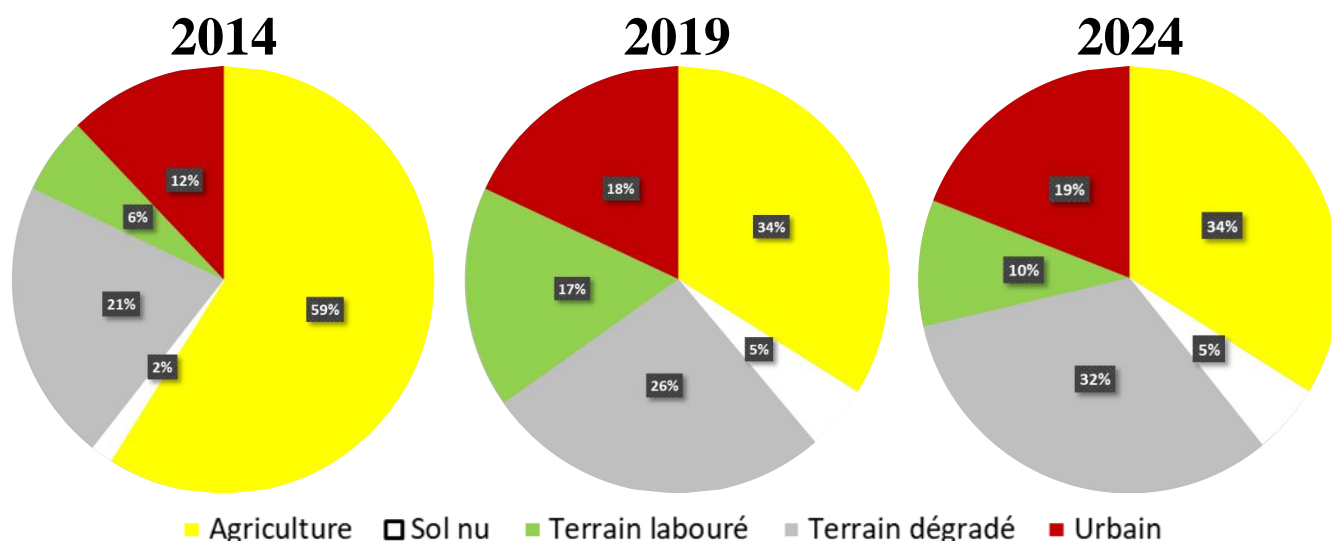
qui ont entraîné un arrêt ou un ralentissement significatif des chantiers, de fortes baisses des investissements immobiliers et une réorganisation des priorités d'aménagement du territoire.

### Période 2014-2024 :

Au cours de toute la décennie observée, la daïra de Chetouane s'est encore fortement transformée spatialement. Les terres agricoles ont connu une baisse significative de -1 231,76 ha, permettant d'observer une perte de -42,56 %, attestant une pression croissante sur les espaces agricoles au profit d'autres usages.

Les terrains labourés, ont connu la plus forte progression de +1 294,22 ha soit une progression extraordinaire de +462,31 % correspondant à une très forte mobilité vers la production agricole dominante. Quant aux terrains dégradés, ceux-ci ont baissé de -584,06 ha, soit une baisse d'environ -55,45 %, à interpréter comme un effet favorable de politiques de revalorisation ou de reconversion de ces surfaces.

Les sols nus ont également triplé de superficie avec une progression de 182,97 ha soit +235,18 %, représentant une évolution intensive de l'usage des sols ou en préparation de l'urbanisation à venir. Enfin, la surface bâtie a progressé à raison de +338,62 ha qui, avec une croissance de +56,73 %, traduit l'existence d'un processus d'étalement urbain significatif.



**Diagramme 2.** Comparaison entre les classes de l'occupation des sols

### **2.3.3. Analyse croisée de l'étalement urbain en fonction des facteurs environnementaux et socio-démographiques**

L'étude de l'étalement urbain ne saurait être entièrement intelligible sans prendre en compte les facteurs conditionnant l'étalement urbain ; à cet effet, une analyse croisée a été effectuée pour mettre en relation l'évolution spatiale de l'urbanisation et un ensemble de variables environnementales (comme le NDVI, le NDBI, ou les précipitations) et socio-démographiques (notamment la croissance de la population).

#### **2.3.3.1. Influence de la croissance démographique sur l'étalement urbain**

De 2014 à 2025, la population de la daïra de Chetouane a augmenté de 52 000 à 58 500 personnes, c'est-à-dire d'une croissance d'environ 12,5 %. Cette croissance démographique est un des facteurs majeurs dans la dynamique de développement urbain enregistré. La pression démographique qui croît conduit à une demande toujours plus grande en logements, infrastructures et services, traduisant à leur tour en expansion spatiale continue de la zone urbaine. Cette tendance est soutenue par l'augmentation de 56,73 % de la surface urbaine au cours de la même période, selon les résultats obtenus par la classification supervisée des images satellites.

#### **2.3.3.2. Expansion des zones bâties à travers l'indice NDBI**

Le NDBI (Normalized Difference Built-up Index) est un indice spectral fondé sur des images satellitaires qui permet de déterminer les surfaces construites. Il repose sur la différence de réflectance entre le proche infrarouge (NIR) et l'infrarouge moyen (MIR). Plus la valeur du NDBI est élevée, plus la surface est artificialisée. Il est largement utilisé pour suivre l'expansion urbaine et l'évolution des zones construites au cours du temps.

$$NDBI = \frac{MIR + NIR}{MIR - NIR}$$

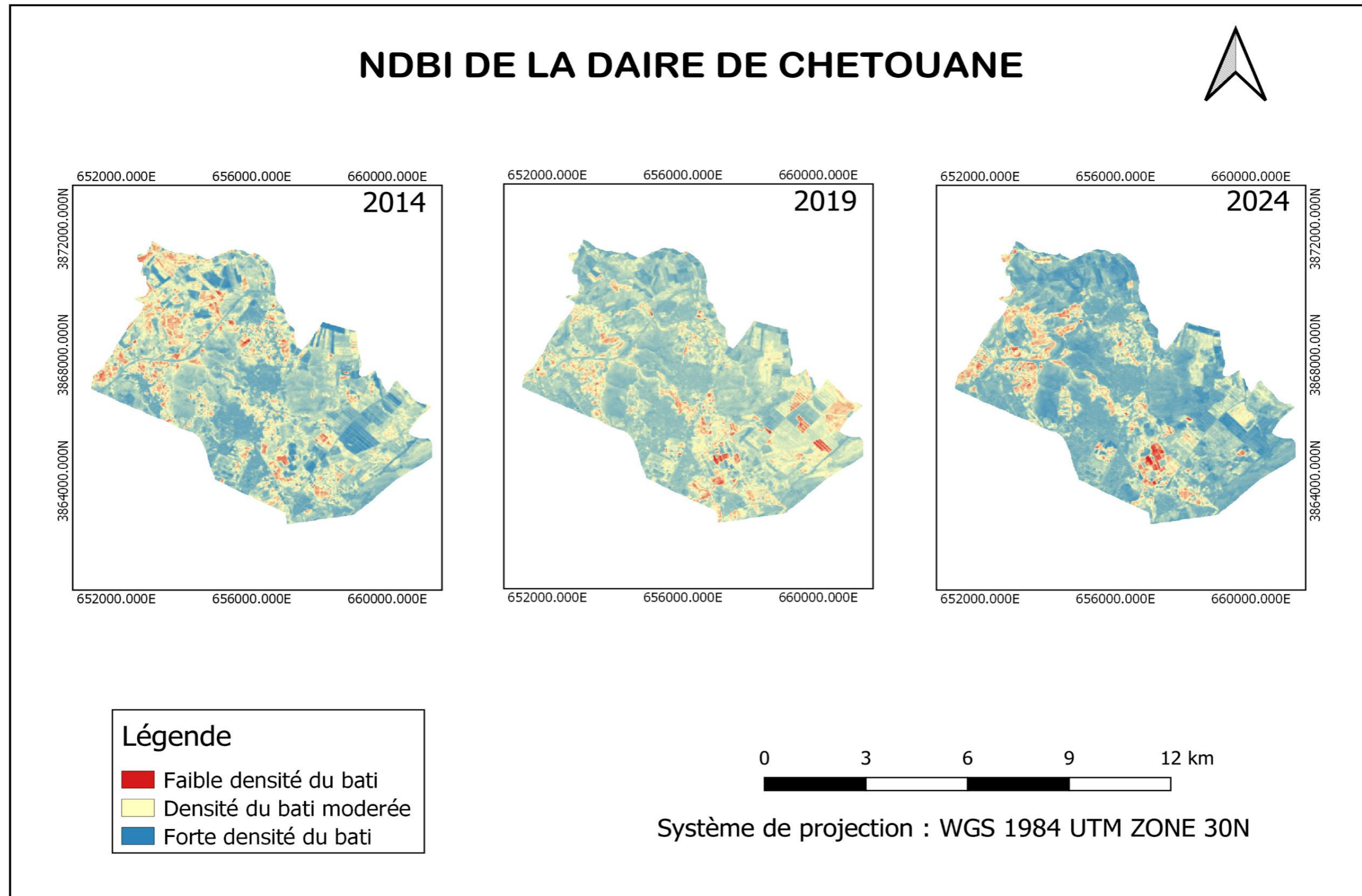
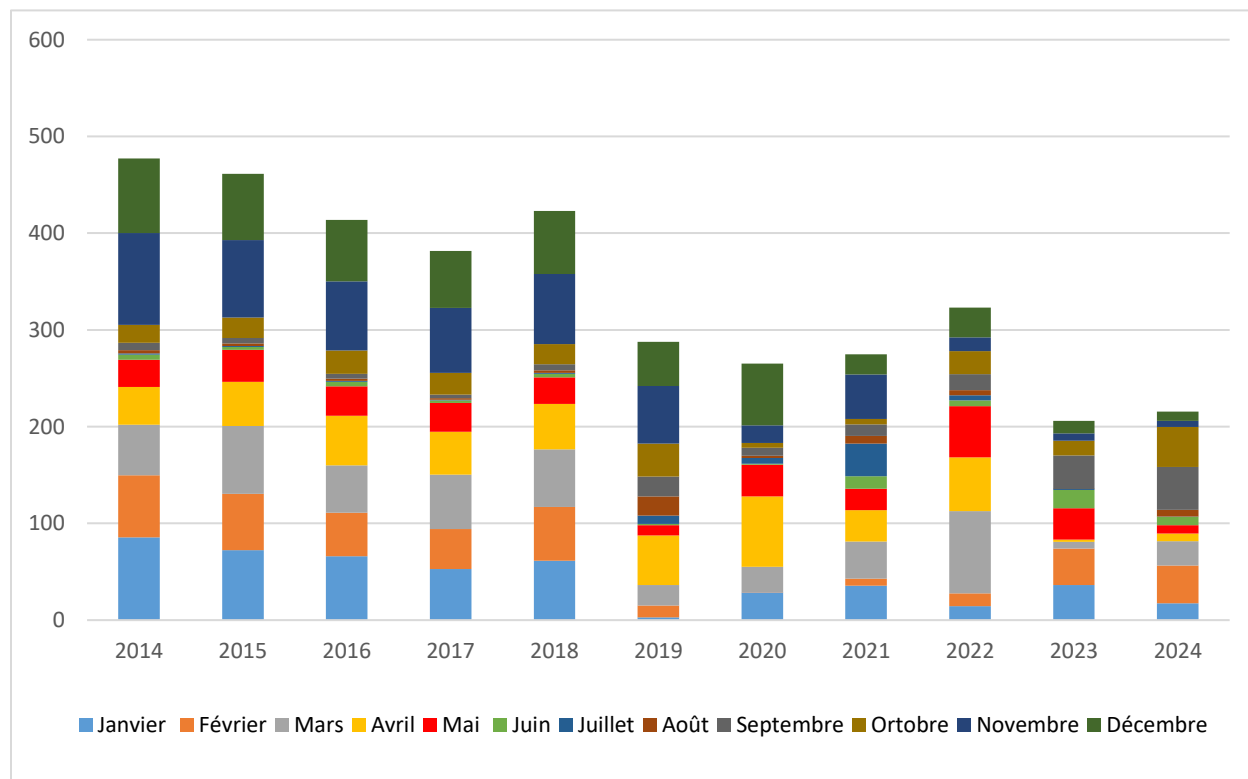


Figure 28. La carte du NDBI de la daïra de Chetouane

La dynamique de l'indice NDBI entre 2014 et 2024 met en exergue un processus continu d'artificialisation du territoire de Chetouane. Cette évolution se traduit par une croissance progressive de la densité des zones bâties et de leur extension spatiale. L'étude temporelle du NDBI met en évidence une appropriation accrue des surfaces artificialisées aux dépens des espaces naturels ou agricoles, renforçant les résultats tirés de la classification des occupations du sol.

### 2.3.3.3. Rôle des précipitations dans la dynamique d'occupation du sol



**Diagramme 3.** Variation de la quantité de précipitation mensuelle à Chetouane

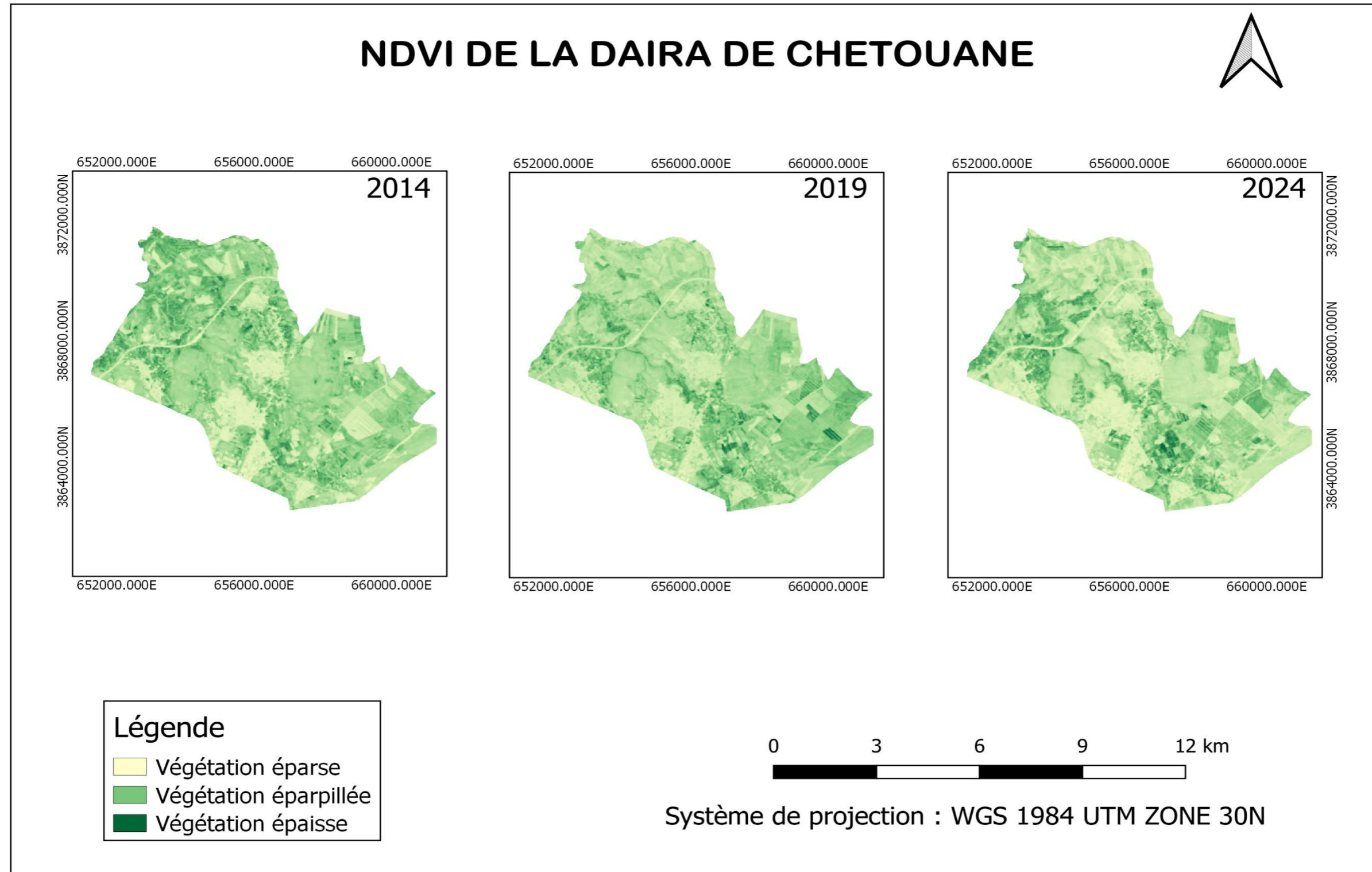
Les précipitations annuelles de Chetouane ont diminué de moitié, de 477,3 mm en 2014 à 215,73 mm en 2024 (Annex 2), une décroissance de plus de 54 % en dix ans. Cette tendance témoigne d'une raréfaction accrue des ressources en eau, qui agit comme un facteur de pointe dans les dynamiques territoriales.

Cette baisse pluviométrique impacte la viabilité des activités agricoles, déjà diminuée sur la base des résultats de classification (baisse de 42,56 % des terres agricoles). L'assèchement progressif des sols contribue à l'abandon des parcelles et à la dégradation des sols, comme en témoigne la croissance des superficies de terrains dégradés de 2014 à 2019.

**2.3.3.4. Réduction des surfaces végétalisées selon l'indice NDVI**

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indicateur spectral utilisé pour mesurer la densité et la vigueur de la végétation. Il est calculé à partir des bandes proche infrarouge (NIR) et rouge (Red) des images satellitaires. Autant plus la valeur du NDVI est élevée, autant les végétaux sont densément couverts et en bonne santé. Cet indicateur est essentiel à l'estimation des changements du couvert végétal au fil du temps.

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



**Figure 29.** La carte du NDVI de la daïra de Chetouane

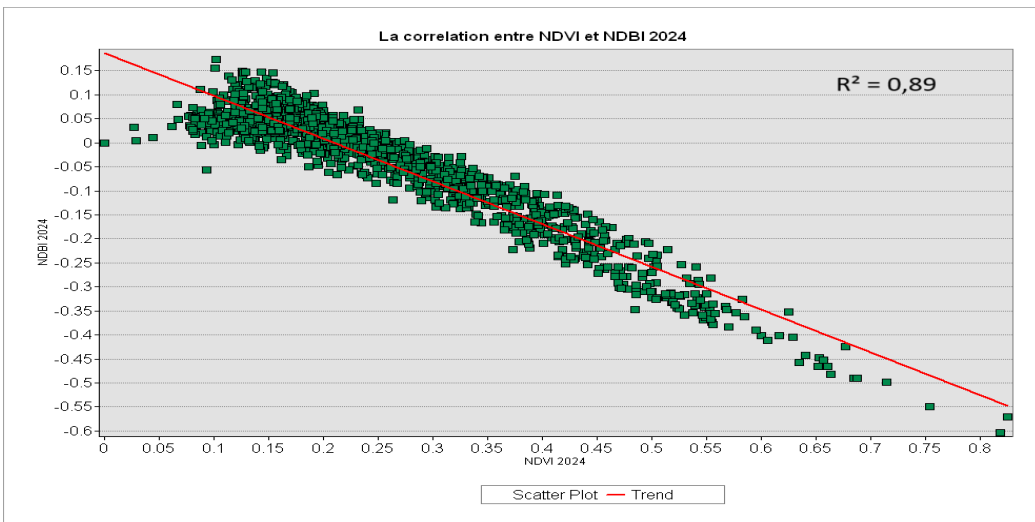
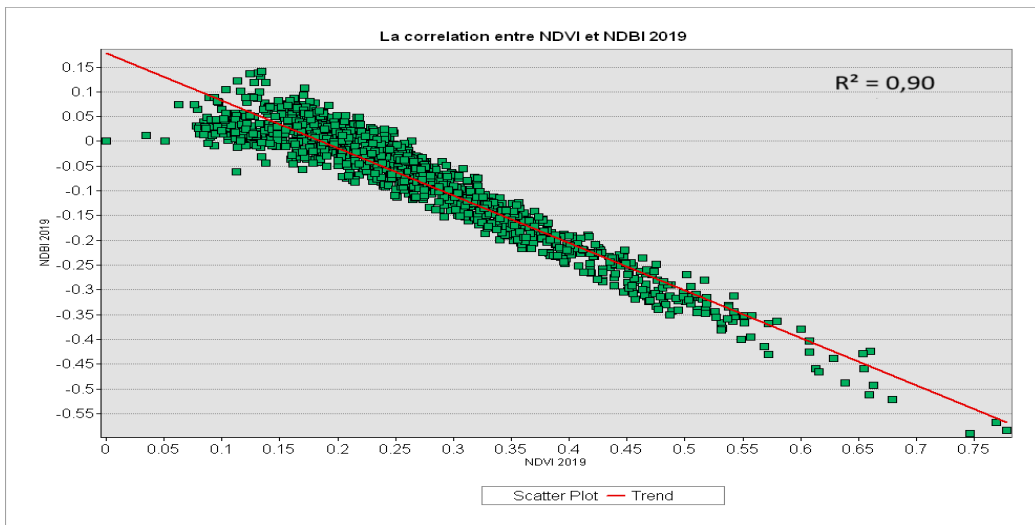
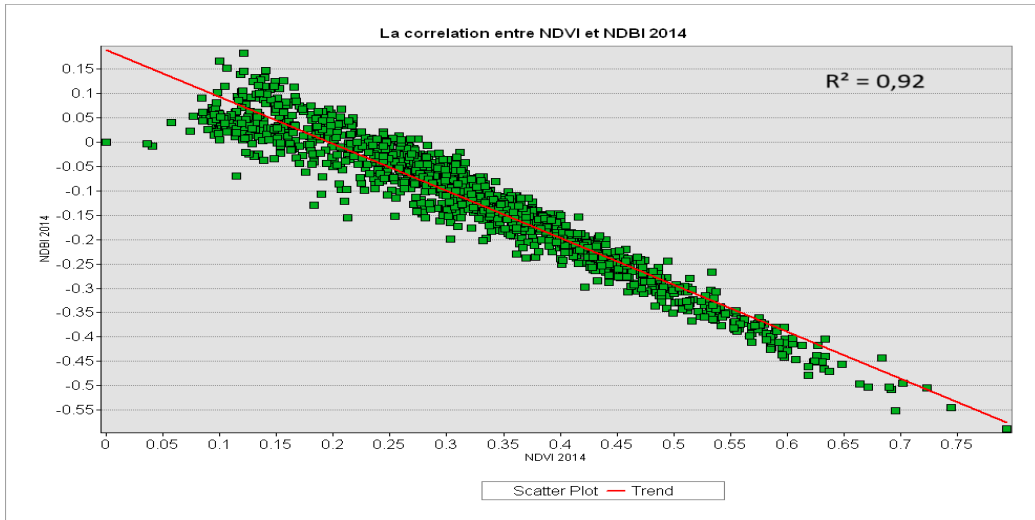
L'analyse de l'évolution de l'indice NDVI entre 2014 et 2024 démontre une perte en charge continue du couvert végétal de la daïra de Chetouane. Cette évolution reflète une importante baisse de la densité végétale, globalement due à l'extension des espaces urbanisés et à l'artificialisation des sols. Ce constat est renforcé par les résultats de la classification supervisée, qui révèlent une réduction de 42,56 % de la superficie des terres agricoles. Cette chute témoigne d'une conversion massive des terrains agricoles en zones bâties ou en espaces en transition vers l'urbanisation, tels que les sols nus.

#### **2.3.3.5. Interactions entre facteurs et intensité de l'étalement urbain**

La croisée d'analyse des indicateurs révèle une corrélation étroite entre la croissance urbaine, l'augmentation démographique, la diminution du NDVI et la baisse des précipitations. Ces facteurs interagissent synergiquement pour accroître l'étalement urbain. Les cartes de classification supervisée révèlent une continuité spatiale dans l'extension des zones urbaines, souvent au dépens des terres agricoles ou des terrains initialement végétalisés. Le changement parallèle du NDBI avec la population prouve que l'artificialisation du territoire est fortement dépendante des dynamiques humaines plus qu'aux conditions environnementales seules.

#### **2.3.4. Corrélation entre NDVI et NDBI**

Une relation spatio-statistique a été déterminée entre les indices NDVI et NDBI pour les années 2014, 2019 et 2024, afin d'évaluer la relation entre végétation et urbanisation de Chetouane.



**Figure 30.** Corrélation entre NDVI et NDBI

Pour mieux comprendre l'interaction entre la croissance urbaine et le couvert végétal sur la daïra de Chetouane, une étude de corrélation a été réalisée entre les indices NDVI et NDBI pour les années 2014, 2019 et 2024. Les résultats ont révélé une forte corrélation entre les deux indices, avec des coefficients de corrélation  $R^2$  de 0,92 en 2014, 0,90 en 2019 et 0,89 en 2024.

Cette relation traduit une dynamique où l'expansion urbaine se fait au détriment direct de la couverture végétale. Cependant, la légère diminution progressive de cette corrélation au fil des années suggère une évolution dans les modalités d'occupation du sol, ce que confirment les résultats de la classification supervisée. En effet, entre 2014 et 2019, Chetouane a fait face à une urbanisation intensive (+48,52 %) accompagnée par la perte intensive de terres agricoles (-42,66 %), expliquant ainsi la corrélation intensive en 2014. Entre 2019 et 2024, alors que l'urbanisation se poursuit (+5,52 %), son rythme s'est considérablement ralenti. Dans le même temps, on constate une forte augmentation des terres labourées (+92,89 %) et une forte diminution des terres dégradées (-63,80 %), traduisant un processus de transformation qualitative des espaces, notamment à travers leur reconversion en zones agricoles productives ou leur réhabilitation.

Sur l'ensemble de la période 2014-2024, la surface bâtie a augmenté de (+56,73 %), alors que les terrains labourés ont progressé de manière spectaculaire (+462,31 %), traduisant une compétition entre urbanisation et développement agricole. La végétation n'est ainsi plus seulement remplacée par des surfaces construites, mais aussi par des aménagements agricoles, complexifiant le rapport linéaire entre NDVI et NDBI et expliquant la baisse sensible du coefficient  $R^2$ . Ces résultats attestent d'une transition territoriale dans laquelle l'impact de l'étalement urbain est toujours dominant, mais tend à s'accompagner d'une diversification des usages du sol.

## **Conclusion**

Ce chapitre a permis d'étudier en profondeur l'évolution de l'occupation des sols dans Chetouane au cours de la dernière décennie (2014-2024) à travers des images satellitaires Landsat et de la méthode de classification supervisée. Les résultats obtenus traduisent une croissance sensible des surfaces bâties, ainsi qu'une régression des espaces naturels et agricoles, laissant entrevoir un phénomène d'étalement urbain soutenu, notamment en périphérie du noyau urbain. Il est un socle essentiel en vue de l'analyse croisée avec d'autres indicateurs tels que le NDVI, le NDBI, les précipitations ou les données démographiques, permettant ainsi une compréhension plus exhaustive des causes de l'étalement urbain à Chetouane.

A ce titre, et afin de rendre l'accès plus facile, l'analyse interactive et la diffusion des données spatiales issues de ce travail sera illustré dans le chapitre suivant par la description de la mise en place d'une plateforme de WebMapping, qui est un système numérique affichant en ligne les cartes d'occupation du sol et le suivi de l'évolution urbaine de manière dynamique et accessible.

---

*Chapitre 4*

**Développement du site web pour la  
visualisation cartographique**

---

## Introduction

L'évolution exponentielle des technologies dans le domaine de l'information géographique a ouvert la voie des possibles pour un éventail d'instruments puissants qui contribuent à diffuser, visualiser et analyser les données spatiales de manière rapide et précise. Parmi ces outils, le WebMapping s'est imposé en solution évidente, proposant des services en ligne par des cartes interactives et des données géographiques grâce à simple navigateur web.

Cette résolution permet d'explorer des données spatiales de manière exhaustive et accessible à tous les utilisateurs chercheurs, urbanistes, collectivités et citoyens sans avoir besoin de compétences techniques avancées. Cette partie décrit l'architecture de la plateforme cartographique créée pour Chetouane, en indiquant les composants techniques utilisés, les formats de données utilisés, les technologies logicielles et langages de programmation employés pour la construction de la plateforme cartographique.

### 1. Présentation des interfaces cartographiques web

#### 1.1. Architecture proposée

Les interfaces cartographiques web sont des applications accessibles partout et à tout moment. Elles sont exécutées par les utilisateurs via différents navigateurs web, et dans ce qui suit, nous allons évoquer tous ce qui a un lien avec le développement de l'interface cartographique, en commençant par les outils utilisés jusqu'à l'accès à la visualisation des cartes constituant notre base de données, ainsi que les fonctionnalités en vigueur.

L'architecture de l'application adoptée dans la réalisation de ce projet est illustrée sur le schéma ci-dessous :

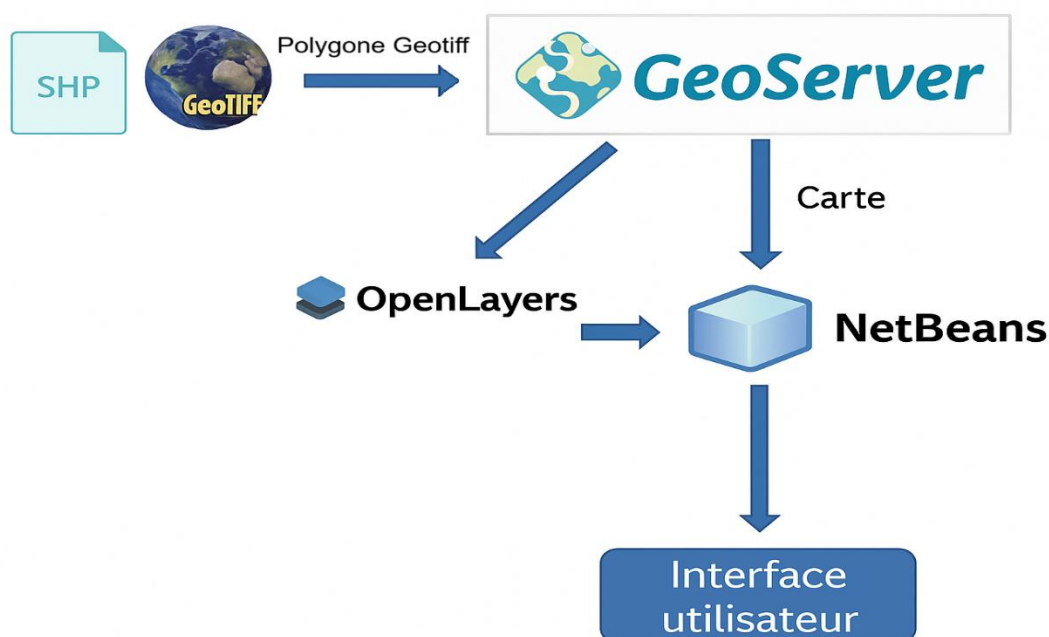


Figure 31. Architecture proposée

## 2. Webmapping

### 2.1. Définition et principes et fonctionnement du WebMapping

Le webmapping est le terme qui résume l'ensemble des techniques, des méthodes, des outils de visualisation, de diffusion, d'analyse des données géographiques sur des plateformes en ligne. Une telle approche faisant partie des domaines des Systèmes d'Information Géographique (SIG) s'appuie sur une architecture client-serveur, offrant la possibilité à l'utilisateur d'interagir avec les cartes via un navigateur web.

Cette technologie repose sur des services standardisés, tels que le Web Map Service (WMS) pour accéder à des images cartographiques géoréférencées, et le Web Feature Service (WFS) pour accéder aux objets géographiques sous forme vectorielle (points, lignes, polygones). Développés par Open Geospatial Consortium (OGC), ces services garantissent l'interopérabilité des systèmes et favorisent l'échange spatial des données.

En offrant une interface interactive, accessible, le Webmapping transforme la cartographie classique en un outil dynamique d'aide à la décision favorisant la participation, la transparence et la diffusion large de l'information spatiale.

### 2.2. Fonctionnalités du Webmapping

La cartographie Web permet la visualisation, l'interaction et l'analyse de données spatiales à travers un navigateur Web. Voici les principales fonctionnalités qu'il offre :

- **Affichage cartographique dynamique :** Les cartes sont accessibles à distance, par le biais de services Web comme WMS, WMTS ou TMS, permettant de charger des couches raster ou vectorielle à la demande.
- **Navigation interactive:** L'utilisateur a la possibilité d'interagir avec la carte : zoomer, se déplacer (panoramique) ou se positionner sur une zone d'intérêt.
- **Affichage d'informations (bulles d'information /popup) :** Un clic sur une entité cartographique déclenche l'affichage de données attributaires en effectuant des requêtes comme GetFeatureInfo (WMS) ou en interrogeant des données GeoJSON.
- **Recherche, géocodage :** Il est possible de localiser des emplacements ou des adresses avec l'utilisation des services de géocodage tel que Nominatim (OpenStreetMap) ou API Google Maps.
- **Sélection et interrogation spatiale :** L'utilisateur peut faire le choix d'entités en fonction de conditions spatiales ou attributaire. Ce type de fonctionnalité repose sur les services comme WFS ou les requêtes spatiales dans PostGIS.
- **Mesure de distances et de surfaces :** Des aides intégrées permettent de mesurer des distances ou des surfaces sur la carte proprement dite.
- **Téléchargement des données :** Les utilisateurs peuvent exporter des données (ex : GeoJSON, CSV, Shapefile) à venir aux moyens de tels services comme WFS.
- **Filtrage des données :** Les couches affichées peuvent être filtrées dynamiquement sur la base d'attributs ou de plages temporelles à l'aide des filtres CQL ou des scripts côté client.
- **Analyses spatiales légères :** Certaines analyses (par exemple, les tampons, la proximité, la densité) peuvent être effectuées dans le navigateur (en utilisant JavaScript, par exemple Turf.js), sinon une requête serveur doit être appelée (PostGIS).

- **Disponibilité en ligne et publication** : Collecte et mise en ligne de l'ensemble de la base de données de cartes et de données par une interface web permettant le partage et la diffusion de l'information géographique.

### 3. Publication des données spatiales via GeoServer

Le serveur cartographique est le guichet automatique auquel l'utilisateur fait appel, afin d'afficher des cartes sur son poste informatique par le protocole de communication internet TCP/IP. Le moteur cartographique peut être contrôlé par plusieurs langages, permettant de générer dynamiquement une carte en réponse à une requête préparée par une interface utilisateur. Le serveur peut chercher l'information nécessaire à la réalisation de la carte dans ses propres ressources, mais aussi sur des serveurs de données distants.

#### 3.1. Définition de Geoserver

GeoServer est une application informatique open source, libre et interopérable écrite en JAVA, et une fois installée sur un serveur, elle permet de partager des données géographiques. Ces données peuvent provenir de différentes sources, les principales étant des bases de données ou des entrepôts de fichiers (externes ou pas). Le serveur cartographique choisi dans notre étude est GeoServer 2.19.2 (lancé en Février 2021). Ce choix est motivé par <sup>[9]</sup>:

**Les données en entrée**, les données sources peuvent être dans de nombreux formats, tels que :

- PostGIS ;
- Oracle spatial ;
- Shapefile ;
- Geotiff.

**Les données en sortie**, les données en sortie sont fournies grâce à des protocoles d'échange, et les plus connus étant :

- **WMS (Web Map Service)** : un protocole qui renvoie des images géoréférencées. Ces images ne contiennent pas d'information en dehors des coordonnées où elles doivent s'afficher.
- **WFS (Web Feature Service)** : ce protocole renvoie des données vectorielles dans différents formats (JSON, CSV, Shapefile, GML). Les informations géométriques récupérées peuvent s'accompagner de nombreuses informations complémentaires et elles sont manipulables.

### 3.2. La configuration

L'avantage le plus important de GeoServer par rapport à d'autres alternatives (MapServer, Mapnik...), est la possibilité de se connecter à l'application via une interface d'administration, qui ne nécessite pas forcément une compétence de programmation. Il est alors possible d'ajouter des couches depuis une ou plusieurs sources. Pour des raisons de sécurité, GeoServer exige une identification (figure 32).

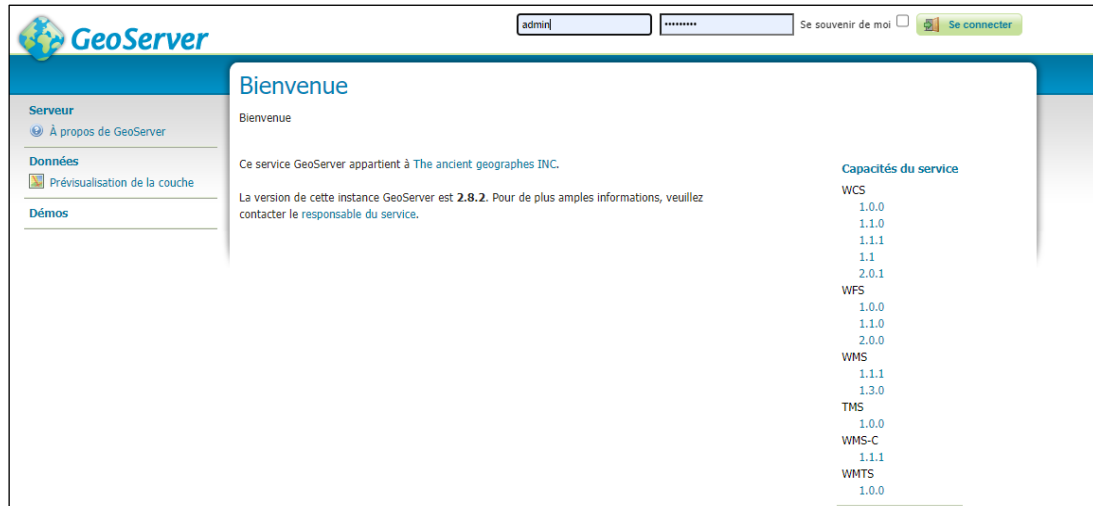


Figure 32. Interface GeoServer

### 3.3. La publication des données spatiales

La publication des données dans une base Geoserver se fait selon quatre étapes, à travers la section donnée de l'interface d'administration.

#### Étape 1 : Définition d'un espace de travail (Workspace)

La première étape est la création d'un espace de travail qui présente un conteneur utilisé pour grouper des couches semblables sous un même identifiant (figure 33), On doit donc fournir :

- Un identifiant ;
- L'URL associée à cet espace de travail.

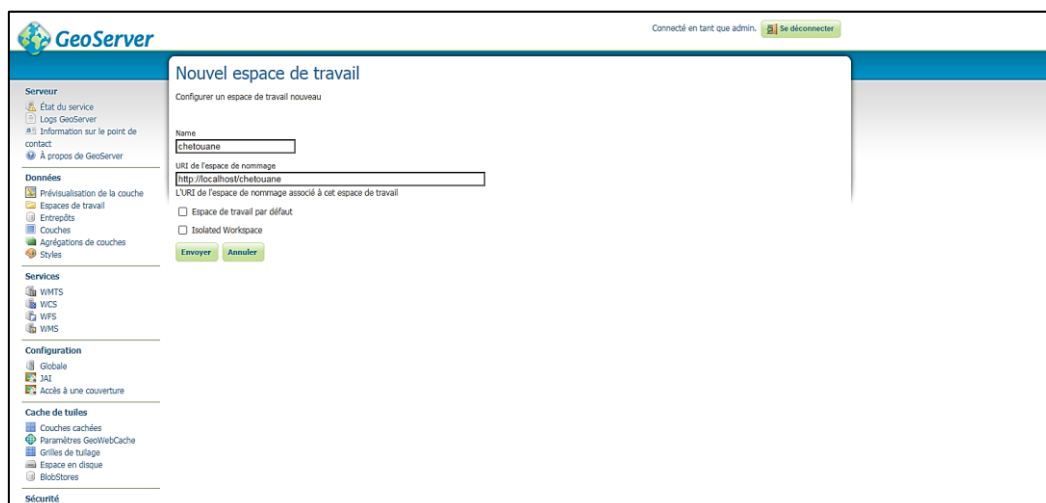
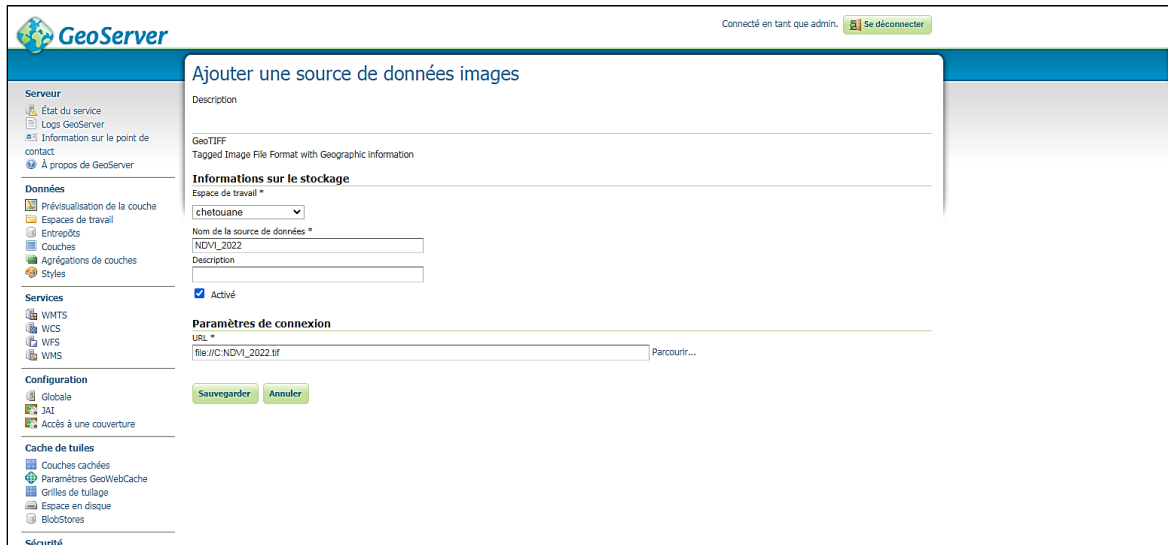


Figure 33. Définition d'un espace de travail

Ainsi, l'espace de travail nommé « **Chetouane** » a été créé.

## Etape 2 : Définition d'un entrepôt

Un entrepôt désigne une source de donnée pouvant contenir une ou plusieurs couches à publier. Un clic sur ajouter un nouvel entrepôt, nous permet d'accéder à la liste des types d'entrepôt que l'on peut ajouter (figure 34).



**Figure 34.** Sélection d'un entrepôt

## Etape 3 : Création d'une couche

Chaque couche possède son propre style qui est caractérisé par un SRC des données (EPSG : 32630), « L'emprise des données » qui est calculée à partir des données elles-mêmes, ainsi qu'un fichier Style SLD (Styled Layer Descriptor).

## Etape 4 : La sélection d'un style pour les couches à publier

Le SLD est le style utilisé pour personnaliser l'affichage des couches publiées sur GeoServer. Il permet de définir les couleurs, formes et styles selon les attributs des données.

### ▪ Définition d'un SLD

Un Styled Layer Descriptor (en abrégé SLD) est un document XML qui contient la description des styles applicables aux couches et aux « Features ». Un document SLD peut être utilisé par un serveur WMS pour styliser une carte lors de la rasterisation d'images ou sur un client WFS pour mettre en forme des vecteurs. (RALISON, 2014)

### - SLD pour les données Raster

Ce processus peut être effectué en utilisant un autre logiciel SIG, il s'agit de QGIS. QGIS est un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) convivial distribué sous licence publique générale GNU, un projet officiel de la fondation Open Source Geospatial (OSGeo). Il est compatible avec Linux, Unix, Mac OS X, Windows et Android et intègre de nombreux formats vecteur, raster, base de données et fonctionnalités <sup>[10]</sup>. La version de QGIS utilisée dans l'élaboration et la préparation des données à diffuser est principalement la version 3.10.5, lancée le 6 Décembre 2019 à Coruna <sup>[11]</sup>.

La première étape est celle de l'installation sous QGIS, de l'extension SLD4Raster, puis l'importation du style dans GeoServer (figure 35). Au niveau de l'interface de QGIS, le bouton SLD4Raster permet au fait de charger le fichier style puis de l'expédier vers GeoServer.

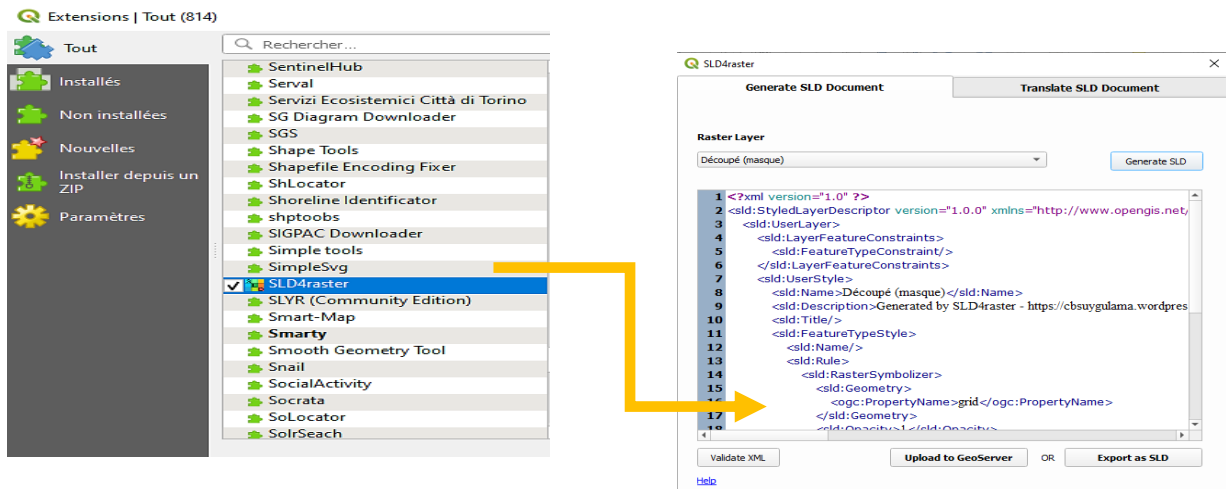


Figure 35. L'enregistrement du fichier SLD à partir de QGIS (donnée image)

L'étape suivante se passe au niveau de GeoServer en important le fichier SLD déjà créé avant avec le logiciel QGIS.

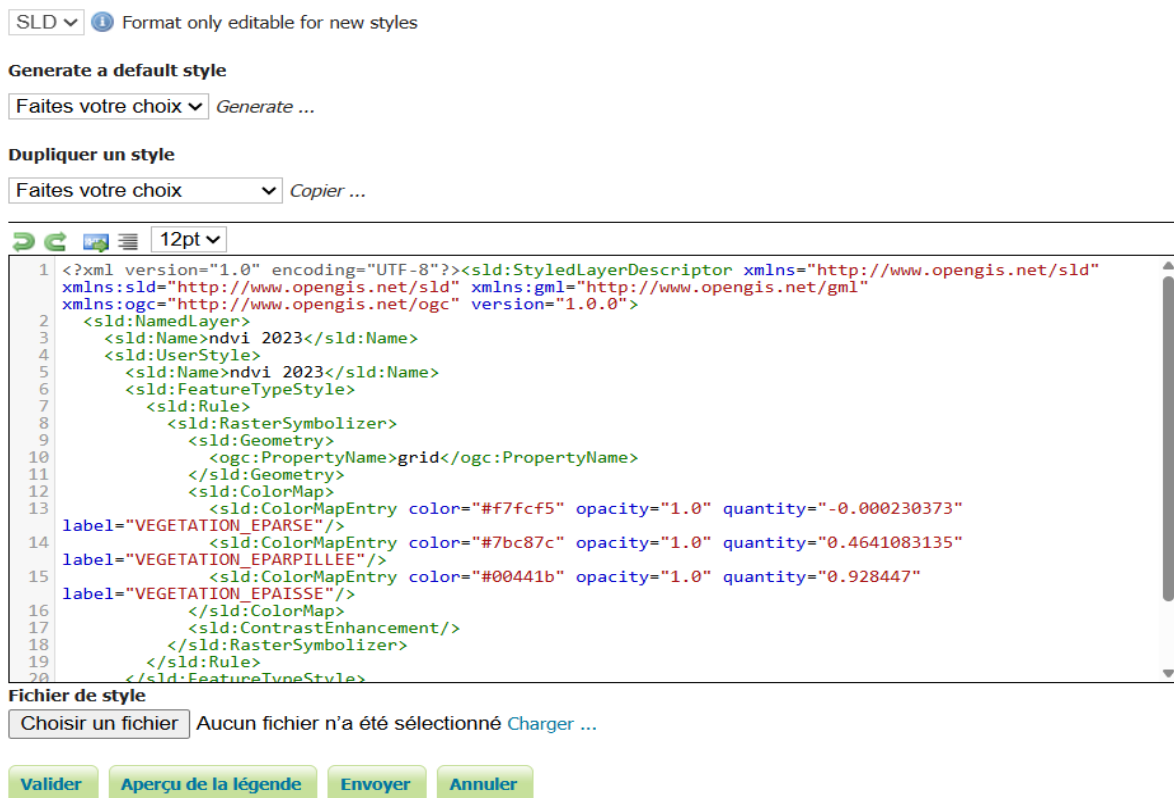


Figure 36. Importation de fichiers SLD au GeoServer (donnée raster)

### - SLD pour les données Vectorielles

L'élaboration d'une légende à travers le fichier SLD de la donnée résultante, a été faite de la manière suivante :

- Ajouter un fichier vecteur (Shapefile.shp) de la carte d'occupation du sol.
- Faire un clic droit sur la couche ajoutée et choisir **Propriété**.
- Aller à **Symbologie** et changer les paramètres utiles pour faire une classification catégorisée, en donnant une valeur selon les champs souhaités (pour notre cas c'est type d'occupation).
- Choisir les couleurs des valeurs des classes, selon ce qui est indiqué sur le fichier Excel « Land cover » (Annex 3).

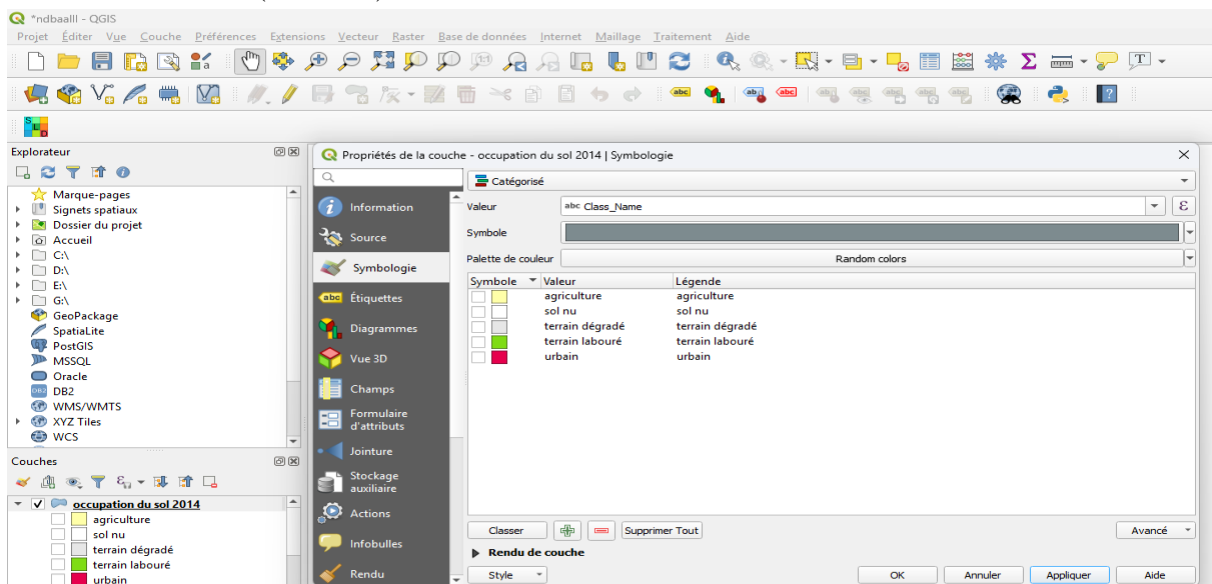


Figure 37. Enregistrement d'un fichier SLD à partir de QGIS (donnée vectorielle)

## 4. Développement de plateformes web pour la visualisation des données géospatiales

### 4.1. Objectif du site web

L'objectif principal du site web est de mettre en place une plateforme web interactive dédiée à la visualisation dynamique, à l'analyse spatiale et à la consultation des données géospatiales issues des traitements réalisés. Cette plateforme vise à faciliter l'accès à l'information spatiale de manière intuitive et accessible, en offrant des outils de navigation, de recherche et de filtrage des données.

Elle s'adresse à un public varié, incluant :

- Les chercheurs, pour l'exploration et l'exploitation scientifique des données ;
- Les décideurs locaux, pour appuyer la planification territoriale et la prise de décision éclairée ;
- Les citoyens, pour les sensibiliser à l'évolution de leur environnement et encourager la participation citoyenne.

## 4.2. Langages utilisés

### a. HTML (HyperText Markup Language)

L'HTML est le langage de balisage de document multimédia employé par le Web. Il faut à cet effet des balises ou tags qui contribuent à déterminer la façon dont le document doit être montré. Les balises sont encadrées par les caractères '<' et '>'. C'est le langage universel utilisé pour communiquer sur le Web. Les informations seront ainsi transportées sur cette gigantesque toile de réseaux interconnectés qui est l'Internet, pour aboutir sur l'ordinateur du lecteur grâce à un programme appelé navigateur ou browser. <sup>[12]</sup>



### b. CSS (Cascading Style Sheets)

Le CSS est un langage informatique qui permet de mettre en forme un document HTML. Introduit dans les années 1990 comme une alternative à la mise en forme directement intégrée dans les balises HTML, le CSS sépare d'une façon claire dans un document (HTML) de la structure, et sa présentation visuelle. Cette approche permet une meilleure structuration ainsi que le bon suivi de la maintenance. Avec le CSS on peut donner sur un ou plusieurs documents simultanément, appliquer des règles de style (comme la couleur, l'alignement, les polices, les bordures et les arrière-plans), ce qui semble un réel gain de temps du développement web. Bien que l'on ne puisse le considérer comme un langage de programmation de manière stricte, le CSS est essentiel dans la réalisation de la conception ergonomique et esthétique des interfaces web. <sup>[13]</sup>



### c. JavaScript

JavaScript désigne un langage de développement informatique, et plus précisément un langage de script orienté objet. On le retrouve principalement dans les pages Internet. Il permet d'introduire sur une page web ou HTML des petites animations ou des effets. Créé en 1995 par Brendan Eich, en même temps que la technologie Java, le langage JavaScript se distingue des langages serveurs par l'exécution des tâches opérée par le navigateur lui-même, sur l'ordinateur de l'utilisateur, et non sur le serveur web. Il s'active donc généralement sur le poste client plutôt que côté serveur. <sup>[14]</sup>



### d. OpenLayers

OpenLayers est une bibliothèque open-source puissante et conviviale permettant de créer des cartes interactives sur le Web. Elle offre aux développeurs de nombreuses fonctionnalités telles que le zoom, le déplacement, l'ajout de marqueurs ou de fenêtres contextuelles. Compatible avec différents formats de données (vectorielles ou raster), OpenLayers permet d'intégrer des cartes personnalisées dans des sites web ou des applications, tout en offrant la liberté d'adapter et de modifier le code selon les besoins spécifiques des utilisateurs. <sup>[15]</sup>



### e. NetBeans

NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE : Integrated Development Environment) gratuit et open source. Il permet de développer des applications de bureau, web et mobiles. NetBeans prend en charge plusieurs langages de programmation tels que Java, C, C++, JavaScript, PHP, HTML, Python, Ruby, XML ou encore Groovy. Il offre de nombreuses fonctionnalités intégrées, comme l'édition de code, le débogage, la gestion de projets ou encore l'intégration avec des frameworks populaires, ce qui en fait un outil complet et polyvalent pour les développeurs. <sup>[16]</sup>



### 4.3. Description de la plateforme web

La plateforme WebMapping développée dans le cadre de cette étude permet la visualisation interactive des données géospatiales relatives à l'étalement urbain dans la daïra de Chetouane. Elle a été conçue pour offrir un accès simple et efficace aux différentes couches d'information, qu'elles soient vectorielles ou raster, et permet de naviguer entre plusieurs années d'analyse. Cette section détaille les principales composantes de la plateforme.

#### 4.3.1. Utilisateurs concernés

La plateforme WebMapping développée dans le cadre de cette étude constitue un outil précieux pour plusieurs catégories de spécialistes impliqués dans la gestion territoriale, l'analyse environnementale ou encore l'enseignement, comme :

- **Urbanistes et aménageurs du territoire** : pour planifier le développement urbain de manière durable, en identifiant les zones à urbaniser tout en minimisant l'impact sur les milieux naturels.
- **Chercheurs et géographes** : pour analyser les dynamiques d'étalement urbain à différentes échelles temporelles et spatiales, et évaluer leurs effets sur l'environnement local.
- **Autorités locales et décideurs publics** : pour suivre l'évolution du tissu urbain, adapter les documents d'urbanisme et mettre en œuvre des politiques de gestion du territoire.
- **Ingénieurs en télédétection et SIG** : pour explorer les résultats d'analyses spatiales, valider des modèles ou contribuer à l'amélioration continue des méthodes de suivi.
- **Étudiants et enseignants** : pour illustrer des concepts liés à l'urbanisation, à l'écologie urbaine et aux SIG à l'aide d'outils visuels concrets.

#### 4.3.2. Page d'accueil

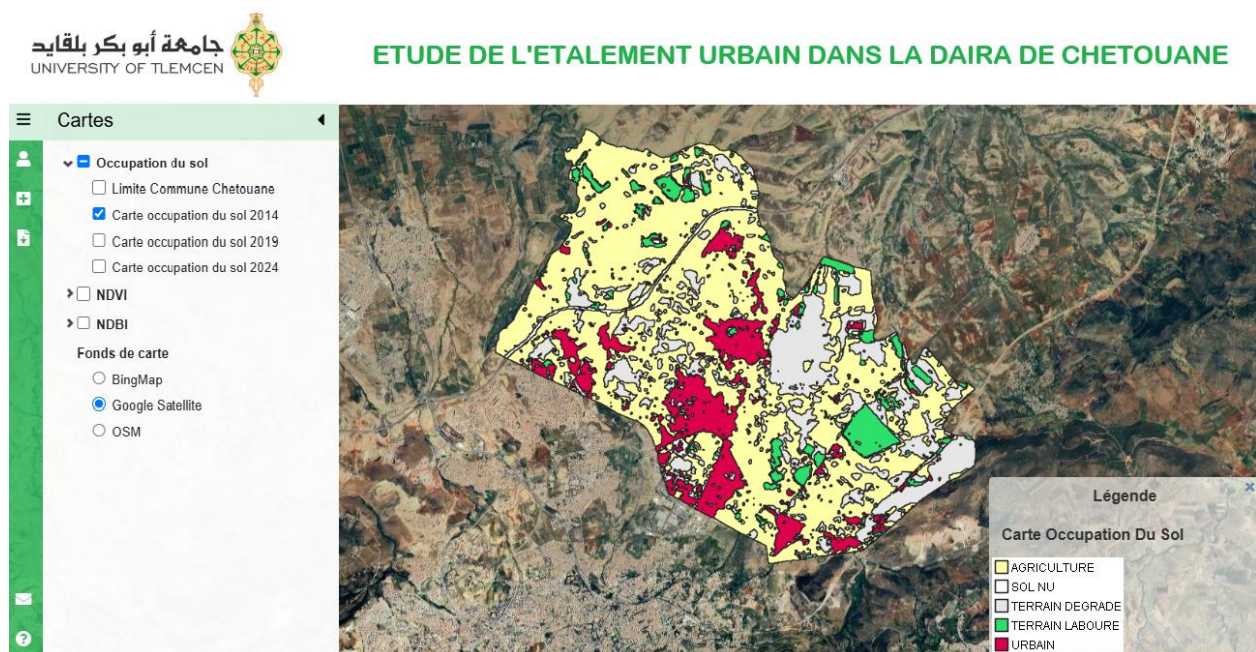
La page d'accueil de la plateforme présente une interface conviviale structurée autour d'un fond cartographique satellitaire sur lequel se superposent différentes couches thématiques. En haut de l'interface, le titre du projet « Étude de l'Étalement Urbain Dans La Daïra De Chetouane » est clairement affiché, accompagné du logo et du nom de l'Université de Tlemcen. À gauche, un menu latéral permet de sélectionner les données à afficher, classées en trois grandes catégories : Occupation du sol, NDVI, et NDBI. Cette structure permet une navigation intuitive et rapide entre les différentes sources d'information.

### 4.3.3. Exploitation des couches thématiques

Grâce à son interface interactive et à l'intégration de données géospatiales multi-sources, la plate-forme réalisée permet une exploitation ciblée et pertinente des indicateurs. Les trois couches principales (Occupation du sol, NDVI et NDBI) offrent une analyse complémentaire de l'évolution du territoire :

#### ➤ Occupation du sol

Les cartes d'occupation du sol, générées à partir de la classification supervisée des images satellitaires Landsat, ont été intégrées à la plate-forme comme couches interactives. Ces données offrent une représentation précise des différentes classes d'occupation (Urbain, Agriculture, Terrain labouré, Terrain dégradé et les Sols nus) sur plusieurs périodes. Cette information est essentielle pour observer les changements dans l'utilisation du sol, notamment la conversion des surfaces naturelles ou agricoles en zones bâties. L'exploitation de cette couche permet ainsi de quantifier les transformations spatiales, d'évaluer l'intensité de l'étalement urbain, et de mettre en évidence les zones à enjeux en termes de préservation, de réhabilitation ou de planification.

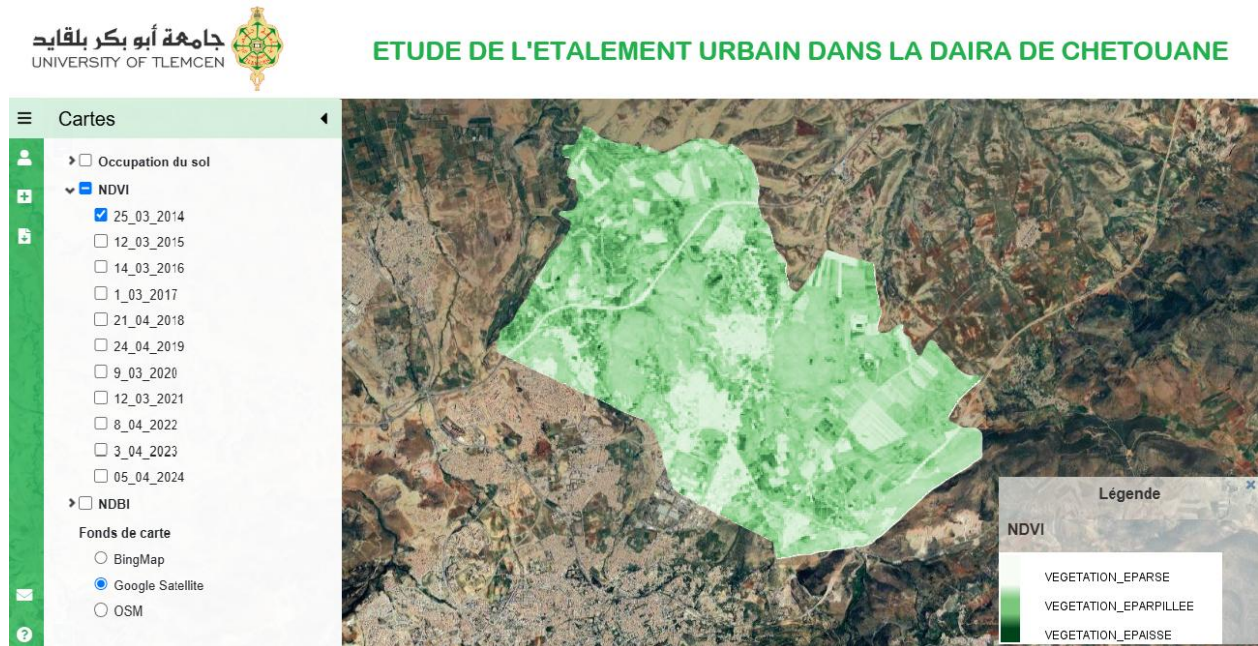


**Figure 38.** Exemple d'une superposition d'une couche Vectorielle  
(Occupation du sol de la daïra de Chetouane)

#### ➤ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Les images NDVI ont été intégrées à la plate-forme sous forme de couches interactives, permettant ainsi une visualisation dynamique de la couverture végétale au fil du temps. Cet indice, dérivé des images satellitaires, sert à quantifier la densité et la vitalité de la végétation. Il constitue un outil essentiel pour l'analyse spatio-temporelle de la dynamique végétale dans la commune de Chetouane. Grâce à lui, il est possible de détecter les zones de végétation dense ou dégradée, de suivre les pertes de couverture végétale induites par l'étalement urbain, et

d'identifier les espaces verts (à préserver ou à restaurer) dans une optique d'aménagement durable.



**Figure 39.** Exemple d'une couche Raster « NDVI » de 2014 (Chetouane)

#### ➤ NDBI (Normalized Difference Built-up Index)

Les données NDBI ont été intégrées à la plate-forme sous forme de couches interactives permettant de visualiser avec précision l'évolution des zones bâties. Le NDBI, est un indice dérivé des images satellitaires qui permet de mettre en évidence les surfaces urbanisées en exploitant les propriétés spectrales du moyen infrarouge. Cet indicateur facilite l'analyse spatio-temporelle de l'étalement urbain dans Chetouane, en identifiant les zones où la densité du bâti a augmenté au cours des années étudiées. Il permet ainsi de suivre l'expansion des surfaces construites, de repérer les noyaux d'urbanisation récents, et de fournir un appui objectif aux décisions d'aménagement territorial.

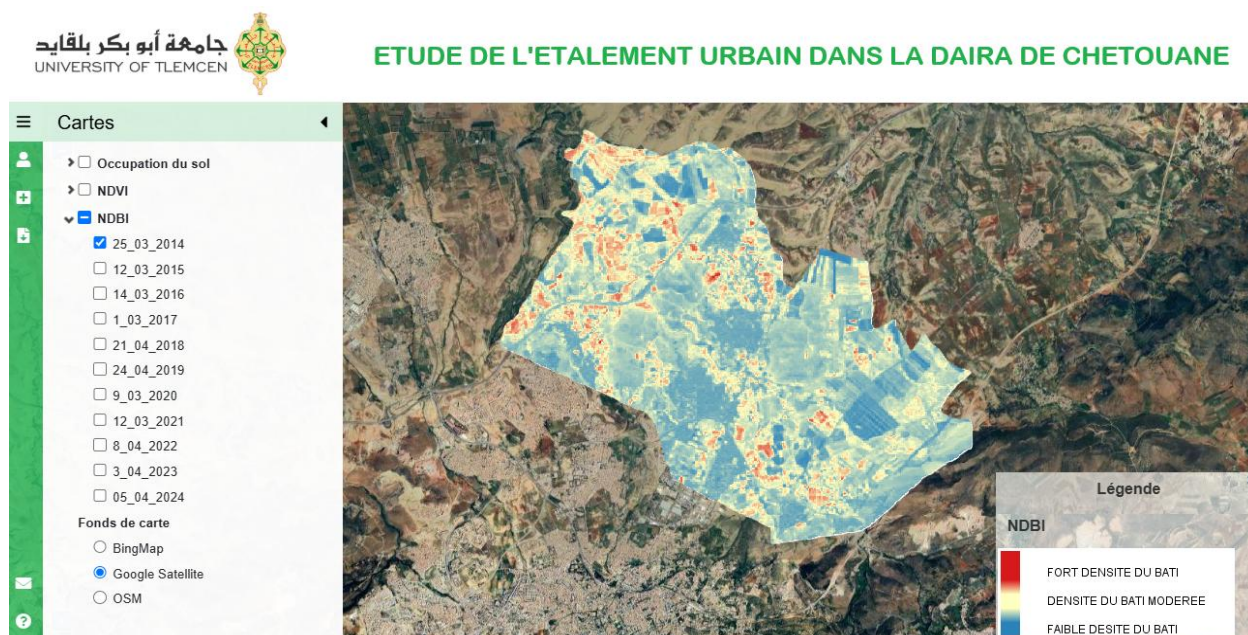


Figure 40. Exemple d'une couche Raster « NDBI » de 2014 (Chetouane)

## 5. Les avantages et les inconvénients

La création de la plateforme WebMapping à des fins de visualisation des données d'étalement urbain comporte plusieurs avantages, mais a également quelques limites techniques et fonctionnelles notables consignés dans le tableau suivant :

Fonctionnalités	Avantages	Inconvénients
<b>Accessibilité des données</b>	La plateforme rend les données spatiales accessibles à tous via Internet, sans recourir à un logiciel SIG complexe.	Nécessite une connexion Internet stable, ce qui peut poser problème dans les zones rurales ou à faible couverture réseau.
<b>Visualisation interactive</b>	Interface interactive (zoom, déplacement, activation/désactivation des couches) permettant une navigation fluide et une meilleure compréhension des données.	Les grandes quantités de données peuvent entraîner des ralentissements, en particulier pour les images raster lourdes sans mécanismes de mise en cache.
<b>Centralisation des informations</b>	Possibilité d'intégrer de multiples couches de données (occupation du sol, NDVI, NDBI) et de les visualiser en même temps.	Manque d'outils pour effectuer des analyses spatiales approfondies, comme des calculs de surface ou des croisements automatiques.
<b>Simplicité d'utilisation</b>	Interface conviviale et intuitive, même accessible pour les non-spécialistes.	L'absence de fonctionnalités avancées risque de limiter l'extensibilité et l'utilisation dans des cadres plus complexe.
<b>Normes standardisées</b>	Respect des standards reconnus (WMS/WFS) pour garantir une interopérabilité avec d'autres systèmes SIG.	Aucun système d'authentification ni de gestion des accès, ce qui peut poser des problèmes de sécurité et de confidentialité des données.

<b>Performance</b>		L'affichage des grandes données spatiales peut être lent sans optimisation appropriée, ce qui affecte l'expérience utilisateur.
<b>Mise à jour des données</b>		Les mises à jour de données doivent être effectuées manuellement, ce qui complexifie la maintenance continue de la plateforme.
<b>Adaptation mobile</b>		Pas de version mobile responsive, limitant l'accessibilité et l'utilisation de la plateforme sur des appareils mobiles.

### Conclusion

L'intégration d'une interface web cartographique dans cette recherche marque une avancée marquée en reconnaissance des données géospatiales produites.

Grâce à la représentation interactive et à l'accessibilité en ligne des résultats d'analyse de l'étalement urbain, cette solution favorise la consolidation de la dimension participative et décisionnelle de la gestion territoriale.

La plateforme développée est donc ouverte, réversible, évolutive, extensibles avec une bonne base de données et une variété de fonctionnalités. Elle ouvre des perspectives pour le suivi environnemental, l'urbanisme, la sensibilisation du public aux flux spatiaux de la daïra de Chetouane.

## Conclusion générale

L'analyse de l'étalement urbain constitue aujourd'hui un préalable nécessaire de compréhension des dynamiques territoriales, c'est notamment le cas dans les zones en forte mutation telle que la daïra de Chetouane.

Ce mémoire a permis de mettre en évidence, à partir d'une analyse spatio-temporelle basée sur des images satellitaires Landsat 8, l'évolution importante de l'occupation du sol dans la daïra de Chetouane de 2014 à 2024. Les résultats issus ont mis en évidence une dynamique d'étalement urbain marquée, notamment par une progression de +56,73 % de zones bâties, au profit des terres agricoles, qui ont reculé de -42,56 %. Ce processus, principalement concentré dans la périphérie autour du tissu urbain original, correspond à la pression accrue sur la nature et les terres agricoles.

L'analyse a été élargie par l'intégration de différents indicateurs explicatifs : le NDVI, le NDBI, les données démographiques et pluviométriques, offrant ainsi une lecture croisée et multidimensionnelle des facteurs à l'origine de cette transformation du sol. Ces croisements ont renforcé la compréhension des mécanismes de l'étalement urbain dans cette région en mutation rapide.

Au-delà de l'étude analytique, ce travail a également introduit un aspect innovant avec la création d'une plateforme WebMapping interactive, conçue pour partager les résultats de manière dynamique et accessible. Cette interface permet aux acteurs territoriaux, aux chercheurs et aux citoyens de naviguer librement dans les cartes de l'occupation du sol, les cartes de NDVI et NDBI, renforçant ainsi la prise de décision éclairée et la sensibilisation du public aux enjeux liés à l'urbanisation.

In résumé, ce mémoire a rempli sa mission : analyser de manière rigoureuse l'évolution de l'urbanisation de Chetouane, tout en disposant d'un outil numérique contemporain simplifiant la lecture et l'appropriation des résultats.

Au regard de l'importance croissante des études spatiales sur l'étalement urbain et des enjeux liés à la gestion durable du territoire, il est recommandé de créer une plateforme nationale dédiée à la centralisation, la classification et la diffusion des recherches géospatiales menées à l'échelle du territoire algérien. Cette plateforme aurait pour objectif principal de constituer une base de données nationale intégrée des dynamiques urbaines, accessible aux chercheurs, institutions, urbanistes et décideurs publics.

Une telle initiative permettrait de :

- Standardiser la collecte et la présentation des données spatiales issues des études locales ;
- Favoriser le partage et la capitalisation des connaissances à l'échelle nationale ;
- Suivre l'évolution de l'occupation du sol et de l'urbanisation de manière homogène sur l'ensemble du territoire ;
- Renforcer la coordination interinstitutionnelle dans la gestion urbaine et environnementale ;
- Alimenter les politiques publiques en données fiables, actualisées et visualisables à travers des interfaces cartographiques interactives.

Cette plateforme pourrait devenir un levier stratégique pour la planification territoriale intelligente et la transition numérique du secteur de l'aménagement.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **N. BENTEKHICI & DJ. YOUSFI**, (2013) : Analyse de l'étalement urbain de la ville de Mostaganem à l'aide des données satellitales multi-dates. Centre des Techniques Spatiales.
- 2 **Khalid ERRAOUGUI**, (2021) : Les impacts d'étalement urbain : Le cas de Sidi Allal El Bahraoui, province de Khémisset (Maroc). Thèse de doctorat en Géographie. Université : Ibn Tofail, Kénitra (p 1559).
- 3 **Dhia MALKI**, (2016) : L'étalement urbain, mode de croissance des villes : Le cas algérien. Mémoire Master en Architecture. Université : Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (p 8, 20).
- 4 **Leila FILLALI**, (2006) : Le devenir des "zhun" comme forme de production de l'espace et du cadre bâti "cas de Constantine. Mémoire Magister en Urbanisme. Université : Mentouri de Constantine.
- 5 **Rahim AGUEJDAD**, (2009) : Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole. Thèse de doctorat en Géographie. Université : Rennes 2 haute Bretagne.
- 6 **Sami MARZOUK, Jennifer AMSALLEM**, (2018) : Apport des données en télédétection pour la caractérisation des milieux naturels, semi-naturels et anthropiques dans une démarche d'identification de Trame verte et bleue. Irstea – UMR TETIS, Centre de ressources Trame verte et bleue.
- 7 **Assoule DECHAICHA, Djamel ALKAMA**, 2020 : La détection du changement de l'étalement urbain au bas-Sahara algérien : apport de la télédétection spatiale et des SIG. Cas de la ville de Biskra (Algérie). Architecture. Université : 8 mai 1945 - Guelma.
- 8 **I. GUECHI, D. ALKAMA**, 2017 : Apport de la télédétection pour la cartographie diachronique de l'étalement urbain et l'analyse morphologique de l'agglomération de Guelma. Architecture. Université : Mohamed Khider.
- 9 **Jean-Claude ROSSO**, 2008  
[https://jeanyvesthorrignac.fr/wa\\_files/info\\_483\\_negrier.pdf](https://jeanyvesthorrignac.fr/wa_files/info_483_negrier.pdf)
- 10 **Amina BELHADEF**, 2015 : Habitat Ecologique Habitat Individuel à Haute Performance Environnementale à Tlemcen. Mémoire de Master en Architecture. Université : Abou Bekr Belkaid. (p 67).
- 11 **Rina RALISON**, 2014 : Architecture SIG pour la mise en ligne de la carte de la répartition mondiale des régions arides. Rapport de stage en Géomatique, Géomarketing et Multimédia. Université : Paris 8. (p 12).

## RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES

- 1 2023 : Comment lutter contre l'étalement urbain ?. <https://idverde.fr/blog/comment-lutter-contre-letalement-urbain/>
- 2 2006 : L'étalement urbain en Europe - un défi environnemental ignoré <https://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/12019etalement-urbain-en-europe-un-defi-environnemental-ignore>
- 3 2014 : Historique de la télédétection <https://www.institut-numerique.org/22-historique-de-la-teledetection-52eca9e7582a9>
- 4 <https://www.pascaljouy.fr/club/historic.jpg>
- 5 [www.asal.dz](http://www.asal.dz)
- 6 2024 : La télédétection : applications, technologies et avenir <https://www.yellowscan.com/fr/knowledge/remote-sensing-what-it-is-and-how-is-it-used/>
- 7 <https://juliedjidji.github.io/memocarto/geoserver.html>
- 8 **Atilio Francois**, 2016 : Débuter avec Geoserver <https://www.sigterritoires.fr/index.php/debuter-avec-geoserver/>
- 9 <https://www.eode.ch/2016/05/06/quest-ce-que-qgis-et-pourquoi-se-former/>
- 10 <https://www.qgis.org/fr/site/about/index.html>
- 11 <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/HTML>
- 12 <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203277-css-cascading-style-sheets-definition-traduction/>
- 13 <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203585-javascript/>
- 14 [https://live.osgeo.org/fr/overview/openlayers\\_overview.html](https://live.osgeo.org/fr/overview/openlayers_overview.html)
- 15 <https://www.blogdumoderateur.com/tools/netbeans/>

## ANNEXES

**Annexe 1 :** Liste des établissements et institutions publics et privés de la commune de Chetouane

Les tableaux suivants présentent les établissements publics (écoles, établissements de santé, administrations, etc.) et les entreprises privées implantées dans la daïra de Chetouane.

Ces données ont été obtenues auprès de la Mairie de Chetouane, ce qui garantit leur fiabilité et leur actualité au moment de la collecte.

### الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

ولاية تلمسان

دائرة شتوان

بلدية شتوان

### القائمة الرسمية للمؤسسات العمومية و الخاصة عبر إقليم بلدية شتوان

#### 1- المؤسسات العمومية:

عنوانها	اسم المؤسسة أو الهيئة المعنية
شتوان	<b>المدارس الابتدائية:</b> مماش نذير، ابن سينا، بلعربي منصور، ماحي حسين، زباني بلقاسم، هدراش بن علي، ميلودي حمو، بن قديح قويدر، بوقادة محمد.
اوزيدان- شتوان	ماحي يوسف، بلقايد بن عمر، بلحاج محمد، بن عثمان عبد السلام، بلعدي محمد، ميلودي محمد.
عين الدفلى- شتوان	غيتري احمد، تابت محمود.
صف صاف- شتوان	عزاز سيد احمد.
المضيق- شتوان	اخلف بومدين.
سيدي عيسى- شتوان	عزوز بومدين.
عين الحوت- شتوان	خياط معزوز.
شتوان	<b>الإكاليات:</b> الإمام مالك ابن انس، حبيبيس عبد الرحمان، يوسف محمد.
حي اوزيدان- شتوان	حابي عيسى، حابي حسين.
عين الدفلى- شتوان	شنيبي احمد.
عين الحوت- شتوان	البيدري احمد.
شتوان	<b>الثانويات:</b> الإخوة الشهيد بن منصور، الإخوة عطار
شتوان	<b>مقر البلدية:</b> المريد البلدي 1، المريد البلدي 2
شتوان	<b>الملحقات الإدارية:</b> ملحقة الصف صاف، ملحقة عين الحوت، ملحقة اوزيدان 1، ملحقة اوزيدان 2
شتوان	مقر الدائرة
شتوان	مقر الشرطة
شتوان	مقر الدرك الوطني
شتوان	قباضة الضرائب
عين الدفلى- شتوان	مفتشية الضرائب
شتوان	مقر الضمان الإجتماعي
شتوان	مقر وكالة السونلغاز
شتوان	مقاطعة الجزائرية للمياه
شتوان	مقاطعة الموارد المائية
عين الحوت شتوان	الديوان الوطني للتطهير
عين الدفلى شتوان	مركز التكوين المهني
اوزيدان شتوان	مركز البيداغوجي للمعاقين حركيا
شتوان	المركز الثقافي البلدي للإخوة خميس
اوزيدان شتوان	دار الشباب
عين الدفلى شتوان	المركب الرياضي الشهيد شلدة بولنوار
شتوان	المركز البريد
عين الحوت	المركز البريد
حي اوزيدان	المركز البريد
حي شتوان	قسم التعمير و البناء
حي شتوان	القطب الجامعي

حي شتوان	الإقامة الجامعية
حي شتوان	القطاع الصحي المتعدد الخدمات
حي الزيتون شتوان	قاعة العلاج
عين الحوت	قاعة العلاج
المضيق شتوان	قاعة العلاج
الصف صاف شتوان	قاعة العلاج
الحمري شتوان	قاعة العلاج
المصلى	قاعة العلاج
الحوش الواعي شتوان	قاعة العلاج
أوزيدان	دار الشباب رحالي أحمد

## 2- المؤسسات العمومية:

العنوان	إسم المؤسسة	الرقم
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SITEL	01
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SNVI	02
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	ENTC	03
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	CAMEG	04
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SONELGAZ	05
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	NAFTAL	06
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	MATLA ATLAS	07
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	TAHKOUT MAHIEDDINE	08
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SANP BEN MIMOUNE	09
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	TECHNALIT	10
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	(SPA) DU MAGHREB	11
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	FABI LAACHACHI HEBRI	12
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL BEN SFIA	13
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	FORYOUTA AUTO MOBILES	14
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL BELPLAST	15
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARI ABDELHAKIM HYDRA SANITAIRE	16
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	LE ROUEL LAACHACHI MUSTAPHA	17
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SNTA	18
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	ASLY FOOD	19
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL CM	20
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL COSA PLAST	21
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	AB CHOUPING	22
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL VERGOUR	23
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SOMACT	24
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	LA CHATEX	25
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	SARL MAGHREB	26
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	AFRIKAFI	27
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	ROI DE LA DORURE	28
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	MINOUTRI EL MAGHREB	29
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	ETS BENYAHIA	30
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	GROUPE EGTH DENNOUNI	31
المنطقة الصناعية عين الدفلى شتوان	MINOTORIE TAFNA	32






## Annex 2 : Tableau du précipitations mensuelles (en mm) de 2014 à 2024

Ce tableau montre les précipitations mensuelles enregistrées à Chetouane entre 2014 et 2024. Les données ont été téléchargées à partir du site web NASA POWER Data Access Viewer (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), qui est une plateforme d'extraction de données solide et bien utilisée pour les données satellitaires climatiques à haute résolution. Ces données ont été utilisées dans l'analyse de la variabilité climatique et de son empreinte probable sur l'évolution de l'occupation du sol dans la zone d'étude.

Mois	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Janvier	85.6	72.4	66.2	52.8	61.3	2.89	28.7	35.59	14.51	36.28	17.33
Février	64.3	58.1	45	41.2	55.8	12.25	0.46	7.28	13.07	37.77	39.13
Mars	52.1	70.3	48.9	56.3	59.4	21.19	26.03	38.36	85.26	6.94	25.21
Avril	39.2	45.7	51.2	44.5	47	51.26	72.7	32.58	55.53	2.42	7.92
Mai	28	32.9	30.4	29.6	27.5	10.59	32.61	21.93	52.76	32.29	8.52
Juin	5.2	3.1	4.6	2.8	3.5	1.39	1.1	12.93	6.11	18.77	8.62
Juillet	1.4	0.9	1.1	0.6	1	8.41	5.93	33.74	5.29	1.02	0.34
Août	3.2	2.5	2.2	1.8	2.9	19.78	2.28	8.18	5.19	0.1	7.02
Septembre	7.8	5.6	4.9	3.5	6.2	20.79	8.24	11.6	16.67	34.52	44.17
Octobre	18.5	21.3	24.1	22.6	20.7	33.83	5.22	5.8	23.8	15.43	41.56
Novembre	94.7	80.2	71.5	66.9	72.6	59.64	18.02	45.84	14.19	7.53	6.31
Décembre	77.3	68.4	63.7	59.1	65.2	45.64	63.74	20.79	30.81	12.88	9.6
Total annuel	<b>477.3</b>	<b>461.4</b>	<b>413.8</b>	<b>381.7</b>	<b>423.1</b>	<b>287.66</b>	<b>265.03</b>	<b>274.62</b>	<b>323.19</b>	<b>205.95</b>	<b>215.73</b>

## Annex 3 : Tableau des couleurs utilisées pour la légende de la carte d'occupation du sol (Land Cover)

Le tableau suivant présente la nomenclature des classes d'occupation du sol utilisées dans cette étude, ainsi que les codes RVB (rouge, vert, bleu) correspondants. Ces couleurs ont été utilisées dans les cartes de classification pour faciliter la distinction visuelle entre les différentes classes d'occupation du sol.

Libelle	Couleur	Rouge	Vert	Bleu
Agriculture		255	255	000
Urbain		230	000	077
Terrain dégradé		230	230	230
Sol nu		255	255	255
Terrain labouré		44	224	107