



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Ibn Khaldoun-Tiaret-**

**Faculté des sciences de la nature et de la vie**

## **THÈSE**

En vue de l'obtention du

### **DOCTORAT TROISIEME CYCLE**

**Filière : Écologie et environnement**

**Spécialité : Écologie et préservation des écosystèmes terrestres**

---

# **Dynamique de l'occupation du sol par télédétection de la zone de transition des deux Atlas tellien et saharien dans la wilaya de Tiaret (Algérie).**

---

**Présentée et soutenue publiquement par : *Mme. Amrouni Yasmina***

**Le 18/07/2022**

#### **Jury**

<b>Mme. Omar A</b>	<b>MCA U. Tiaret</b>	<b>Présidente</b>
<b>M. Berrayah M</b>	<b>MCA U. Tiaret</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>M. Azzaoui M. E</b>	<b>MCA. U. Tiaret</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. Larid M</b>	<b>Pr. U. Mostaganem</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. Zaidi H</b>	<b>MCA. ENSA. Mostaganem</b>	<b>Examineur</b>

*Je dédié ce travail :*

*A mes chers parents Said et Nadjia*

*A ma grand mère Zahia*

*A mes sœurs Sarah et Nina*

*A mon frère Mahrez*

*A mes meilleures copines Hana, Abir, Habiba*

*A mon Bonheur BOB*

*Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment !*

---

---

---

## **Remerciements**

Avant tout je remercie le bon **Dieu**, le très haut qui m'a donné la patience, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Ce travail que je considère de longue haleine, n'est pas le fruit absolu de mes seuls efforts, mais il est aussi le résultat d'un apport fructueux de nombreuses personnalités scientifiques, matérialisé par leurs orientations, leurs critiques, leurs conseils. Sans eux ce travail n'aurait pas vu le jour.

A cet effet, qu'ils trouvent ici mes sincères reconnaissances et remerciements ; qui vont plus particulièrement à :

**M. Berrayah Mohamed**, maître de conférences (A) à l'université Ibn Khaldoun, Tiaret, pour ses orientations, ses conseils de grandes valeurs, ses encouragements, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée.

**Mme. Cristina Vega Garcia**, professeur à l'université de Lleida, qui m'a accueillie à bras ouvert pour un stage de longue durée.

**Drs Marcos Rodrigues et Père Gelabert** : membres de l'équipe de Mme Cristina Vega Garcia à l'université de Lleida, Espagne.

**M. Hachemi Kamel**, enseignant-chercheur à l'université Paris-Est qui s'est toujours montré à l'écoute et qui m'a apporté ses encouragements.

**M. Hellal Benchaben**, professeur retraité de l'université Ibn Khaloudoun Tiaret, pour sa disponibilité, son suivi, et ses encouragements pour réaliser ce projet.

Mes remerciements vont aussi aux membres du jury

- **Mme Omar Amina** : Maitre de conférences (A) à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret Algérie, pour avoir accepté d'être membre du jury et de le présider.

- **Mr Azzaoui M.E** : Maitre de conférences (A) à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie

- **Mr Larid Mohamd** : Professeur à l'université de Mostaganem Algérie

- **Mr Zaidi H** : Maitre de conférences (A) à l'université de Mostaganem Algérie.

Mes remerciements vont aussi à mon cher papa cadre retraité de la D.P.S.B de Tiaret., qui m'a soutenu durant la durée de réalisation de ce travail.

Enfin, mes vifs remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> La situation de la steppe dans le Nord Algérien. _____	18
<b>Figure 2.</b> Localisation géographique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret. _____	23
<b>Figure 3.</b> Situation administrative de la zone de transition de la wilaya de Tiaret. _____	24
<b>Figure 4.</b> Situation phytogéographique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret. _____	25
<b>Figure 5.</b> Carte géologique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret. _____	26
<b>Figure 6.</b> Carte lithologique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret (Conservation des forêts de la wilaya de Tiaret, 2017 modifiée) _____	27
<b>Figure 7.</b> Carte du réseau hydrographique et les sous bassins versants de la zone de transition (Conservation des forêts de la wilaya de Tiaret, 2022 modifiée). _____	28
<b>Figure 8.</b> Carte des unités de la région steppique. _____	29
<b>Figure 9.</b> Carte d'occupation du sol de la zone steppique de Tiaret (Conservation des Forêts, 2017 modifié). _	30
<b>Figure 10.</b> Précipitations annuelles pour la période 1984 à 2017. _____	32
<b>Figure 11.</b> Précipitations moyennes mensuelles pour la période 1984-2017. _____	32
<b>Figure 12.</b> Variation des précipitations du mois de Mars. _____	33
<b>Figure 13.</b> Températures annuelles pour la période 1984-2017. _____	34
<b>Figure 14.</b> Présentation mensuelle des températures minimales et maximales. _____	35
<b>Figure 15.</b> Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la zone d'étude pour la période 1984-2017. _____	36
<b>Figure 16.</b> Climagramme d'Emberger pour la période (1984 à 2017). _____	37
<b>Figure 17.</b> Localisation des différents points d'apprentissage pour l'établissement de la classification. _____	46
<b>Figure 18 .</b> Cartes d'occupation du sol de la zone steppique de la wilaya de Tiaret de 1984 à 2017. _____	62
<b>Figure 19.</b> Cartes d'occupation du sol après le calcul de Majorité des pixels pour trois période différentes ; 1984-1987, 1999-2003, 2013-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 20.</b> Etat de l'occupation du sol de la zone de transition de 1984 à 2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 21.</b> Distribution spatiale des classes stables d l'occupation du sol de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 22.</b> Carte de transition de l'occupation du sol de 1984-2003. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 23.</b> Distribution spatiale des classes stables d l'occupation du sol de 2003-2017	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 24.</b> Carte de transition de l'occupation du sol 2003-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 25.</b> Distribution spatiale des conversions principales de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 26.</b> Représentation spatiale de la dynamique des températures (facteur potentiel X3) de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 27.</b> Représentation spatiale de la dynamique des précipitations (facteur potentiel X4) de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 28.</b> Représentation spatiale de la dynamique de vent (facteur potentiel X5) de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 29.</b> Représentation spatiale de la dynamique de l'effectif de population (facteur potentiel X6) de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 30.</b> Représentation spatiale de la dynamique de facteur potentiel X7 de 1984-2017. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 31.</b> Distribution spatial de modèle de prédictions VS à TA, (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 32.</b> Distribution spatial de modèle de prédictions TA à VS, (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 33.</b> Distribution spatial de modèle de prédictions TA à SSS, (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 34.</b> Distribution spatial de modèle de prédictions SSS à VS. (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale. _____	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

**Figure 35.** Distribution spatiale de modèle de prédictions SSS à TA. (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Figure 36.** Distribution spatiale de modèle de prédictions TA à VS. (a) probabilité moyenne (P) et (b) Incertitude spatiale. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Répartition des entités de l'occupation du sol de la zone steppique en 2012 (ha). _____	30
<b>Tableau 2.</b> Régime saisonnier de la zone steppique de la wilaya de Tiaret. _____	33
<b>Tableau 3.</b> Situation bioclimatique de la zone d'étude. _____	37
<b>Tableau 4.</b> Coefficient de transformation pour les bandes de réflectance. _____	52
<b>Tableau 5.</b> Résumé des combinaisons de prédicteurs spectraux explorés lors de la procédure de classification. _____	54
<b>Tableau 6.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le premier modèle (bandes spectrales). _____	56
<b>Tableau 7.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le deuxième modèle (bandes spectrales et Tmoy). _____	57
<b>Tableau 8.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le troisième modèle (Tassled cap seul). _____	58
<b>Tableau 9.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le quatrième modèle (Tassled cap et Tmoy). _____	58
<b>Tableau 10.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le cinquième modèle (Indices spectraux). _____	59
<b>Tableau 11.</b> Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le sixième modèle (Indices spectraux et Tmoy). _____	60
<b>Tableau 12.</b> Présentation des conversions de $T_0$ à $T_1$ dans une matrice de transition. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 13.</b> Facteurs potentiels de changement de la zone de transition ____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 14.</b> Matrice de transition de la première période 1984-2003. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 15.</b> Matrice de transition de la deuxième période 2003-2017. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 16.</b> Degré et l'intensité de changement de l'occupation du sol de 1984-2017. <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 17.</b> Le pourcentage des transitions principales de la zone de transition de 1984-2017 __ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 18.</b> Superficie des Classes d'altitude de la zone de transition de la wilaya de Tiaret. __ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 19.</b> Classe de pente de la zone de transition. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 20.</b> Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X1 et X2 pour la période 1984-2003. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 21.</b> Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X3, X4, et X5 pour la période 1984-2003. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 22.</b> Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X6 pour la période 1984-2003. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 23.</b> Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X7 pour la période 1984-2003. _____ <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	

**Tableau 24.** Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X1, X2 pour la période 2003-2017. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 25.** Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X3, X4, X5 pour la période 2003-2017. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 26.** Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X6 pour la période 2003-2017. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 27.** Résultats de la régression logistique binaire de la variable indépendante X7 pour la période 2003-2017. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 28.** Evaluation de la qualité des six modèles de prédictions. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 29.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de VS à TA. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 30.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de TA à VS. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 31.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de TA à SSS. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 32.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de SSS à VS. \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 33.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de SSS à TA \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

**Tableau 34.** Probabilité moyenne (P) des changements principaux de 25 modèles pour la transition de TA à VS \_\_\_\_\_ **Erreur ! Signet non défini.**

# Table des matières

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Partie A : Etat de l'art</i>	5
<b>Chapitre 01 : Aperçu sur la télédétection</b>	6
Introduction	6
1. Fondement physique de la télédétection	6
1.1 Rayonnement électromagnétique	6
1.2 Domaine du spectre électromagnétique (SEM)	7
1.3 Interaction rayonnement-matière	7
2. Système d'observation	9
2.1. Capteurs	9
2.2. Vecteurs	10
3. Traitement et prétraitement des images satellitaires	11
3.1. Acquisition et sélection des données de télédétection	11
3.2. Prétraitement des données	11
3.3. Traitement des données	12
3.4. Post-traitement des données de télédétection	14
Conclusion	14
<b>Chapitre 02 : Aperçu général sur les espaces steppiques</b>	16
Introduction	16
1. Principales formations steppiques du Nord de l'Afrique	16
2. La steppe Algérienne	17
2.1 Caractéristiques de la steppe Algérienne	19
2.2 Etat de la steppe algérienne	20
<b>Chapitre 03 : Présentation générale de la zone d'étude</b>	22
Introduction	22
1. Délimitation de la zone d'étude	22
1.1 Délimitation géographique	22
1.2 Délimitation administrative	23
1.3 Délimitation phytogéographique	24
2. Description du milieu physique	25

2.1.	Géologie	25
2.2.	Lithologie	26
2.3.	Hydrologie	27
2.4.	Végétation et occupation du sol	28
3.	Aspect climatique	31
3.1.	Données météorologiques	31
3.2.	Synthèse climatique	35
4.	Aspect socio-économique	38
4.1.	Evolution de la population	38
	Conclusion	39
<i>Partie B : Classification annuelle de l'occupation du sol de la zone de steppique de la wilaya de Tiaret de 1984-2017</i>		
		40
	Introduction	41
	Chapitre 1 : Matériels et Méthodes	44
1.	Matériel et Méthodes	44
1.1	Matériels et logiciels utilisés	44
1.2	Données utilisées	45
1.3	Méthodes	48
	Chapitre 2 : Résultats et Discussion	56
2.	Résultats	56
3.	Discussion	61
	Conclusion	63
<i>Partie C : Dynamique d'occupation du sol et analyse spatio-temporelle des facteurs de changement.</i>		
		Erreur ! Signet non défini.
	Introduction	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 1 : Matériels et Méthodes	Erreur ! Signet non défini.
1.	Matériels et Méthodes	Erreur ! Signet non défini.
1.1.	Données utilisées	Erreur ! Signet non défini.
1.2.	Méthode	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 2 : Résultats et Discussion	Erreur ! Signet non défini.
2.	Résultats	Erreur ! Signet non défini.
2.1	Etat de l'occupation du sol de 1984 à 2017	Erreur ! Signet non défini.
2.2	Dynamique d'occupation du sol	Erreur ! Signet non défini.
2.3	Identification des facteurs de changement des TP	Erreur ! Signet non défini.

<b>3. Discussion</b>	Erreur ! Signet non défini.
<b>Conclusion</b>	Erreur ! Signet non défini.
<i>Conclusion générale</i>	<b>64</b>
<i>Références bibliographiques</i>	<b>116</b>
<i>Annexes</i>	Erreur ! Signet non défini.

---

---

# *Introduction générale*

---

---

Plusieurs concepts et définitions de la zone de transition ont été identifiés dans le contexte de l'écologie et de la biogéographie. Selon (Ferro and Morrone, 2014), le concept de "zone de transition" en biogéographie n'est pas le même que celui d'écotone en écologie. La zone de transition présente une zone où les caractéristiques physiques, les conditions environnementales et les facteurs écologiques permettent la coexistence et le mélange de deux ou plusieurs composants biotiques, mais limitent également leur distribution mutuelle (Ferro and Morrone, 2014), elle peut se produire à différents niveaux de régionalisation biogéographique (les sous-régions, les provinces, et les districts). Ainsi, il peut y exister différents types de transitions géographiques (physiographiques, physionomiques et climatiques etc.) car les différents composants biotiques entrent géographiquement en contact avec les uns et les autres. En terme plus simple, c'est une zone qui marque un passage d'une forme, d'un état ou d'un lieu à un autre. Si nous avons deux entités ou composantes biogéographiques connectées, nous pouvons parler de transition ("Dictionary by Merriam-Webster," 2022). Alors que, la notion de zone de transition en écologie n'était appliquée qu'aux communautés végétales pour montrer les changements dans leurs structures et leurs compositions, mais après le concept a été étendu à des différentes échelles spatiales comme le signal Ferro, Morrone (2014) :

- **Echelle continentale** : La zone de transition se situe entre les grands biomes,
- **Echelle régionale** : Elle se définit entre les écosystèmes ou les régions écologiques.
- **Petite échelle** : Elle représente la zone où coexistent les communautés végétales locales et les micros habitats.

En 1991, **Holland, Risser** ont mis l'accent sur le sujet et ils ont défini les «écotones» comme "*Zones de transition entre systèmes écologiques adjacents, ayant un ensemble de caractéristiques uniques définies par l'espace et les échelles et par la force des interactions entre les systèmes écologiques adjacents*". Selon (Di Castri, 1988; Odum, 1971), les écotones possèdent une superficie plus étroite que les communautés voisines et ils sont dynamiques à une échelle de temps; en d'autres termes ils peuvent disparaître et apparaître dans un endroit précis, avec un taux de changement rapide.

Cet ensemble de concepts nous permet d'appréhender d'une manière générale la steppe et plus particulièrement la steppe de la wilaya de Tiaret.

La présente étude se veut une contribution technique pour la caractérisation des tendances d'évolution de ces espaces sensibles et complexes. Elle doit répondre à une série de préoccupations qui peuvent être résumées comme suit.

- *Quelles sont les méthodes et les outils les mieux adaptés pour identifier les caractéristiques de l'occupation du sol dans les régions arides et semi-arides à des échelles spatio-temporelles ?*

- *Quelles sont les tendances récentes de la dynamique d'occupation du sol de la zone de transition steppique dans la région d'étude ?*

- *Quels sont les principaux changements résultant de la dynamique d'occupation du sol qui permettent d'évaluer à court terme et à long terme l'état passé et actuel de la zone de transition steppique de la région d'étude ?*

- *Quels sont les facteurs à l'origine du changement d'occupation du sol et comment ces changements peuvent être modélisés spatialement ?*

L'objectif principal de cette étude est d'identifier en détail les variations spatio-temporelles de l'occupation du sol en utilisant des outils et des méthodes modernes, qui nous permettront d'évaluer l'état passé et actuel de la zone de transition steppique de la wilaya de Tiaret. Ceci, nous conduit à traiter trois objectifs qui sont :

- La reconstitution de la distribution spatiale annuelle des types d'occupation du sol, en appliquant une méthode cartographique appropriée, qui capture les spécificités spatiales de la zone d'étude à l'échelle régionale.
- L'évaluation du degré de changement et mise en relief statistiquement et spatialement des différentes transitions principales de la zone d'étude.
- La détermination de la relation directe entre les facteurs possibles du changement et les transitions principales à travers une modélisation statistique et spatiale.

Pour réaliser ses objectifs, nous nous sommes appuyés sur une étude bibliographique, qui nous a permis d'identifier le statut et les enjeux environnementaux et socio-économiques de la zone de transition steppique de la wilaya de Tiaret. Elle a été étayée par une approche méthodologique basée sur la télédétection. Cette dernière, de par sa capacité à couvrir de vastes territoires et à fournir des images satellitaires claires, demeure un outil de caractérisation et d'observation exceptionnel pour l'analyse des changements de l'occupation des sols et la gestion des ressources naturelles. (Corgne, 2014; El Hadani, 1997).

Dans le cadre de cette étude, on a tenté de développer une méthode appropriée en utilisant les séries temporelles de l'imagerie satellitaire Landsat et ses dérivés de 1984 à 2017. Ceci pour obtenir des résultats d'une nette précision, afin de définir et d'analyser les différentes étapes de l'évolution de la zone de transition des deux Atlas tellien et saharien de

la wilaya de Tiaret.

Afin de mener à terme ce travail, nous avons adopté la démarche suivante :

**La première partie** englobe trois chapitres bibliographiques, à savoir :

- Chapitre 01 : Aperçu sur la télédétection.
- *Chapitre 02* : Aperçu général sur les espaces steppiques.
- *Chapitre 03* : Présentation générale de la zone d'étude.

**La deuxième partie** est consacrée à la classification annuelle de l'occupation du sol de la zone de transition durant la période 1984-2017. Elle se compose de deux chapitres essentiels :

- *Chapitre 01* : Mise en relief des outils et de la méthode appliquée pour l'obtention des cartes d'occupation du sol de la zone de transition.
- *Chapitre 02* : Présentation des résultats obtenus et détermination de l'importance des bandes spectrales de l'imagerie satellitaire Landsat.

**La troisième partie** porte sur l'étude de la dynamique d'occupation du sol et l'identification des facteurs de changement. Elle englobe également deux chapitres :

- *Chapitre 01* : Présentation des deux méthodes élaborées respectivement pour la détection du changement, et la reconnaissance de ses facteurs.
- *Chapitre 02* : Résultats obtenus respectivement par l'étude de la dynamique d'occupation du sol et de modélisation statistique spatiale.

Enfin, et pour conclure on a élaboré une synthèse des résultats obtenus, avec une perspective d'amélioration de la gestion des zones de transitions steppiques pour la sauvegarde de ces écosystèmes sensibles et leur amélioration.

---

---

*Partie A : Etat de l'art*

---

---

## Chapitre 01 : Aperçu sur la télédétection

---

---

### Introduction

Ce chapitre est consacrée à l'appréhension de la notion de "télédétection", terme qui a prit naissance au début des années 1960, il est souvent limité à tort uniquement à l'imagerie satellitaire de la surface terrestre (Mårtensson, 2011; NCERT, 2021).

D'une manière générale, elle constitue un ensemble de connaissances et de techniques qui permet de déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'objet par des mesures effectuées à distances, sans liens direct avec eux (CGTN, 2013).

La télédétection relève d'un domaine technique moderne de haute technologie en perpétuel progressives (Cavayas, 2010). Elle joue un rôle prépondérant dans la gestion du patrimoine naturel, en répondant aux besoins en informations sur l'environnement terrestre (Bouacha, 2019).

Dans ce chapitre et pour consolider l'aperçu général de la télédétection, il est fait appel aux propriétés physiques, aux différentes interactions de l'énergie-matière, aux différents outils d'exploration, aussi qu'aux méthodes de prétraitement et traitement appliqués, dont l'effet est de faciliter l'interprétation des différentes images satellitaires.

### 1. Fondement physique de la télédétection

#### 1.1 Rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique (REM) est considéré comme un déplacement de particules élémentaires, représentant une quantité d'énergie transportée par une onde électromagnétique (Kergoumard, 2000). Cette dernière est caractérisée par trois grandeurs physiques : longueur d'onde, la période (T), et la fréquence ( $\nu$ ) (Bonn and Rochon, 1992) (Voir annexe 01).

- **Longueur d'onde** : c'est une mesure de la distance entre deux cycles consécutifs d'une onde,
- **La période (T)** : représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde,
- **La fréquence ( $\nu$ )** : est l'inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps.

## 1.2 Domaine du spectre électromagnétique (SEM)

Le spectre est défini comme étant la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leurs longueurs d'onde, de leurs fréquence ou bien encore de leurs énergie (Girard and Girard, 1999). Il se divise en diverses régions, à savoir : rayons gamma, rayons X, ultraviolet, lumière visible, infrarouge, micro-ondes et ondes radio (Kairu, 1982).

En télédétection, les principaux domaines du SEM utilisés sont les domaines de la lumière visible, de l'infrarouge réfléchi et émis, et les régions des micro-ondes. Ce rayonnement est mesuré dans des bandes dites spectrales. Les bandes spectrales sont définies comme des intervalles discrets du SEM (Kairu, 1982) (Voir annexe 02).

## 1.3 Interaction rayonnement-matière

Lorsque le REM est en contact avec la surface de la matière, trois importantes actions se produisent : l'absorptance, la réflectance et la transmittance; leurs intensités dépendent généralement de la nature de la matière (Jacquemoud, 2008; Mouissa, 2013).

**Absorptance** : c'est tout corps dont la température est supérieure à 0 °K (-273 °C), qui émet un REM. Il peut absorber une partie de l'énergie, et à cet effet elle est définie comme le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie incidente.

**Transmittance** : on parle d'un rayonnement transmis, lorsqu'une partie du rayonnement incident passe à travers un milieu, elle se définit comme le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie incidente.

**Réflectance** : c'est tout corps recevant une certaine quantité de REM peut en refléter une partie. Elle se définit comme le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente. Selon (Le Moal, 2013), il existe deux types de réflexions :

- 1) Réflexion spéculaire : c'est toute énergie incidente redirigée dans une même direction, elle se produit sur une surface plane ou extrêmement lisse.
- 2) Réflexion diffuse : se développe sur une surface rugueuse où l'énergie incidente est réfléchie d'une façon uniforme dans toutes les directions.

### 1.3.1 Comportements spectraux

L'interaction rayonnement matière est l'une des bases de l'interprétation des images de télédétection. Selon (Girard and Girard, 2010), il faut distinguer entre la notion "signature" et le comportement "spectral" qui présente *" un objet à un moment donné, dans une position géographique donnée, vu sous un angle donné et recevant*

***un rayonnement donné, présente un comportement spectral, propre à lui***". Donc il varie suivant le temps, le lieu, le mode de saisie de l'information et du rayonnement incident or une signature spectrale laisse supposer qu'elle est une mesure constante, elle permet de distinguer entre les types d'occupation du sol. Parmi les principaux types de surfaces terrestres caractérisés par des variations importantes de la réflectance selon la longueur d'onde sont : la végétation, les sols et l'eau.

#### **1.3.1.1 Végétation**

Selon (Soudani, 2005) Plusieurs facteurs affectent les propriétés spectrales de la végétation parmi eux, les propriétés optiques des feuilles qui varient entre le stade juvénile et celui de la sénescence. Au cours de ce temps, on a la disparition des pigments chlorophylliens et l'apparition des pigments bruns. Dans ce cas, le comportement spectral se traduit par l'augmentation de la réflectance dans le visible et une réduction de la réflectance dans le proche infrarouge (PIR) (voir Annexe 01).

#### **1.3.1.2 Sol**

La réflectance des sols est une courbe uniformément croissante dans les régions visibles et PIR, elle se distingue très fortement de la réflectance des végétaux chlorophylliens (Girard and Girard, 2010). Les paramètres qui influent sur les propriétés optiques du sol sont : la composition minérale, la teneur en eau, en matière organique et la rugosité de la surface, qui présente des effets dans toutes les bandes spectrales (Visible et PIR). En effet, plus les particules d'un sol donné sont fines, plus la réflectance est élevée (Soudani, 2005).

Concernant la teneur en eau, lorsque l'humidité augmente, la couleur des sols humides dans une image thermique infrarouge est plus sombre que celle des sols secs, donc la réflectance diminue pour toutes les longueurs d'onde (Navalgund, 2001) (Voir annexe 01).

#### **1.3.1.3 Eau**

Selon (Pouchin, 2001) , le comportement spectral de l'eau dépend principalement de sa pureté et des particules en suspension (alluvions, algues). Pour l'eau pure, le phénomène intervient dans le visible est la diffusion et l'absorption relève du domaine de l'infrarouge.

La diffusion sera très importante dans les longueurs d'ondes (0,5 mm) et diminuera avec l'allongement de leur longueur d'ondes.

L'absorption est minimale vers 0,5 mm, elle augmente pour atteindre le total dans le PIR et le moyen infrarouge.

## **2. Système d'observation**

On peut classer les systèmes d'observation en télédétection en deux catégories, les capteurs et les vecteurs.

### **2.1. Capteurs**

Les capteurs sont des instruments qui permettent de recevoir le rayonnement qui émane du sol, dans une certaine gamme de longueur d'ondes pour le transformer en signal par mémorisation de l'information (Scanvic, 1983). Ils sont associés aux détecteurs qui constituent la partie sensible aux rayonnement (Mukonki, 1980).

#### **2.1.1 Type de capteurs**

En télédétection, les capteurs sont souvent classés en capteurs actifs et passifs (Mouissa, 2013). Ces deux capteurs se distinguent par leurs comportements vis à vis des phénomènes météorologiques et naturels (Centre canadien de télédétection, n.d.; Jacquemoud, 2008; Mouissa, 2013)

- 1) Capteur actif : il génère généralement son propre signal, il est mesuré ensuite lorsqu'il est réfléchi par la surface de la terre tels le LIDAR et le Radar.
  - Le LIDAR émet dans le domaine de l'optique.
  - Le Radar émet dans le domaine hyperfréquences.

Ces deux instruments sont composés d'un générateur et d'un récepteur de signaux. Ils ne sont pas affectés par les conditions météorologiques. Ce sont des systèmes qui sont adaptables à toute saison.

- 2) Capteur passif : il mesure l'énergie solaire, qui est réfléchi ou émise par des éléments à la surface de la terre. La plupart des capteurs passifs fonctionnent dans les parties visibles et infrarouges du SEM. Ils sont susceptibles aux conditions météorologiques et la couverture nuageuses.

On retient à titre d'exemples la photographie, les capteurs passifs multispectrales, les capteurs passifs hyperspectrales et les capteurs à micro-ondes (Congalton, 2010).

### 2.1.2 Résolution de détection passive

La résolution est l'une des caractéristiques qui définit l'utilisation et les propriétés des données d'un capteur, elle représente la distance minimale entre deux objets qui peuvent être identifiés dans l'image (Gibson and Power, 2000). En télédétection, la résolution peut varier en fonction de l'orbite du satellite et de la conception du capteur (Jacquemoud, 2008). Il existe quatre résolutions principales (Congalton, 2010), à savoir :

- 1) **La résolution temporelle** : elle est définie par la fréquence à laquelle une région est imagée par un dispositif de télédétection particulier. La résolution dépend de l'orbite, des caractéristiques du capteur et de la largeur de fauchée.
- 2) **La résolution spatiale** : correspond à la taille du plus petit élément d'une image (le pixel), qui présente une zone bidimensionnelle détectée par le dispositif de télédétection.
- 3) **La résolution radiométrique** : elle détermine la plage numérique des valeurs de luminosité pour laquelle la réponse spectrale d'un pixel est enregistrée. Ces données sont stockées dans un ordinateur sous forme de bits et d'octets (nombres).
- 4) **La résolution spectrale** : correspond à la capacité du capteur à distinguer les longueurs d'ondes plus fines, c'est-à-dire des bandes plus nombreuses et plus étroites.

## 2.2. Vecteurs

Un vecteur est utilisable en télédétection, s'il permet de placer un capteur sur une plate-forme distante de la surface ou de la cible observée, qui par définition, un véhicule spatiale, aérien ou terrestre capable de porter un capteur (Jacquemoud, 2008; Mukonki, 1980).

### 2.2.1. Satellites d'observation

Les satellites d'observation en orbite autour de la terre, assurent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre (Chorwicz and Derouin, 2003), ils sont de trois types :

- 1) Satellites d'observation en orbite géosynchrone Orbites géosynchrones : ce sont des satellites géostationnaires avec une inclinaison nulle par rapport à l'équateur, ils circulent à une altitude de 36.000 km ou 42.164 km du centre de la terre telle que les satellites METEOSAT et GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite).

- 2) Satellites d'observation en orbite subéquatoriale : ils circulent à une altitude entre 250 et 450 km tel que Skylab (430 km), Soyouz (250 km)...etc.
- 3) Satellites d'observation en orbite héliosynchrone subpolaire : ce sont des satellites à défilement, ils se déplacent et balayent toute la terre à une vitesse d'environ 7 km/s par rapport à la surface de la terre, c'est le cas des satellites SPOT, RADARSAT et LANDSAT.

### **3. Traitement et prétraitement des images satellitaires**

Ils consistent à convertir et traiter les données numériques (Images satellitaires) afin d'extraire des informations sous forme d'une carte thématique. L'analyse des données numériques est réalisée en plusieurs étapes (Lu and Weng, 2007), essentiellement on a :

- Acquisition et sélection des données de télédétection,
- Prétraitements des données,
- Traitement proprement dit des données,
- Post-traitement des données de télédétection.

#### **3.1. Acquisition et sélection des données de télédétection**

La sélection des données de télédétection est une étape très importante pour réussir une classification, pour atteindre un objectif précis. Cela nécessite une compréhension approfondie des types de données des capteurs (Congalton, 2010; Lu and Weng, 2007). Par ailleurs, le choix des données de télédétection dépend de plusieurs facteurs (Lu and Weng, 2007), à savoir :

- Le but de la recherche,
- L'échelle et les caractéristiques de la zone d'étude,
- La disponibilité des différentes données images et leurs caractéristiques,
- L'expérience de l'analyste dans le domaine de la télédétection.

#### **3.2. Prétraitement des données**

Les opérations de prétraitement, parfois nommées rectification et restauration d'images sont effectuées pour corriger les distorsions géométriques, radiométriques, atmosphériques, et topographiques de la zone d'observation (Lu and Weng, 2007).

### **3.2.1 Correction géométrique**

Cette étape consiste à localiser chaque pixel de l'image dans le système de coordonnées du terrain et de ré échantillonner l'image dans une grille uniforme pour supprimer ou réduire les effets des variations d'attitude et d'altitude. Lors de l'utilisation des données de télédétection provenant de différentes sources ou formats, la correction géométrique permet de préciser les données de télédétection, indispensable à l'étude avant de pouvoir les intégrer les différentes données source du processus de classification (Kardoulas et al., 1996).

### **3.2.2 Correction atmosphérique**

La correction atmosphérique supprime les effets de diffusion et d'absorption de l'atmosphère. Elle devient obligatoire dans le cas des images multi-temporelles ou multi-capteurs, et elle s'avère négligeable quand on a une seule image à classer (Congalton, 2010).

### **3.2.3 Correction radiométrique**

La correction radiométrique permet de diminuer et de compenser la différence de l'évaluation solaire entre les différentes dates de prise de vue et de la différence dans le calibrage du capteur (DESHAYES and MAUREL, 1990).

### **3.2.4 Correction topographique**

Elle a une relation avec les caractéristiques de la zone d'étude, on peut l'appliquer pour des régions accidentées ou montagneuses (Singh et al., 2012).

## **3.3. Traitement des données**

### **3.3.1 Classification**

La classification est le noyau essentiel du traitement des images. Traditionnellement, elle est basée sur le regroupement et le classement des pixels qui représentent la réponse spectrale moyenne pour chaque objet, qui apparaît sur la surface. Elle est utilisée comme une mesure de qualité discriminatoire des bandes spectrales et temporelles des images. (Ducrot, 2005).

### 3.3.1.1 Méthodes de classification

Le choix d'une méthode de classification adaptée aux objectifs de recherche est une étape difficile, elle dépend de plusieurs facteurs qui doivent être pris en compte lors du choix d'une classification, tels que la résolution spatiale des données de télédétection, la source de données, l'ensemble des échantillons de formation et le logiciel de classification (Lu and Weng, 2007). Il existe différentes méthodes de classification (Congalton, 2010), dont les principales sont :

- **Classification supervisée et non supervisée** : la classification supervisée repose généralement sur une procédure semi-automatique qui inclut des connaissances à priori dans les processus de construction des classes sous forme d'échantillon d'apprentissage (Quirin, 2002). Tandis que, la classification non supervisée est utilisée dans le cas où on ne dispose pas d'information a priori sur la zone, ou quand on ne souhaite pas exploiter les données dans la phase initiale d'analyse (Caloz and Collet, 2001; Candillier et al., 2004). Dans le cadre de cette dernière classification, le classement des pixels est effectué uniquement selon le critère de la ressemblance spectrale, l'étiquetage thématique s'effectue après l'identification des classes spectrales (Congalton, 2010).
- **Approches combinées** : elle consiste en la combinaison de deux classifications ou plus, pour rendre le résultat de la classification plus précis (Congalton, 2010).
- **Approches avancées** : les méthodes avancées ont été développées pour améliorer un peu plus la précision de la classification. Il existe plusieurs catégories d'approches avancées (Voir annexe 01), dont on a choisi de dévoiler les caractéristiques des deux classificateurs (Réseau Neuronal Artificiel et Machine à Vecteur de Support) qui appartiennent à la classe des algorithmes par pixels.

#### 1) Réseaux neuronal artificiel (ANN : *Artificial Neural Network*) :

La méthode de ANN pour la classification des images est utilisée depuis des décennies (Mahmon and Ya'acob, 2014). Elle est composée d'un ensemble de nœuds (neurones) reliés par des liens, répartis en trois couches au moins, que sont : la couche d'entrée, la couche de sortie et la ou les couches intermédiaires.

Les données d'apprentissage servent à créer un modèle qui crée des pondérations pour les couches intermédiaires afin étiqueter les pixels inconnus. Comme avantage, cette approche a généralement de meilleures performances (Lingmin He et al., 2006), mais elle est sujette à un excès de données et reste d'une complexité inutile (Congalton, 2010).

## 2) *Séparateur à Vaste Marge (S.V.M : Support Vector Machines) :*

SVM a été proposé pour la première fois par Vapnik en 1992, elle est issue du domaine de la théorie de l'apprentissage statistique, Son principe de fonctionnement est de projeter les données d'apprentissage dans un espace particulier. Ces données ont une dimension plus élevée que les données d'entrée de manière non linéaire. Cette projection est effectuée à l'aide d'une fonction noyau, elle produit un ensemble de données qui peut désormais être séparé de manière linéaire. La possibilité de séparer les différentes catégories d'informations dans une image est un avantage considérable (Mountrakis et al., 2011). Comme ANN, SVM est sujet à un excès de données. Cependant, ce problème peut être minimisé par les techniques d'analyse (Congalton, 2010).

- **Approches basées sur les objets :** Cette méthode a été développée pour pallier aux limites des méthodes basées sur les pixels, où le terme objet fait référence à un ensemble adjacent de pixels. En général, cette approche repose sur l'utilisation d'un algorithme de segmentation d'image. Cette approche s'effectue en deux étapes (Congalton, 2010; Liu and Xia, 2010) :

- Segmentations de l'image en objets spectralement homogène.
- Classification de chaque objet individuellement en fonction des propriétés statistiques des pixels qu'il contient. En d'autres termes tous les pixels d'un segment appartiennent à une classe, ce qui exclut la variabilité spectrale intra-champ et les problèmes de pixels mixtes associés aux méthodes basées sur les pixels

### 3.4. **Post-traitement des données de télédétection**

Chaque technique appliquée après le processus de classification est considérée comme un traitement post classification. Bien que certaines étapes de prétraitement puissent être effectuées en post classification comme le filtrage majoritaire en raison de la complexité de l'environnement biophysique ou la mise en œuvre des corrections géométriques pour un recalage. (Lu and Weng, 2007).

## **Conclusion**

La connaissance des fondements physiques de la télédétection permet de comprendre les caractéristiques des différents systèmes d'acquisition des données de télédétection. Ils permettent une meilleure observation de la terre et fournissent un complément d'information, qui facilite la classification et l'analyse des images

satellitaires. Ces dernières permettent l'utilisation des diverses méthodes de traitement, en suivant plusieurs processus qui rendent les informations obtenues exploitables, relativement aux objectifs fixés.

L'imagerie de télédétection fournit des données continues sur la réponse spectrale de plusieurs types d'occupation du sol dans le monde. La télédétection est une discipline complète avec des méthodes et des ensembles de données robustes qui permettent la cartographie et la surveillance de la couverture terrestre.

## Chapitre 02 : Aperçu général sur les espaces steppiques

---

---

### Introduction

En géographie et selon (Fénelon, 1939), la steppe est une zone de transition entre la savane couverte d'une dense et haute végétation et le désert entièrement dénudé. Pour (Le Houérou, 1995), et de point de vue écologique, elle désigne des grandes étendues au relief peu marqué, couverte d'une végétation pérenne et clairsemée. Quant à l'écosystème steppique Aidoud, Le Floc'H, Le Houérou 2006 le décrivent comme un milieu très biodiversifié et, donc, très vulnérable qui n'offre que les conditions climatiques et édaphiques extrêmes pour l'établissement et le maintien de la végétation qui joue un rôle vital dans sa structure et son fonctionnement.

À l'échelle mondiale, on peut dire qu'il existe des zones steppiques à climat méditerranéen et non-méditerranéen. Ces types de zones steppiques occupent des superficies immenses, telle la zone steppique du nord de l'Afrique qui couvre une partie importante de la région méditerranéenne (Le Houérou, 1995). Elle se caractérise par une végétation basse, ouverte et réduite. Elle laisse apparaître des terres brunes ou grises. Les écosystèmes méditerranéens se différencient par la physionomie des plantes dominantes, de sorte que les principaux écosystèmes se distinguent en fonction de la taille de ces plantes (Aidoud, 2011). Classiquement et selon (Pouget, 2007), on relève plusieurs formations hétérogènes à savoir:

- Les formations forestières et de dégradation forestière,
- Les formations steppiques,
- Les jachères et cultures.

### 1. Principales formations steppiques du Nord de l'Afrique

D'après certains auteurs (Aidoud, 2011; Aidoud et al., 2006; Le Houérou, 1995), les formations végétales de la steppe découlent de la dégradation des formations forestières qui constituent une végétation primitive. Cette dégradation exprime une évolution régressive de la forêt. Cet état régressif de la forêt fait que les régions steppiques ne peuvent pas prétendre au statut de climax. D'après (Pouget 1980 ; Le Houérou 1995 ; Aidoud, Le Floc'H, Le Houérou 2006), les principales formations steppiques qu'on peut trouver dans le Nord de l'Afrique sont :

### - Les steppes graminéennes

Elles sont dominées par des graminées pérennes cespiteuses qui donnent lieu à la présence de plusieurs espèces telles que; La steppe à alfa (*Stipa tenacissima*), la steppe à sparte (*Lygeum spartum*), la steppe à *stipa spp*, la steppe à *Aristida spp*, la steppe à *Stipa grostis spp*, la steppe à *Hyparrhenia hirta*, et d'autres moins sociables telles que le drinn (*Stipagrostis pungens*), le zouaï (*Stipa lagascae*, *Stipa. barbata* ou *Stipa. parviflora*), le n'djem (*Cynodon dactylon*).

La steppe à Alfa et la steppe à Sparte sont les plus emblématiques et en même temps les plus vulnérables. La steppe à Alfa dans son état sain, elle s'installe dans des sols peu profonds et bien drainés, alors dans son état de dégradation, elle se maintient uniquement sur les cimes de glace raccordées aux djebels, contrairement à la steppe à sparte qui se développe sur des voiles sableux, accompagné par des plantes ligneuses basses telles que *Artemesia*, *Salsola*, et *Thymelaea*.

Elles jouent un rôle économique important surtout dans l'industrialisation. Elles sont utilisées respectivement dans la fabrication de papier de qualité et dans la fabrication artisanale ; malheureusement leurs usages a régressé à cause d'une dégradation sévère dûe à la surexploitation, au surpâturage, l'érosion et le défrichement.

### - Les steppes Chamaephytiques

Il s'agit de steppes organisées par arbrisseaux ou sous-arbrisseaux, Elles sont en formations pures ou mixtes. Elles présentent une grande variété représentée par : les steppes à l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), les steppes à "Zef-Zef" (*Helianthemem umhirtum spp*), les steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*), les steppes dégradées à "Chouprouk" (*Noaea mucponata*), les steppes à "Sarr" (*Atractylis serratuloïdes*), les steppes à armoise champêtre (*Artemisia campestris*).

### - Les steppes Crassulescentes

Elles représentent des espèces halophiles qui s'étendent sur des terrains salés donnant une apparence monospécifique ou sur des sols peu salés avec un aspect polytypique. Dans les steppes du nord de l'Afrique, on trouve les espèces crassulescentes suivantes : *Salsola tetrandra*, *Atriplex halimus*, *Suaeda vermiculata*.

## 2. La steppe Algérienne

La steppe algérienne apparaît comme une zone de transition entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, ces deux espaces influents sur la zone steppique en raison de leurs altitudes élevées et de leur orientation générale. Ces deux paramètres participent

généralement à la détermination des aspects physiques, géologiques, écologiques et climatiques de la zone steppique (Le Houérou et al., 1977).

Elle est située directement au sud des chaînes telliennes et au nord des chaînons les plus méridionaux de l'Atlas saharien. Elle s'étale sur une superficie de 20 millions d'hectares, avec une longueur de 1000 Kilomètres de l'est à l'ouest et une largeur variable de 300 kilomètres à l'ouest à 150 kilomètres à l'est **Figure 1** (Bencherif 2011; Boualem 2018).

Au niveau administratif, la steppe couvre partiellement douze wilayas, notamment : Biskra, Khenchela, El bayadh, Naama, Tiaret, Djelfa, Tebessa, Laghouat, M'sila, Saida, Batna et Souk ahras (Bencherif, 2011), et elle se divise en trois sous zones steppique (Bouacha, 2019), qui se présentent comme suit :

- **La steppe nord** : dite supérieure à cause de l'influence tellienne, elle est entre les isohyètes de 300 mm et 400 mm, elle constitue un secteur riche en biomasse végétale.

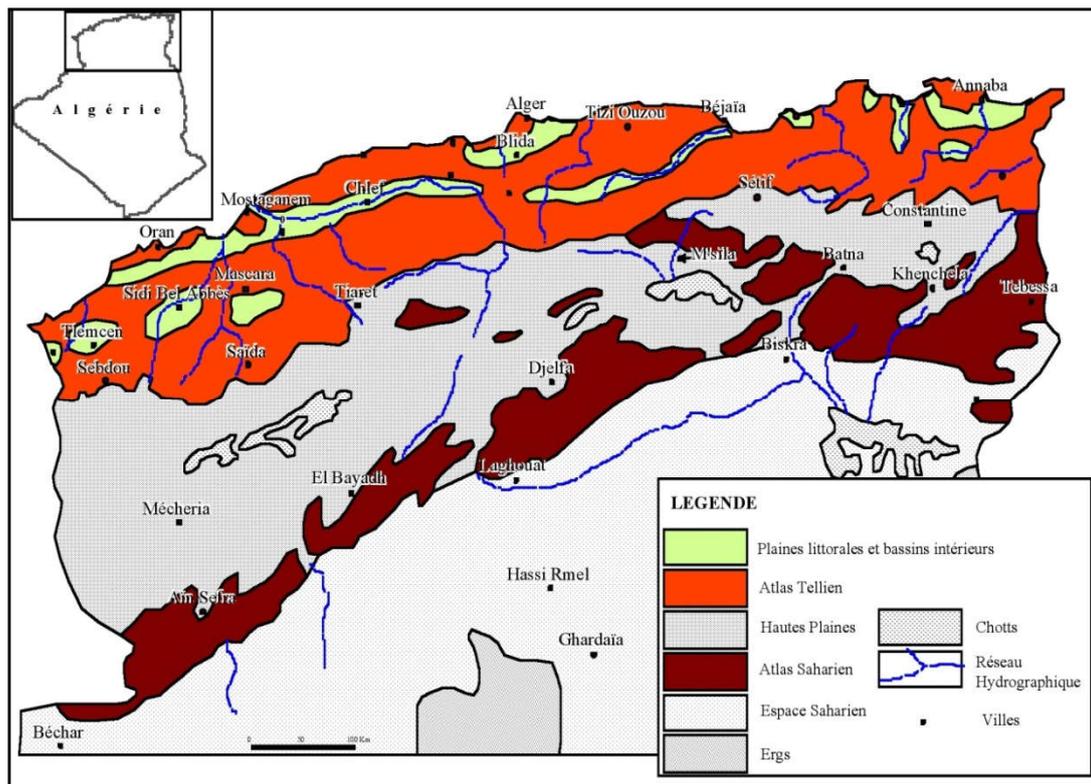


Figure 1. La situation de la steppe dans le Nord Algérien.

- **La steppe sud** : dite steppe chaude à cause de l'influence saharienne, elle est située entre les isohyètes 300 mm et 200 mm
- **La steppe présaharienne** : localisée au sud de l'Atlas saharien, elle est délimitée par les isohyètes 100 mm et 200 mm. Elle est caractérisée par un climat aride.

## 2.1 Caractéristiques de la steppe Algérienne

Les caractéristiques essentielles de la steppe algérienne sont de plusieurs ordres, ils sont synthétisés dans ce qui suit :

- **Climatiques**: selon (Le Houérou et al., 1977), les régions steppiques, baignent dans un climat méditerranéen avec une saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide. Les particularités climatiques de ces zones sont résumées comme suit :

- Le climat varie du semi-aride inférieur frais au nord à l'aride inférieur tempéré au sud ;

- Faibles précipitations avec variabilité inter-mensuelle et interannuelle élevée ;

- Des régimes thermiques de type continental, relativement homogènes, mais fortement contrastés.

- **Pédologiques** : les sols steppiques sont formés par des accumulations calcaires avec une faible teneur en matière organique. Leur porosité les rend vulnérables à l'érosion et à la dégradation (Nedjraoui and Bédrani, 2011). D'autres types de sols peuvent être trouvés, ils se révèlent fertiles pour la pratique de l'agriculture céréalière. On les retrouve sur les dépressions, les lits d'oueds, les dayas et les piémonts de montagnes (Nedjimi and Guit, 2012).

- **Hydrographiques** : les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et non maîtrisées. On compte 6500 points d'eau, dont plus de la moitié ne sont plus opérationnels ou exploités (Bedrani, 1995; Nedjraoui and Bédrani, 2011).

- **Socioéconomiques**: les paramètres socioéconomiques (population, élevage, agriculture) (Rebiha, 1983) peuvent être appréhendés à travers une échelle temporelle et spatiale, qui nous renvoie aux périodes précoloniale, coloniale et postcoloniale (Bencherif, 2011; Yerou, 2013).

1) **Phase précoloniale** : il s'agit de la période antérieure à 1830 dont le mode de vie est basé essentiellement sur le nomadisme, la majorité de la population détient la totalité du cheptel ovin, elle s'est engagée par la suite dans la pratique de l'agriculture céréalière

pour assurer sa subsistance. Socialement la population nomade est organisée en « arch », un concept qui renvoie à la tribu, le fonctionnement des archs est fondé et organisé sur la solidarité du groupe et sa cohésion.

2) **Phase coloniale** : C'est la période allant de 1830 à 1962, elle est marquée par l'anéantissement total de la société algérienne. Pour asseoir ses pouvoirs l'administration coloniale a procédé à la destruction de l'organisation en « Arch » des populations algériennes et leur substitue un regroupement dans des « douars » en communes. Les pouvoirs coloniaux s'attaquent aussi à la propriété collective des terres en établissant la propriété privée. Dans ce cadre l'enregistrement foncier des terres tribales a été imposé pour faciliter l'opération d'expropriation. Le nomadisme se réduit au profit de la sédentarisation.

3) **Phase postcoloniale** : Elle commence après l'indépendance du pays en 1962. Elle est marquée par plusieurs étapes successives avec des opérations différentes à savoir :

Période 1962-1970 : c'est la période de rupture avec la période coloniale, elle s'est traduite par la nationalisation des terres agricoles accompagnée d'un découpage administratif, ce qui a bouleversé l'organisation sociale sans prise en considération des limites territoriales des tribus.

Après 1970 : s'imposa à travers la révolution agraire la modernisation des exploitations agricoles traditionnelles, qui deviennent des domaines autogérés. Après des résultats peu probants de cette opération émergea alors d'autres actions telles que la révolution agraire, la restructuration et libéralisation, le plan national de développement agricole et rural, et la réorganisation et renouveau rural.

## 2.2 Etat de la steppe algérienne

Actuellement, la steppe algérienne subit une véritable dégradation qui entraîne une réduction du potentiel biologique et un déséquilibre écologique et socio-économique (Amrouni et al., 2021). Plusieurs auteurs comme (Aidoud et al., 2006; Khaldi, 2014; Le Houérou, 1995; Macheroum and Kadik, 2015; Mezrag, 2018; Moulay et al., 2011; Nedjimi and Guit, 2012; Nedjraoui, 2004; Nedjraoui et al., 2016; Nedjraoui and Bédrani, 2008; Wael et al., 2009) confirment le déclin marqué des ressources steppiques.

En 1985, les parcours dégradés ne représentent que 25 % de la superficie totale de la steppe. En 2000, ils passent à 37,5 % de la superficie totale de la steppe, soit 7,5 millions d'hectares (Nedjimi and Guit, 2012). Selon les statistiques officielles publiées

par le H.C.D.S (Haut-Commissariat au Développement de la Steppe) en 2005, les bons parcours ne présentent que 20 % de la superficie totale de la steppe, soit 3 millions d'hectares; contre 12 millions d'hectares de parcours dégradés et moyennement dégradés (Nedjraoui and Bédrani, 2008) .

Entre 1978 et 2003, la région steppique d'El Byod (Naâma) a connu une évolution régressive de la végétation steppique. Cette végétation est remplacée par d'autres espèces indicatrices de dégradation (Nedjraoui, Bédrani 2011; Nedjraoui et al. 2016.). Cette régression touche aussi les peuplements steppiques (*Lygeum spartum*, *Artemisia herba alba*) de la région de Hassi Mellah (Wilaya de Tlemcen). Entre 1991 et 2005, on assiste à l'émergence des espèces toxiques et pineuses comme *Atractylis serratuloides* et *Noaea mucronata*, respectivement (Benabadji et al., 2009) d'une part. Le même phénomène se déclare dans la steppe orientale de l'Algérie (Tébessa), où il y a une forte diminution de 73% de la végétation d'autre part (Macheroum and Kadik, 2015).

Le suivi de la dynamique d'occupation du sol de la steppe dévoile un ensemble de changements; d'une grande complexité, ces changements sont liés à des facteurs naturels et à des activités humaines (Chakali, 2021). Des températures de plus en plus élevées et des précipitations de plus en plus rares rendent précaire la situation. Durant ces dernières années, elles représentent des indicateurs annonciateurs avérés de sécheresse continue. L'ensemble des écosystèmes steppiques enregistrent une surexploitation des ressources pour le développement, due à la pression démographique, qui rend intense l'action humaine et qui conduit à la dégradation systématique des sols et de leurs réserves en eau (Cornet, 2002). Cet état est accompagné par l'émergence de problèmes écologiques très complexes tels que le processus de désertification et l'érosion des sols (Nedjraoui and Bédrani, 2011), l'envasement et la salinisation (Bouacha and Maatoug, 2018). Ces nuisances agissent négativement sur les aspects économiques et environnementaux du système steppique. Elles deviennent ainsi un obstacle à la fois à la conservation et au développement durable de la steppe. (Cornet, 2002).

---

---

## Chapitre 03 : Présentation générale de la zone d'étude

---

---

### Introduction

La wilaya de Tiaret est une région à vocation agro-pastorale. Elle occupe une position stratégique avec des caractéristiques économiques, géographiques, et écologiques diversifiées; selon (Duvignaud, 1992), la wilaya de Tiaret présente "*un espace de contact, d'échanges et de transit; un espace aux ressources faibles et menacées.*"

Elle regroupe plusieurs espaces composés de :

- La zone collinaire et montagneuse du nord,
- Les massifs forestiers de Sdamas et Elgada,
- La zone du Sersou,
- La zone steppique, qui accapare la moitié de la surface de la wilaya (un million d'hectares).

La zone steppique est l'objet de notre recherche. Ce choix est motivé par le manque d'études d'analyse d'occupation des sols, relatives à la situation actuelle de la steppe. Des études qui devraient expliquer les causes des mutations qu'a connues la steppe sur des échelles spatio-temporelles.

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter les caractéristiques physiques, climatiques, et socio-économiques de la zone de transition des deux Atlas tellien et saharien de la wilaya de Tiaret (la zone steppique).

### 1. Délimitation de la zone d'étude

#### 1.1 Délimitation géographique

La zone steppique est située au sud de la wilaya de Tiaret, elle offre un espace ouvert, qui rend difficile l'appréhension de ses limites entre l'atlas tellien et l'atlas saharien **Figure 2**. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre :

- 34° 47' 4.13"N, 35° 11' 58.18"N de latitude
- 1°38' 38.74", 1° 40' 53.67" de longitude.

Selon (Duvignaud 1992), la zone steppique regroupe plusieurs espaces, à savoir :

- Le Massif du Nador,

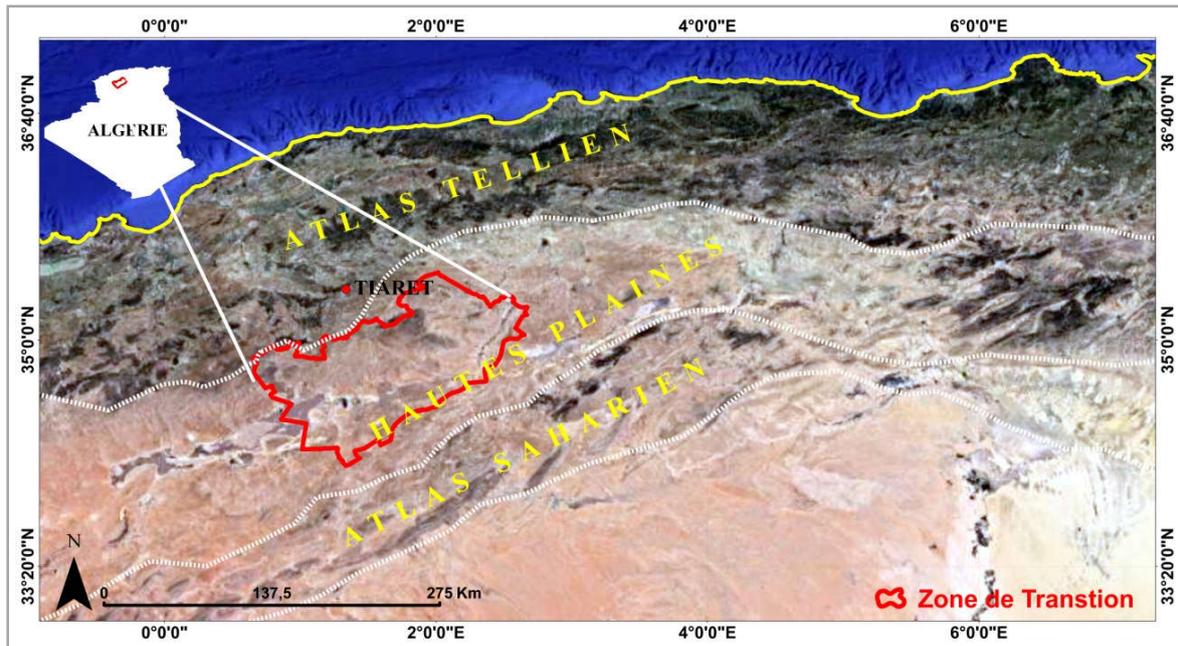


Figure 2. Localisation géographique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret.

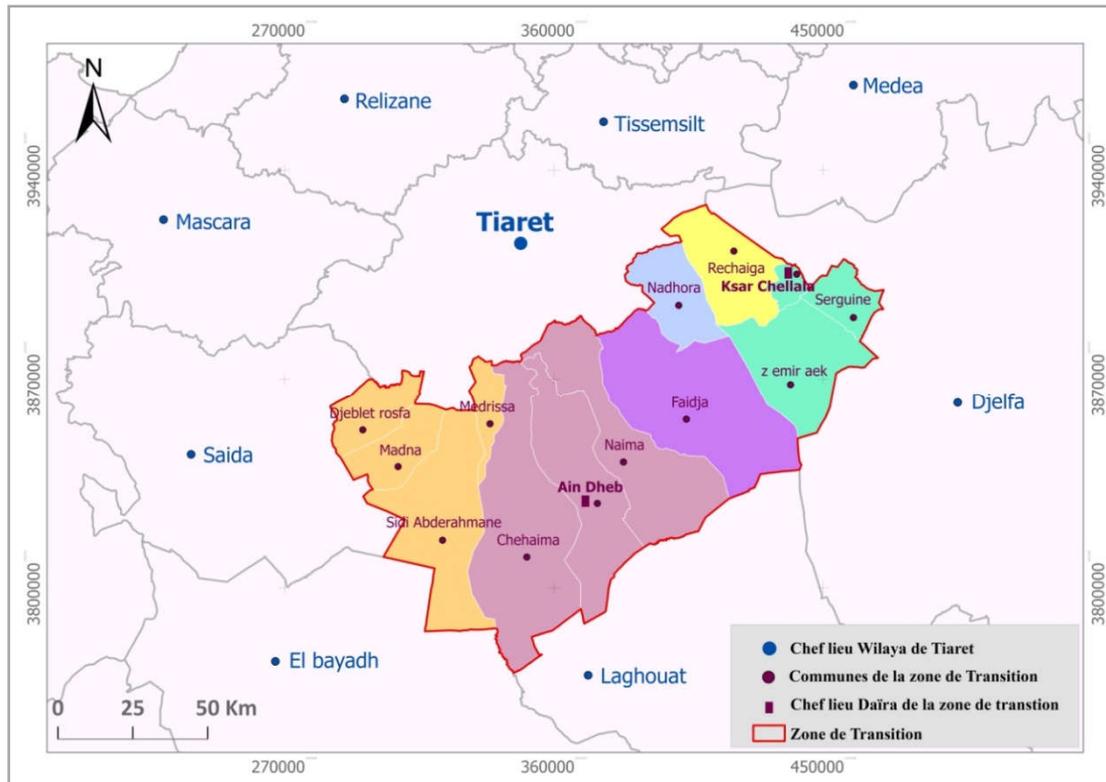
- La vallée de la Mina et de ses tributaires : (Medrissa, Sidi Abderahmane, Madna, Rosfa),
- Le secteur oued Sousslem, Rechaiga,
- Les vallées des oueds Touil, Ouahch et Sakni à écoulement vers l'est avec le secteur de Ksar Chellala, où des aménagements en irrigué ont été réalisés,
- La zone des expérimentations d'aménagement de la steppe,
- La zone périphérique du Chott Echergui, qui englobe le périmètre aménagé d'Ain skhouna et les sebkhas.

## 1.2 Délimitation administrative

Au point de vue administratif, et conformément au découpage administratif de 1984 (Tahraoui, 2011), la région d'étude est structurée en treize commune réparties en cinq daïras. Elles s'étalent sur superficie de 1.361.170 ha, soit 68% de la superficie totale de la wilaya de Tiaret **Figure 3**.

Elle est limitée respectivement par :

- Au nord, 09 communes de la wilaya de Tiaret se longent de l'ouest à l'est sur l'extrémité nord de la zone steppique à savoir : Takhmaret, Ain El hadid, Ain kermes, Frenda, Tounsina, Sougueur, Sidi Abdelghani, Ain Dzarit- Hamadia;
- Au sud-est et au sud-ouest, elle est limitée par la wilaya de Laghouat, El bayadh respectivement,



**Figure 3.** Situation administrative de la zone de transition de la wilaya de Tiaret.

- À l'est la wilaya de Djelfa,
- À l'ouest la wilaya de Saida.

### 1.3 Délimitation phytogéographique

De nombreux botanistes (Lapie 1909; Maire 1926; Quezel 1962 in Meddour 2010) ont divisé les territoires phytogéographiques de l'Algérie en diverses unités en fonction des formations géologiques, des données climatiques et de la végétation arborescente.

Tous ces travaux fournissent des informations utiles, mais imprécises comparativement aux travaux de (Meddour, 2010), dont les descriptions et les caractérisations des unités phytochorologiques révèlent l'appartenance de cette zone au domaine Maghrebo-steppien (domaine maghrébin steppique). Il englobe deux unités phytogéographiques : le secteur des hauts plateaux [H] et le district occidental-steppien (sous-secteur des hauts plateaux orano-algérois) [H1], qui se situe entre le sud des chaînes telliennes, et qu'on désigne par le vocable district atlassique Tiaréti-tlemcenien [O3] et le nord des chaînons les plus méridionaux de l'atlas saharien, représentés par le district atlassique Naili-amourien [AS2] **Figure 4.**

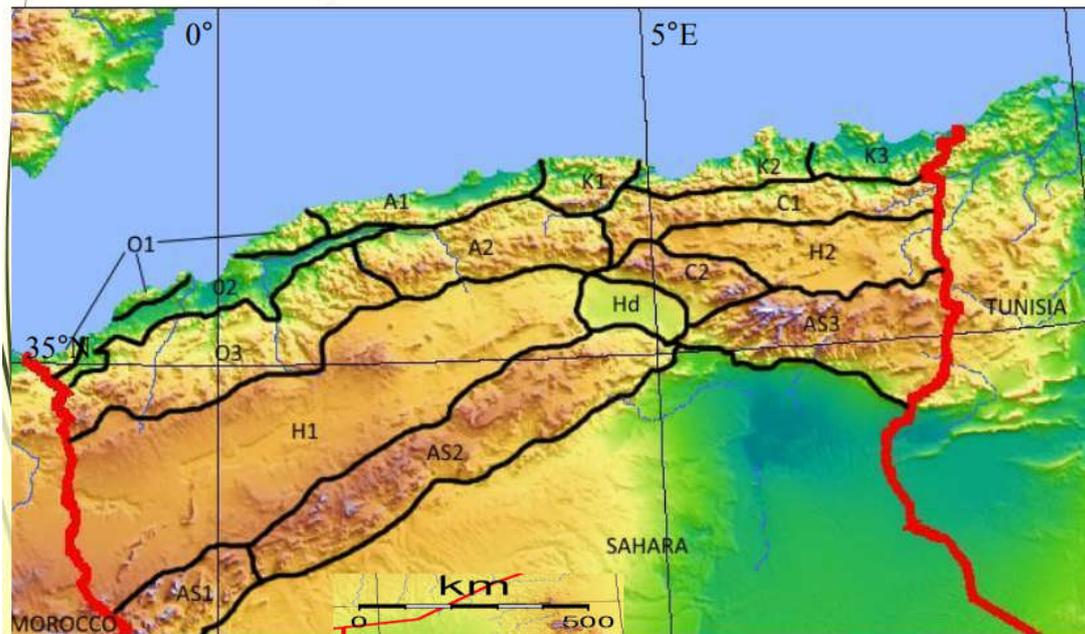


Figure 4. Situation phytogéographique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret.

## 2. Description du milieu physique

### 2.1. Géologie

La géologie est l'un des facteurs qui influence l'occupation et l'utilisation des sols. L'évolution du paysage d'une région est largement déterminée par les types de roches sous-jacentes et de leurs structures géologiques (Bhattacharya, 1983). Il est donc important de comprendre la géologie de la zone steppique. Dans notre cas et avec la rareté des cartes géologiques, nous avons jugé utile d'exposer des extraits de la carte géologique publiée par l'US Géological Survey réalisée en 1997 (Persits et al., 1997).

La zone de transition représente le domaine pré-Atlasique, elle est caractérisée essentiellement par de vastes étendus du *Jurassique Supérieur (Malm)* et du *Jurassique Inférieur (Lias)*. Elle abrite la partie sub-steppique et le massif du Nador.

On relève des formations du *Crétacé supérieur* et du *crétacé inférieur*, qui sont d'origine marine et continentale, faiblement plissées avec des épaisseurs réduites au niveau au nord et au sud du massif du Nador et au sud de la zone de transition Figure 5.

Aussi, on peut voir d'autres subdivisions stratigraphiques telles :

- Les formations *Tertiaires*, qui recouvrent en grande partie la zone d'étude,
- Les formations *quaternaires*, qui occupent les lacs, les dayas, chotts et la zone de l'oued Touil,
- La formation d'*Holocène*, du *Triasique* et du *Pléiocène*, qui reposent sur des séries du secondaire.

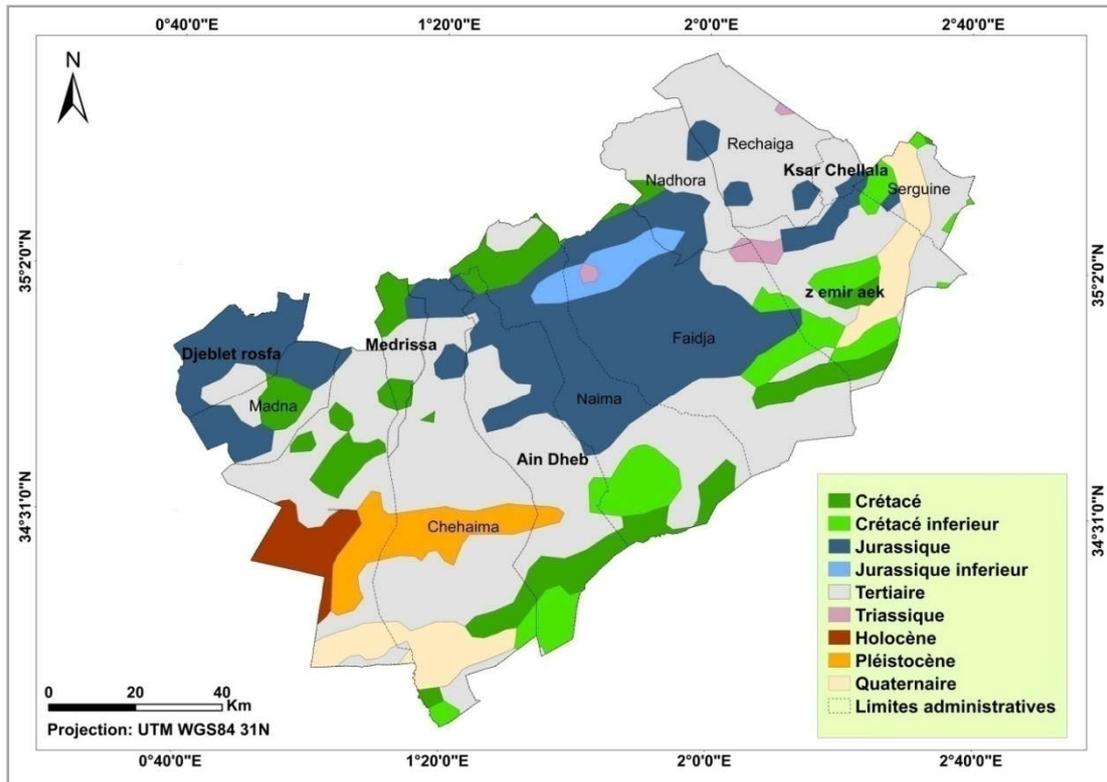
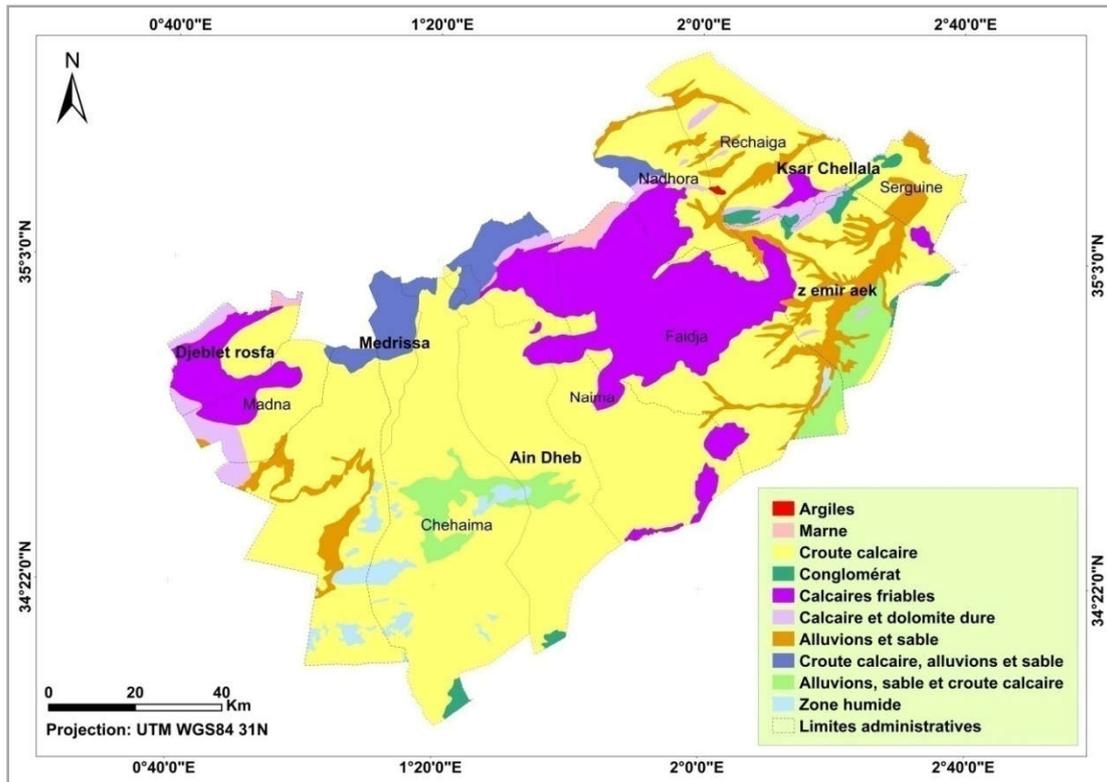


Figure 5. Carte géologique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret.

## 2.2. Lithologie

De point de vue lithologique, dans les zones semi-arides, 90% des sols contiennent du calcaire ou du gypse (sols calciques) qui reposent sur une croûte calcaire pulvérulente imperméable aux racines. *"Les sols calciques ne présentent qu'un seul horizon différencié peu épais. Ils sont plus ou moins riches en calcaire, leur complexe absorbant est saturé par l'ion Ca et leur pH est toujours compris entre 7 et 8. Ils contiennent des doses appréciables de matières organiques (entre 0,3 et 1 %), mais pas de sels solubles, l'ensemble donnant à leur horizon meuble une structure motteuse. Dans ces sols, le calcaire est surtout présent dans la fraction sableuse et n'intervient que peu dans leur dynamique"* (Benchetrit, 1955).

Relativement à la zone d'étude, la Figure 6, nous révèle que la zone steppique est dominée par des sols calcaires accompagnés par d'autres formations pédologiques, qui sont constituées d'alluvions et de sables; ces formations sont repérées dans la région du chott Chergui, Ksar Chellala et Oued Touil.



**Figure 6.** Carte lithologique de la zone de transition de la wilaya de Tiaret (Conservation des forêts de la wilaya de Tiaret, 2017 modifiée)

### 2.3. Hydrologie

Selon la Conservation des Forêts de la Wilaya de Tiaret (2017), la zone d'étude s'inscrit en majeure partie dans le bassin-versant du Chellif Zahrez avec six sous-bassins-versants et partiellement dans le bassin-versant des hauts plateaux Oranais. Ce dernier est subdivisé aussi en six sous bassins versants. Les deux bassins versant Chellif Zahrez et Oranais occupent les parties est et ouest, ainsi que la partie sud-ouest de la zone d'étude.

Les parcours steppiques se caractérisent par un réseau hydrographique irrégulier avec une densité plus faible par rapport au Nord de la wilaya de Tiaret. Cependant, il existe deux types de réseaux hydrographiques que sont :

- Les cours d'eau temporaires à écoulement irréguliers et ils se trouvent dans la majeure partie de la zone d'étude.
- Les cours d'eau permanents à écoulement régulier tels que les oueds Touil et Sousselem.

Par ailleurs, d'autres formations hydriques situées au sud-ouest de la zone d'étude, telles que les Chotts, chott Echergui et le Chott Zemel, sont mentionnés. Nous notons aussi l'existence de Dayat El Khadra, qui est un espace inondable, prisé par les populations agricoles en raison de son potentiel de rétention des eaux **Figure 7**.

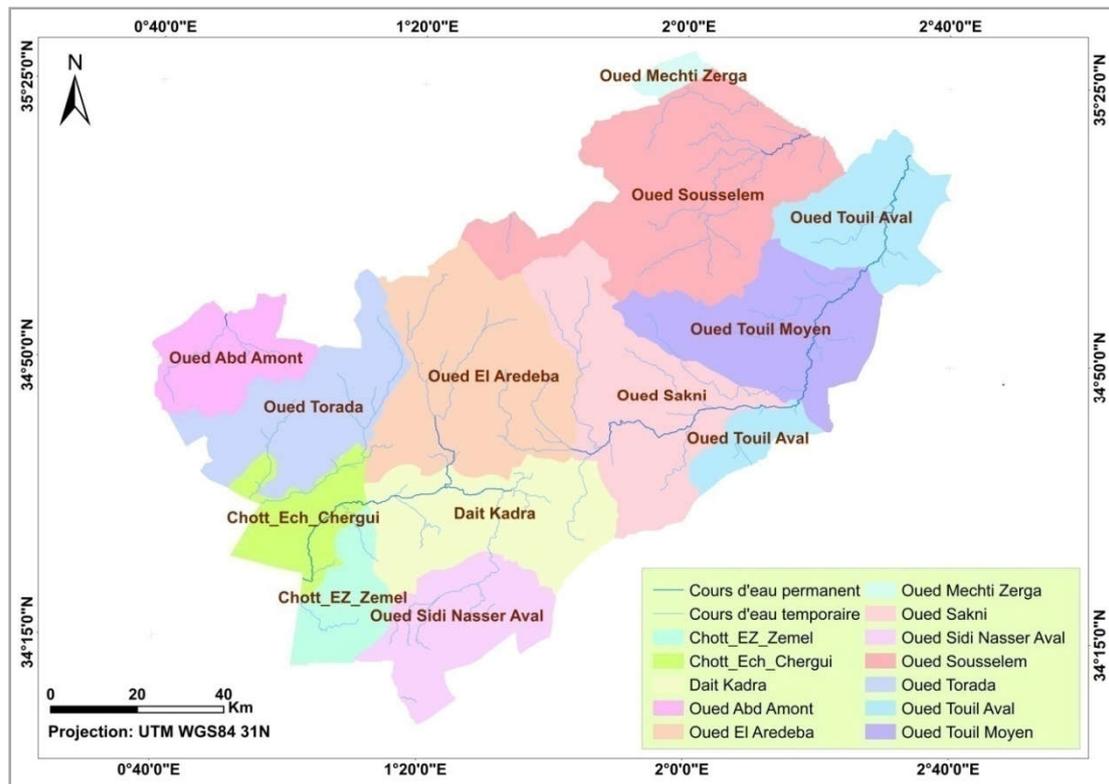


Figure 7. Carte du réseau hydrographique et les sous bassins versants de la zone de transition (Conservation des forêts de la wilaya de Tiaret, 2022 modifiée).

## 2.4. Végétation et occupation du sol

### 2.4.1 Végétation

Dans ce cadre, nous ferons recours à l'inventaire spatial de la végétation réalisé par le centre national des techniques spatiales et la direction générale des forêts en 2010 (Voir annexe 02), ceci à cause de l'inexistence d'inventaire spatial actualisé. Cet état de fait, nous permet d'avancer que nous sommes loin de maîtriser et de comprendre la steppe de la wilaya de Tiaret.

La région d'étude est caractérisée par la dominance de couvert végétaux à Alfa (*Stipa tenacissima*) et à Armoise blanche (*Artemisia herba alba*) avec une distribution spatiale irrégulière, il existe d'autres types de végétations telles que les groupements à halophytes avec une domination d'*Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata*, ce type de végétation domine le côté sud-est et principalement le lit d'oued Touil, et le côté sud-ouest en entourant le Chott Ech chergui. Selon (Ghezlaoui et al., 2011), cette végétation se trouve dans "des zones de salinité décroissante de l'intérieur vers l'extérieur. Ces espèces dont leur apparition est liée essentiellement à l'évaporation des eaux phréatiques qui déposent en surface les sels dont elles sont chargées".

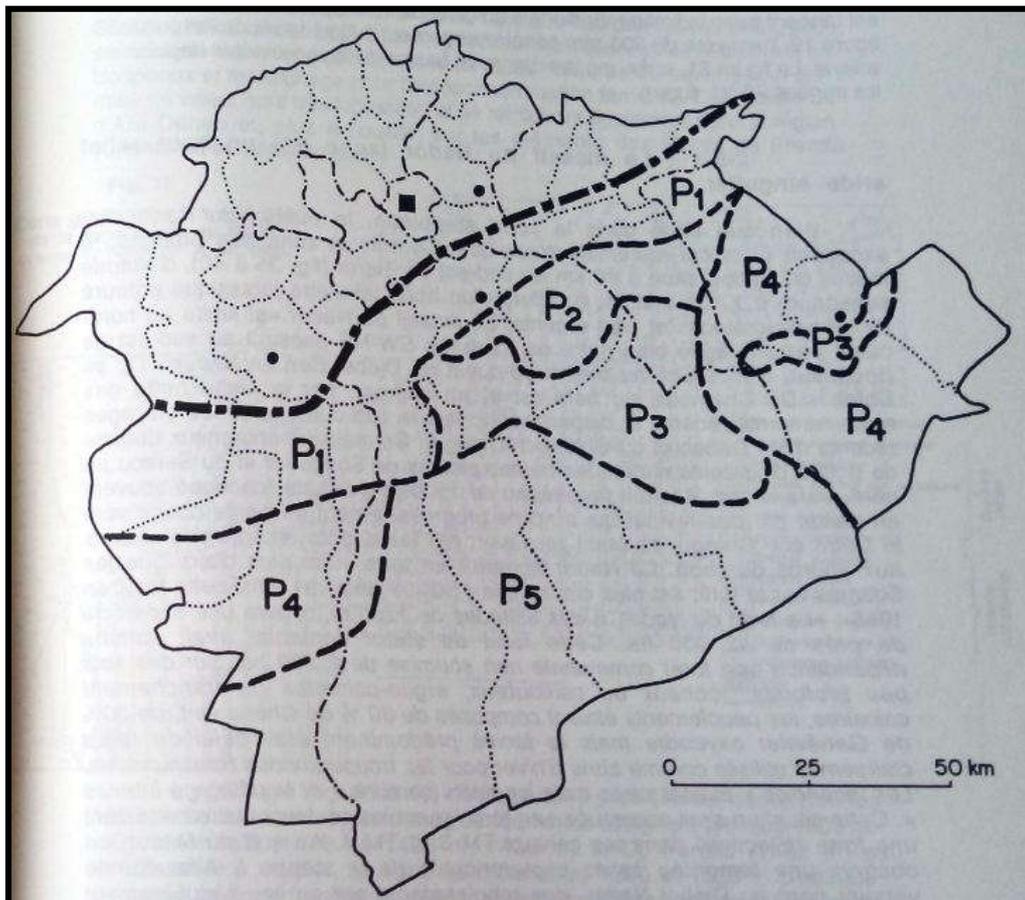
Par ailleurs, il convient de noter un autre type de groupement végétal, les Psamophytes représentées par *Retama retama*, *Tamarix gallica*. Ce groupement de végétation est associé à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports induit par le vent (Bouacha, 2019).

#### 2.4.2 Occupation du sol

Pou apprécier ce paramètre, nous avons collecté des données statistiques et spatiales relatives à la zone de transition.

Selon (Duvignaud, 1992) l'occupation du sol de l'espace steppique se présente comme suit **Figure 8**:

- La frange sub-steppique (P1) qui représente les cultures en sec et irriguée, elle touche le Nord des communes de Djebel ElRosfa, Madna, Sidi Abderahmane, Medrissa, Chehaima, et Rechaiga;
- Les dépressions sub-steppiques (P2) où on a l'élevage et l'agriculture en semi-irrigation ;
- Le massif du Djebel Nador avec des reboisements et DRS (P3) ;
- Les parcours steppiques à ressources hydrauliques importantes (P4) ;
- Les parcours steppiques (P5).



**Figure 8.** Carte des unités de la région steppique.

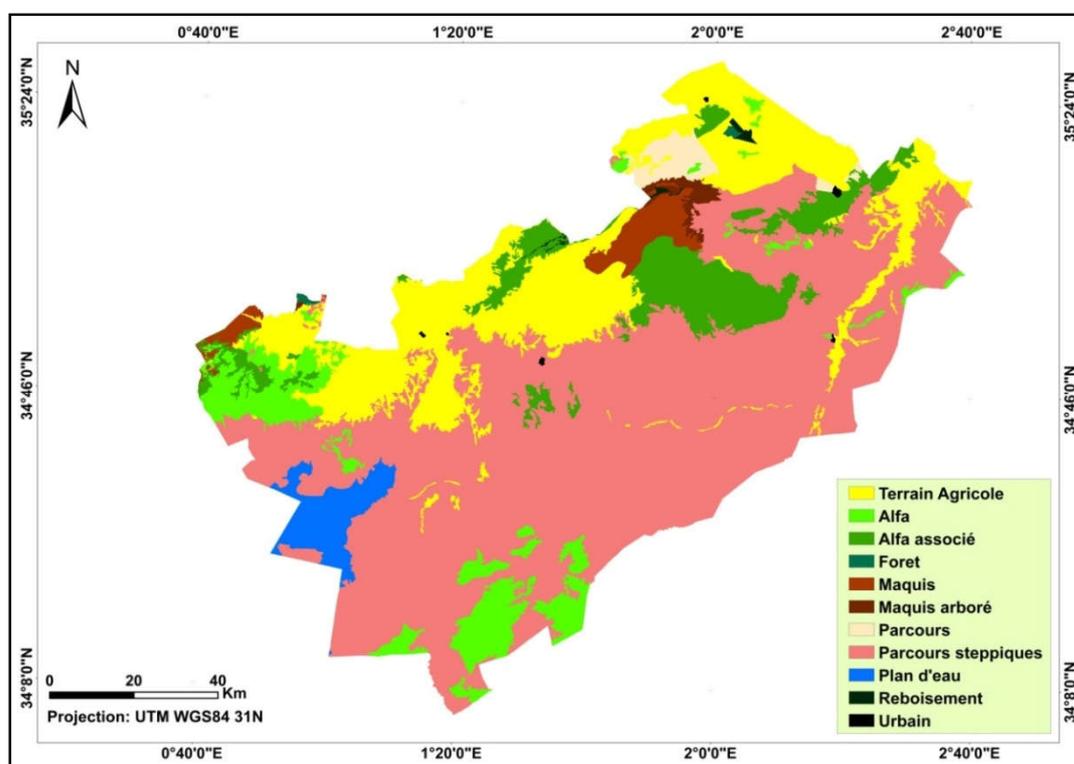
Le plan d'aménagement de la wilaya réalisé par le bureau d'étude (URBATIA, 2012) présente cette répartition et occupation des sols avec plus de détails comme l'indique le **Tableau 1** et dans la **Figure 9**.

**Tableau 1.** Répartition des entités de l'occupation du sol de la zone steppique en 2012 (ha).

Superficie totale		SAU		Dont irriguée		Maquis		Parcours		Alfa		Terres agricoles improductives		Terres Non agricole	
ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1380401	100%	292889	21,21	4744	0,34	48518	3,51	367575	26,62	332938	24,11	19850	1,43	318631	23,08

Cette présentation fait ressortir les caractéristiques suivantes :

- La dominance des parcours et des nappes alfatières, qui représentent respectivement 26,62% et 24,11% de la superficie totale ;
- La superficie agricole utile (S.A.U) représente 21,21% de la surface totale des terres ; dont seulement 1,55% en irrigué. La S.A.U est composée principalement de sols fertiles qu'on retrouve dans les lits d'oueds, dayas et piémonts de montagnes ;
- Les terres non-agricoles représentent 318 631 ha, soit 23,08 % de la superficie totale ;
- Les maquis occupent 3,51 % de la superficie totale de la zone steppique, ils se localisent au niveau du massif du Nador en couvrant les communes de Faidja, Nadora, Sidi Abdelghani, et Rechaigua.



**Figure 9.** Carte d'occupation du sol de la zone steppique de Tiaret (Conservation des Forêts, 2017 modifié).

### 3. Aspect climatique

Le climat correspond à la description en termes de la moyenne et du changement des variables atmosphériques pertinentes comme la température, les précipitations, et le vent. Par conséquent, le climat peut donc être considéré comme une synthèse ou une collection de conditions météorologiques (Goosse et al., 2010).

Il joue un rôle prépondérant dans la distribution et l'évolution des propriétés des sols, son analyse à l'échelle régionale est généralement basée sur des données fournies par les stations météorologiques (Abdelbaki, 2012).

Cependant, pour pallier à l'indisponibilité de stations météorologiques dans la zone d'étude et au manque de données fiables, nous avons opté pour l'usage de données compatibles avec nos objectifs telles que les données obtenues du projet Power du centre de recherche de Langley de la Nasa ; projet financé par le programme des sciences appliquées de la direction des sciences de la terre N.A.S.A.

#### 3.1. Données météorologiques

Les données météorologiques utilisées ont pour source Merra 2, la première réanalyse globale à long terme à prendre des observations spatiales d'aérosols et à représenter leurs interactions avec d'autres processus physiques du système climatique («MERRA-2» s.d.).

Dans ce cas, nous avons choisi de présenter les caractéristiques climatiques de la zone steppique de la wilaya de Tiaret à partir de trois paramètres météorologiques pour une période de 34 ans (1984-2017), à savoir :

- Les précipitations (mm),
- Les températures à deux mètres (°C),
- La vitesse du vent à 10 m (m/s).

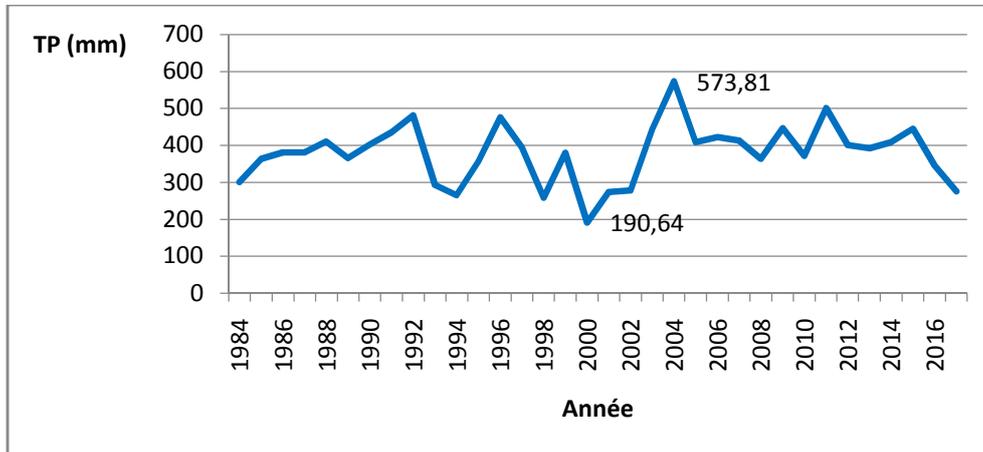
##### 3.1.1 Précipitations

Les précipitations dans leurs formes constituent la principale source d'eau nécessaire à la survie de la végétation dans les régions arides et semi-arides. Elles sont aussi le principal facteur des différents processus écologiques (Liu et al., 2017).

Pour comprendre l'impact de ce facteur sur la dynamique d'occupation du sol, nous procéderons à l'identification du régime des précipitations de la zone steppique de Tiaret à différentes échelles temporelles.

### 3.1.1.1 Régime annuelle des précipitations

Le régime annuel des précipitations montre une dynamique irrégulière, surtout après l'année 1992, où on note un minimum des précipitations avec 190 mm en 2000, et un maximum en 2004 avec 574 mm **Figure 10**.

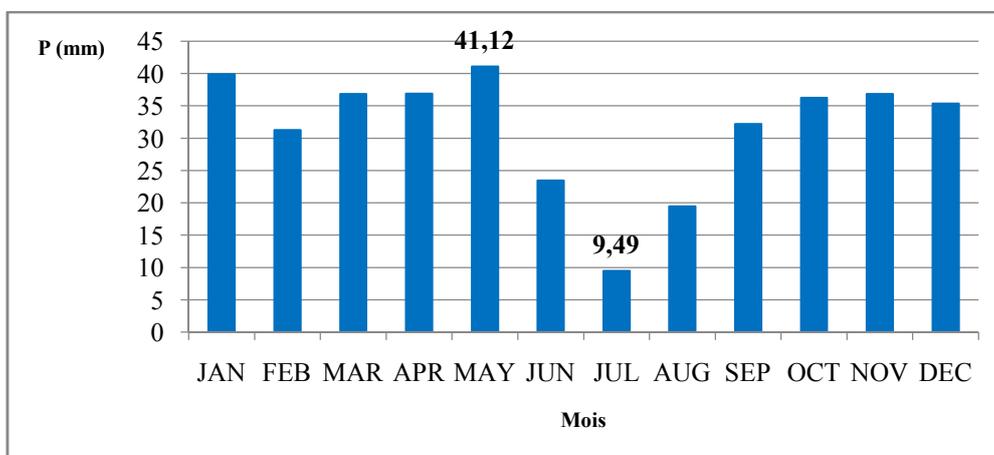


**Figure 10.** Précipitations annuelles pour la période 1984 à 2017.

### 3.1.1.2 Régime mensuel des précipitations moyennes

La figure de répartition des précipitations moyennes mensuelles ci-dessous **Figure 11**, nous révèle l'irrégularité des précipitations et leurs considérables variations.

Ainsi, on relève un grand contraste durant l'année dans la mesure où les mois de Janvier et Mai sont les mois les plus pluvieux avec des précipitations moyennes maximales de 40 mm et 41,42 mm respectivement. Par ailleurs, les précipitations moyennes du mois de juillet sont les plus faibles avec seulement 9,49 mm.



**Figure 11.** Précipitations moyennes mensuelles pour la période 1984-2017.

### 3.1.1.3 Irrégularité des précipitations

Pour déterminer la nature de l'année (sèche ou humide) dans les régions semi-arides; une analyse du changement climatique mensuel en fonction des précipitations du mois de Mars s'impose (Khader, 2019).

La figure des variations de précipitations du Mois de mars **Figure 12**, montre une irrégularité et une forte fluctuation interannuelle des précipitations. On constate plusieurs périodes de sécheresse (1984-1990, 1993-2011, 2013-2017) Avec un contraste pluviométrique matérialisé par des précipitations minimales allant de 0 mm en 1997 et en 2001, et maximales de 92 mm et 93 mm, respectivement en 1991 et 2012.

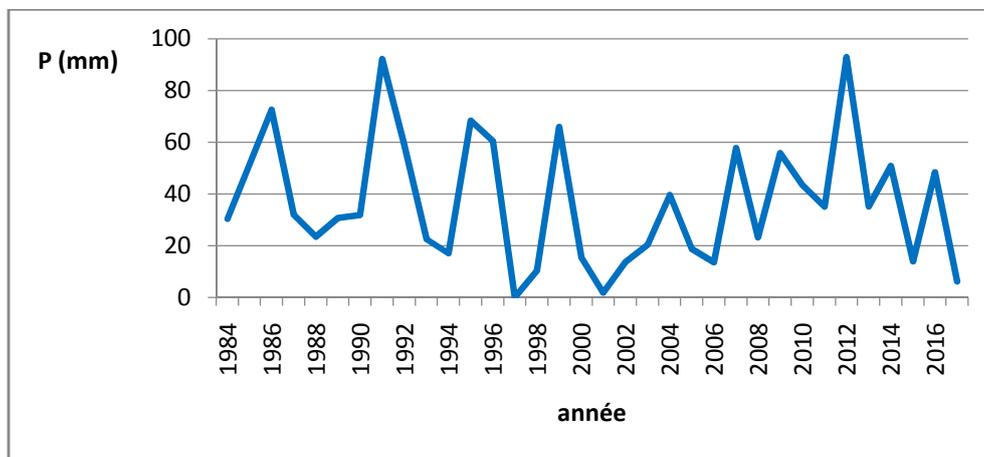


Figure 12. Variation des précipitations du mois de Mars.

### 3.1.1.4 Régime saisonnier des précipitations moyennes

Le **Tableau 2** représente le cumul des précipitations dans chaque saison. Le régime saisonnier de la zone steppique de la wilaya de Tiaret est de type PHAE (Printemps, Hiver, Automne, Eté). Ce qui signifie que le printemps est la saison la plus arrosée avec 38,31 mm, et l'été est la saison la plus sèche avec 17,47 mm.

Tableau 2. Régime saisonnier de la zone steppique de la wilaya de Tiaret.

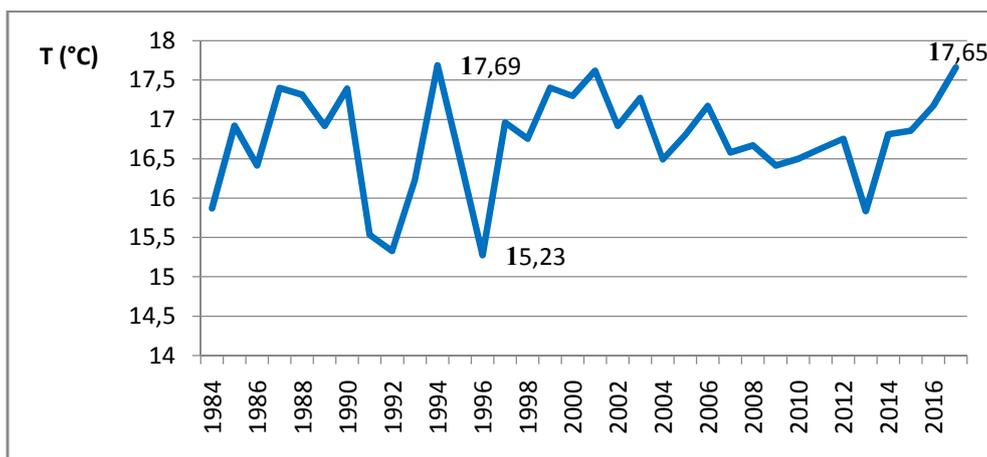
	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Type saisonnier</i>
<i>Régime saisonnier</i>	35,51	38,31	17,47	35,11	PHAE
<i>Régime saisonnier en %</i>	28	30,30	13,82	27,77	

### 3.1.2 Températures

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital qui contrôle le comportement des organismes et qui conditionne leurs distributions. Au-delà d'un certain seuil la température peut provoquer des effets néfastes (Rebati, 2019).

#### 3.1.2.1 Régime annuel des températures moyennes

En général, la dynamique annuelle des températures moyennes présente une irrégularité interannuelle, Les données de la figure ci-dessous nous révèlent les variations de températures durant la période 1984-2017. Nous notons alors qu'entre l'année 1984 et 2003 les températures moyennes varient respectivement entre un minimum de 15,26 °C et un maximum de 17,69 °C durant notamment les années 1996 et 1994. Nous notons aussi qu'entre l'année 2003 et 2013 les températures moyennes affichent une tendance à la baisse et au-delà de 2013 la tendance est à l'augmentation **Figure 13**.



**Figure 13.** Températures annuelles pour la période 1984-2017.

#### 3.1.2.2 Régime mensuel des températures maximales et minimales

Les variations des températures moyennes mensuelles présentées dans la **Figure 14**, montrent que le mois de Janvier est le mois le plus froid, avec une valeur minimale de -3°C, alors que le mois de Mai est le mois le plus chaud, avec une valeur maximale de 33°C.

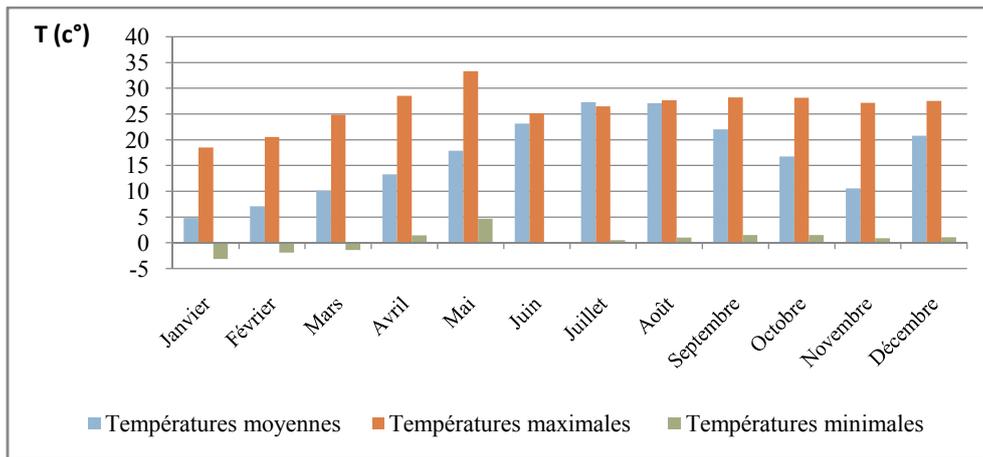


Figure 14. Présentation mensuelle des températures minimales et maximales.

### 3.1.3 Vent

Le vent est un paramètre climatique qui influence le mouvement des fines particules de sable, aggravant ainsi le processus de désertification. Dans les régions arides et semi-arides, Il joue un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols par l'action du dessèchement qui accélère la transpiration (Zamani et al., 2020)

Dans la zone d'étude, durant la période 1984-2017, la moyenne annuelle des vitesses du vent moyen est de 4,17 m/s. Les vents dominants sont généralement ceux de l'ouest et du sud-ouest.

## 3.2. Synthèse climatique

### 3.2.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN

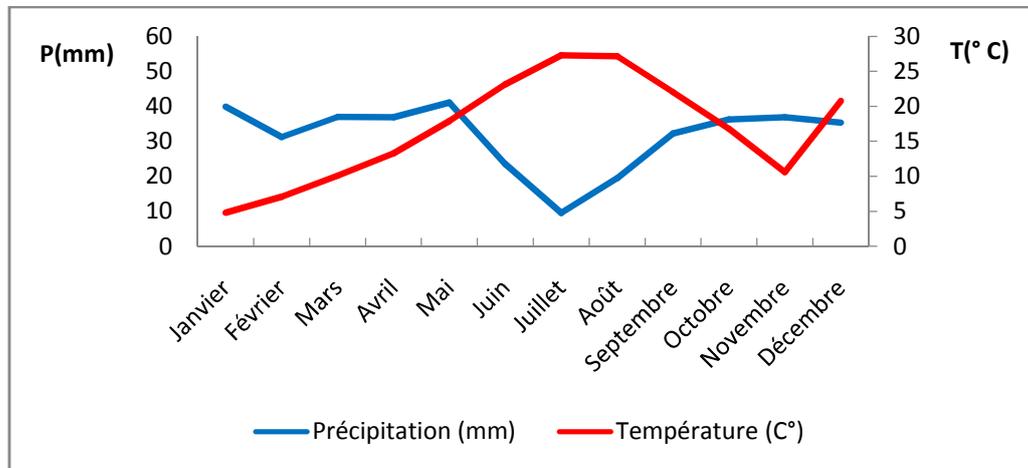
Le diagramme ombrothermique de (Bagnouls and Gausсен, 1953) est le plus répandu et utilisé, il permet :

1. La visualisation directe de la durée et l'intensité de la saison sèche ;
2. L'évaluation de la longueur de la saison pluvieuse ;
3. L'utilisation de la surface du polygone comme « indice d'intensité de sécheresse » ;
4. Il montre la durée de la période défavorable à la croissance de la végétation avec une signification écologique plus précise.

Nous représentons sur le même graphique deux courbes, l'une des précipitations mensuelles, exprimées en mm, et l'autre celles des températures moyennes mensuelles exprimé en degré Celsius, avec en abscisses les mois.

Selon (Bagnouls and Gausсен, 1953), lorsque la courbe de précipitation rencontre celle des températures et passe au –dessous de cette dernière, elle indique l'existence de la

sécheresse ce que confirme le diagramme présenté dans la **Figure 15**, où la sècheresse s'étend sur 5 mois (début Mai à début Octobre).



**Figure 15.** Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la zone d'étude pour la période 1984-2017.

### 3.2.2 Climatogramme d'Emberger

Pour la détermination du type de climat qui régnait ces dernières années (1984-2017), nous avons eu recours à l'utilisation du quotient pluviométrique d'Emberger (1955). Ce quotient est spécifique au climat méditerranéen, Il est généralement le plus utilisé dans les régions de l'Afrique du Nord. Il a été établi par (Emberger, 1955) et simplifié par Stewart (1969,1975) dans le but de faire une correspondance entre les types de climats méditerranéens et la végétation (Mihi, 2012), il s'exprime par la formule suivante :

$$Q3 = 3,43 P / M - m$$

Q3 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER ;

P : Précipitation annuelles en (mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid

L'application de la formule du quotient pluviométrique sur les données climatiques de la zone steppique de la wilaya de Tiaret pour une période de 34 ans a donné un Q3 égal à 46,94 avec une température minimale de 0,5°C. Le résultat révèle le classement de la zone steppique dans l'étage semi-aride à hiver frais **Tableau 3, Figure 16**.

Tableau 3. Situation bioclimatique de la zone d'étude.

	<i>T maximale (k)</i>	<i>T minimale (k)</i>	<i>P (mm)</i>	<i>Q3</i>	<i>Etage bioclimatique</i>
<i>Zone d'étude</i>	301,36	273,65	379,26	46,94	Semi-aride à hiver frais

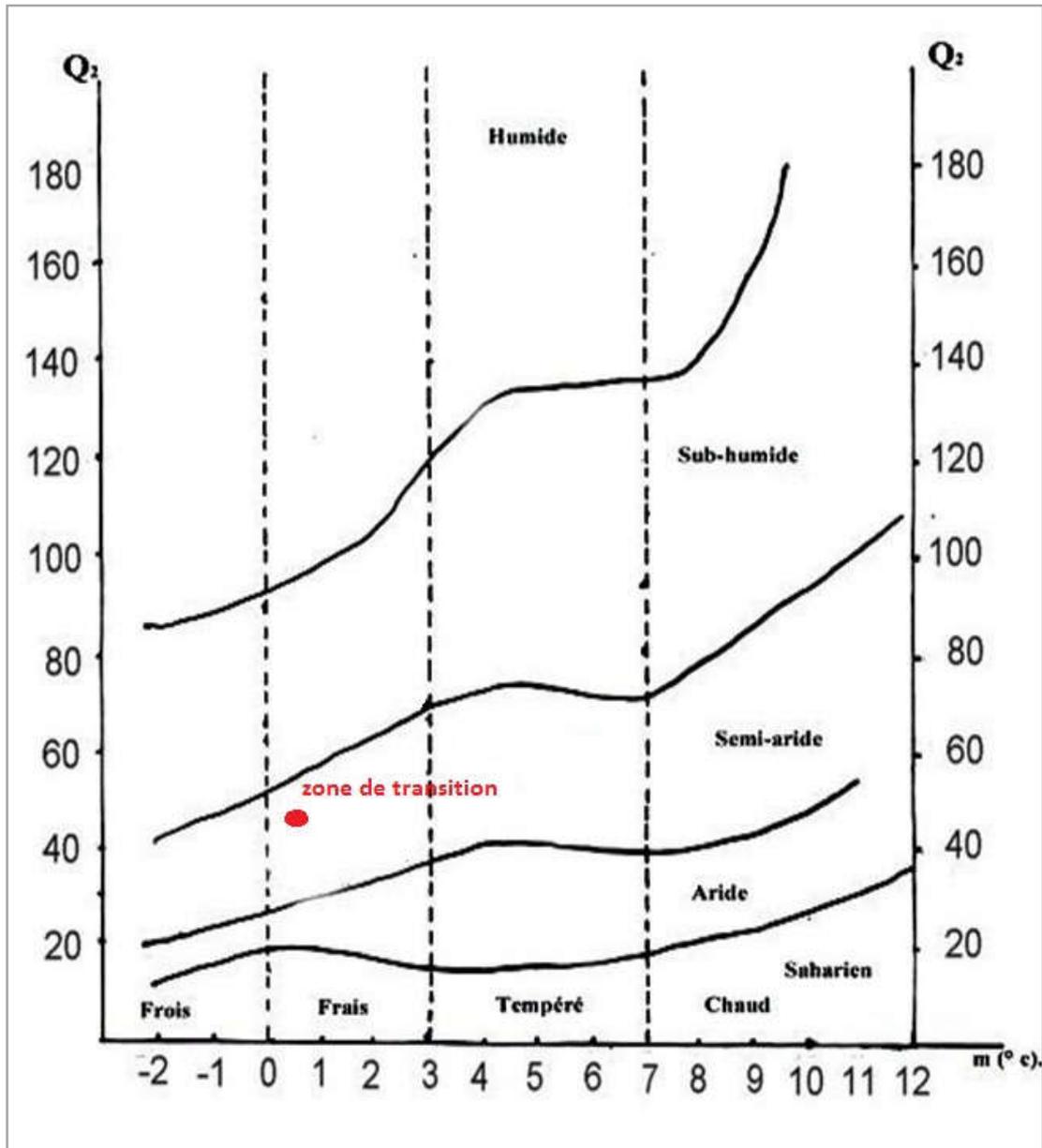


Figure 16. Climagramme d'Emberger pour la période (1984 à 2017).

## 4. Aspect socio-économique

### 4.1. Evolution de la population

On pense que la croissance de la population est un facteur indirect de changement d'occupation des sols (Mhawish and Saba, 2016), et particulièrement dans les zones steppiques telles que la wilaya de Tiaret. En fait, la crise économique menace la population qui dépend généralement des activités agropastorales, ces dernières "*souffrent actuellement d'une double dégradation, écologique et socio-économique. La réduction globale du couvert végétal, la dégradation des sols par l'érosion et l'ensablement progressif, l'appauvrissement des populations pastorales les plus démunies et l'exode de celles-ci vers les villes, marquent la steppe d'aujourd'hui.*" (Bencherif, 2013).

Sur la base des recherches menées par (URBATIA, 2012) et les données de la direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Tiaret (actuellement direction de la programmation et du suivi budgétaire), nous avons pu extraire deux types d'évolution de la population de 1984 à 2017. Que nous présenterons comme suit :

#### - Evolution de la population de la zone de transition par commune

La zone d'étude a enregistré un taux de croissance de population élevé durant la période (1984-1987, avec un taux d'accroissement global de 2,2 % suivi d'une régression significative dans les trois périodes 1987-1998, 1998-2008, 2008-2017, atteignant 0,008%, 0,015%, et - 0,034% respectivement, cette régression montre une forte migration et un départ massif des populations.

Les observations de l'évolution démographique des communes montrent de fortes disparités, allant de 0,9 % au niveau de la commune de Chehaima et, -6,04 % au niveau de la commune de Ain D'heb en 1987-1998, par opposition à la période 2008-2017, où la commune de Ain D'heb enregistre un taux très élevé de 43,29 %, tandis que le taux d'accroissement de la commune de Chehaima est très faible à -8,06 % (Voire annexe 02).

Cette observation a révélé une forte tendance à migrer et à s'agglomérer. Cependant, les faibles taux d'accroissement globaux des communes de la steppe sont dus à plusieurs facteurs défavorables : la dispersion globale de la population, la faiblesse des dotations en équipements et la proximité des agglomérations attractives (Khader, 2019).

#### - Evolution de la population au niveau des zones éparses

Par dispersion, l'observation des taux d'accroissement démographiques laisse apparaître des taux d'accroissement annuel positif et élevé de l'ordre de 4,33% pendant la période (1987-1998), par contre, les populations dispersées ont enregistré un taux

d'accroissement annuel négatif de -0,79 % et -1,01% pendant la période de 1977-1987, et 1998-2008 respectivement (Voire annexe 02).

Ce constat montre que le taux d'accroissement de la population éparses est très faible par rapport à l'évolution des populations agglomérées.

Enfin, nous pouvons noter que la dynamique de la population de la zone steppique de la wilaya de Tiaret est tributaire de nombreux facteurs, qui la rendent irrégulière, pour ne citer que les plus importants tels que les conditions de vie difficiles, la dégradation des espaces agropastoraux et des conditions socioéconomiques défavorables.

### **Conclusion**

La présentation des divers aspects (physique, climatique, et socio-économique) de la zone de transition des deux Atlas tellien et saharien de la wilaya de Tiaret, nous a permis de diagnostiquer ses caractéristiques générales.

C'est une zone semi-aride en dégradation progressive. Cette dégradation se manifeste par la réduction des ressources en eau induites par le manque des précipitations, l'extension de zones de salinité et la dégradation du couvert végétal. Cet état est accompagné par l'apparition d'une végétation adaptée aux changements dans le support du sol. La combinaison des facteurs bioclimatiques avec l'intervention des populations montre une tendance de la steppe à la désertification.

A cet effet, nous tirons la sonnette d'alarme pour sauvegarder cet espace multiple qui doit être un rempart contre l'avancée du désert, les vents de sable renouvelés qui envahissent les régions du tel et des hauts plateaux annoncent déjà la nécessité d'une urgente intervention.

---

---

*Partie B : Classification annuelle de  
l'occupation du sol de la zone de steppique de  
la wilaya de Tiaret de 1984-2017*

---

---

**Introduction**

Le manque d'informations détaillées sur la répartition spatiale de l'occupation du sol de la zone de transition est le principal handicap à surmonter pour étudier la dynamique d'occupation du sol et définir les différents facteurs de changements. Ainsi, il est essentiel d'obtenir une cartographie de distribution spatiale, annuelle et précise sur la couverture terrestre afin de comprendre les principales causes de changements.

Pour se faire, l'usage de la télédétection, comme moyen efficace s'impose (Zhen-wang et al., 2017). Sa nécessité est due à la disponibilité de plusieurs grandes bases de données d'images, qui émanent des différentes missions satellitaires telles que (Landsat, Spot, Modis ou Sentinel etc.). Cet état est renforcé par la récente disponibilité d'outils de traitements de ces informations. Elle représente également une opportunité sans précédent pour relever les défis non résolus en matière d'environnement et de gestion des terres (Jin et al., 2020).

Il y a lieu de noter aussi, que l'avènement de Google Earth Engine (GEE) a révolutionné la télédétection et a permis sa vulgarisation (Gorelick et al., 2017). En tant que plateforme en ligne, le GEE est conçu pour faciliter l'accès aux images satellitaires et rendre leurs traitements et ceux de leurs dérivés plus rigoureux (séries temporelles spectrales, indices etc.). Il permet aussi d'explorer de vastes ensembles de données, pour surveiller, détecter, évaluer et résoudre les problèmes environnementaux (Patel et al., 2015). L'imagerie Landsat fait partie des sources de données de télédétection les plus usitées et les plus connues. Elles rassemblent plus de trois décennies d'informations spectrales, au cours de ses différentes missions (Landsat 4, 5, 7 et 8) (Pasquarella et al., 2016). Elle a été largement utilisée pour spatialiser et surveiller la dynamique d'occupation du sol. Elle est totalement intégrée dans l'environnement GEE, grâce à ses outils spécifiques. Il permet l'accès, la consultation, le traitement et l'analyse de grandes quantités de données (Patel et al., 2015).

Il y'a lieu de relever que l'usage unique des informations spectrales, pour la classification de l'occupation du sol dans les milieux semi-arides et arides est une tâche très ardue (Paneque-Gálvez et al., 2013). Ceci, à cause de l'hétérogénéité de l'environnement (Okin and Roberts, 2004), qui entraîne d'une part une difficulté de séparation entre les spectres réfléchis de ces entités enregistrées par les capteurs satellites, et d'autre part provoque un chevauchement entre les propriétés spectrales

(Ghaemi et al., 2012). Cela conduit souvent à une classification erronée des différents types d'occupation du sol (Halmy and Gessler, 2015). En ce sens, les méthodes de classifications supervisées appliquées à des environnements homogènes (d'un point de vue spectral) bénéficient fortement des échantillonnages effectués sur le terrain et des inventaires ; ce qui permet de définir les points d'apprentissage. Dans ce cadre, plusieurs algorithmes ont été développés pour classer la couverture terrestre.

L'augmentation des techniques d'apprentissage automatique (telles que les séparateurs à Vaste Marge (SVM) a contribué à accroître la précision de la classification (Al-doski et al., 2013; Rimal et al., 2020). Ses performances supérieures ont stimulé la popularité de l'apprentissage automatique. Plusieurs exemples d'application réalisés ces dernières années témoignent de cette performance (Adepoju and Adelabu, 2020; Sha and Bai, 2013). En même temps, la sélection des données spectrales adéquates à intégrer est aussi importante que l'algorithme lui-même. Elle dépendra principalement des caractéristiques du capteur (résolution spectrale, radiométrique et spatiale) et de la typologie des couvertures terrestres ciblées. Dans le cas des capteurs multispectraux, il est généralement préférable de synthétiser les bandes spectrales d'origine en indices liés aux traits d'occupation du sol : humidité, présence de biomasse verte ou albédo entre autres (Adepoju and Adelabu, 2020). L'incorporation d'indicateurs de texture s'est avérée une stratégie efficace dans les régions comportant différents types de zones à végétation clairsemée (Kupidura, 2019; Mishra et al., 2019; Patel et al., 2015).

Dans cette partie, nous avons opté pour une procédure de classification multi-temporelle et ce, pour obtenir la distribution annuelle de l'occupation du sol de la zone steppique de la région de Tiaret entre 1984-2017. Notre objectif principal est de développer une méthode adéquate pour la cartographie de l'occupation du sol ; ce qui permet de capturer les particularités spatiales de la région d'étude. La méthode proposée est une combinaison d'algorithmes de SVM et des images Landsat durant la période 1984-2017. Ces dernières sont obtenues grâce à la plateforme GEE (Gorelick et al., 2017). Nous avons accordé une attention particulière à l'adéquation de l'imagerie Landsat, en explorant plusieurs combinaisons de bandes spectrales brutes, indices spectraux (indice de végétation par différence normalisée (NDVI), indice d'humidité par différence normalisée (NDWI) et indice de couleur (IC)) et les trois axes de Tasseled Cap Transformation (T.C) (verdure, humidité et luminosité). Nous avons également testé plusieurs indices texturaux, pour explorer leurs influences sur

l'exactitude de la classification. Les combinaisons ont été évaluées en fonction de trois paramètres essentiels : la précision globale (OC), l'indice Kappa (IK) et la matrice de confusion.

---

---

# Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

---

---

## 1. Matériel et Méthodes

Pour mener à bien ce travail, nous avons opté pour une méthodologie composée de quatre étapes que sont :

- 1) La première étape consiste à recueillir des données de "vérité de terrain" sur les types d'occupation de sol dans la région étudiée.
- 2) La deuxième étape comprend toutes les procédures nécessaires pour récupérer, traiter et organiser les informations spectrales provenant de l'imagerie Landsat au cours de la période 1984-2017.
- 3) La troisième étape est consacrée à l'élaboration de la procédure de classification à partir des entrées de données susmentionnées. Nous avons calibré plusieurs classificateurs SVM explorant de multiples combinaisons de données spectrales et d'indices.
- 4) La quatrième étape consiste à évaluer la précision des modèles de classification et à sélectionner le modèle "final".

### 1.1 Matériels et logiciels utilisés

#### 1.1.1. Matériels

Les caractéristiques essentielles du matériel informatique qui nous a servi à exploiter les différentes données et à appliquer les divers traitements pour atteindre l'objectif principal, sont :

- Un micro-ordinateur Acer Aspire ES-573 séries avec la configuration suivante ;
- Un processus Intel ® Core (TM) i3-5005U CPU B960 @ 2.20GHz ;
- Mémoire installée (RAM) de 8,00 GO ;
- Type de système : Système d'exploitation 64 bits.

#### 1.1.2. Logiciels

Nous avons choisi de travailler avec des logiciels essentiels en raison de leurs multifonctionnalités, on a utilisé ArcGIS 10.2.2 et R.

### **1.1.2.1. ArcGIS 10.2.2**

ArcGIS présente une principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG). Il dispose d'un grand potentiel de collecte, d'organisation, de gestion, d'analyse, de communication et de diffusion des informations géographiques.

Les informations géographiques publiées par ce logiciel peuvent être consultées et utilisées, à titre gratuit, via un navigateur Web, des Smartphones, des ordinateurs. Il permet la conception, la création, la maintenance et l'utilisation des bases de données géographiques. Ces données présentent généralement les principales couches de base pour le stockage et la gestion des données utilisées, afin de créer une variété de cartes et de combiner des données provenant de plusieurs sources dans une conception géographique unifiée.

### **1.1.2.2. R**

Le R est un logiciel de statistique libre. Il offre plusieurs plateformes dotées d'une excellente capacité graphique, il fournit aussi un écosystème riche de contenu, qui est soutenu par des milliers de paquets (CRAN, Tidyverse etc.), qui facilitent le développement et l'utilisation des techniques statistiques innovantes et récentes. Il permet également de créer ses propres programmes dans un langage de programmation assez simple (Jacques, 2018).

## **1.2 Données utilisées**

Pour la classification de la zone d'étude, nous avons utilisé deux types de données, qui émanent de différentes sources. Ces données sont :

- Données de terrain et classes d'occupation de sol.
- Données spectrales et spatiales Sous GEE.

### **1.2.1 Données de terrain et classes d'occupation de sol**

Les données de terrain sont nécessaires pour la détermination des classes dominantes d'occupation du sol dans la zone d'étude. Les données de "vérité de terrain" requises pour notre procédure de classification sont obtenues, grâce à trois enquêtes de reconnaissance menées sur le terrain durant la période allant d'Octobre 2017 à Janvier 2018. Le but étant de déterminer les zones d'apprentissage avec leurs

différentes coordonnées géographiques et de discerner les différentes classes d'occupation du sol.

Nous avons regroupé 324 points d'apprentissages, dont 83 points ont été collecté à partir de Google Earth Pro en se basant sur des données cartographiques obtenues de la conservation des forêts de la wilaya de Tiaret telles que les cartes d'occupation du sol de 2009, 2010 et 2014 (Voire annexe 03).

Treize classes d'occupation de sol ont été définies dans la zone steppique. Nous les avons regroupés en six classes principales. Ce qui nous a permis d'éliminer la classe des zones bâties, sans prendre en compte la "classe d'eau". Nous retenons alors ce qui suit Figure 17:

- La végétation forestière,
- La végétation steppique,
- Les terres agricoles,
- Les sols sableux stables,
- Les sols sableux instables,
- Les sols nus.

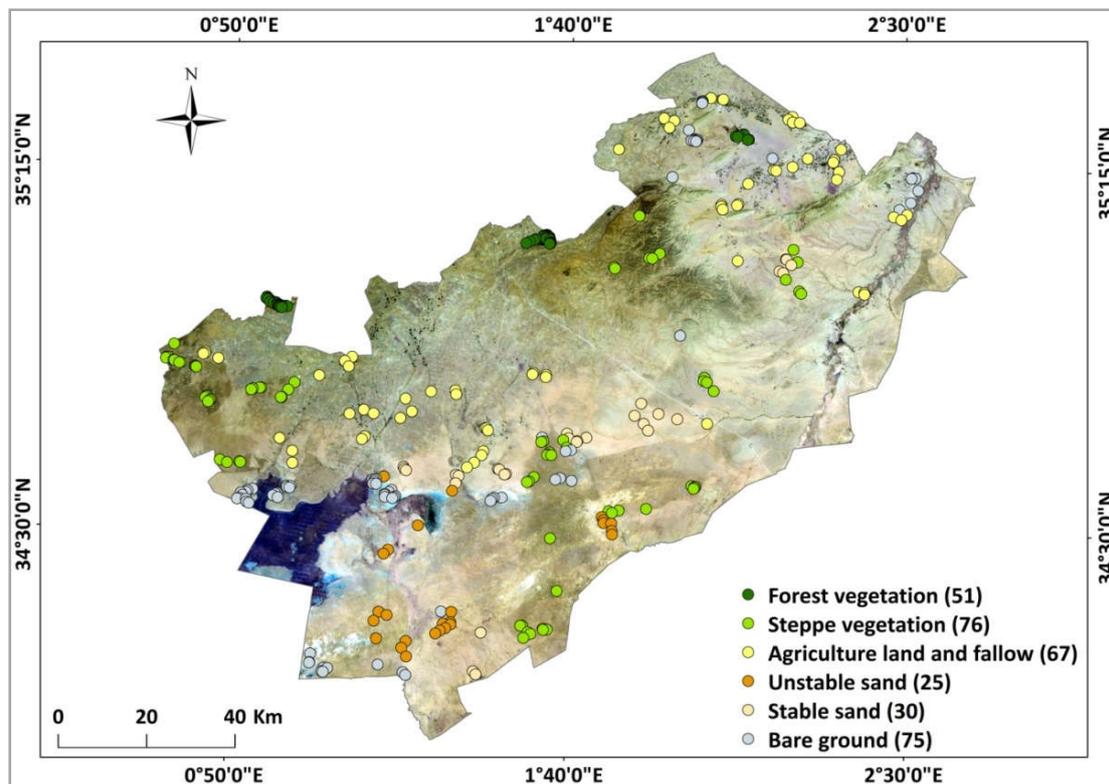


Figure 17. Localisation des différents points d'apprentissage pour l'établissement de la classification.

### 1.2.1.1 Végétation forestière (VF)

La végétation forestière est concentrée au niveau du massif du Nador, qui regroupe les communes de (Faidja, Nadora, Si Abdelghani, Rechaiga.). On trouve aussi une couverture forestière avec plusieurs espèces au niveau des monts de Frenda, où nous pouvons retenir quelques espèces que sont : *Quercus ilex* à l'état dégradé , *Eucalyptus*, *Pinus halepensis*, ainsi que deux associations composées respectivement de *Maccochloa Tenacissema* et *Juniperus oxycedrus*, et une autre de *Pistacia atlantica* et *Zizifus lotus* (URBATIA, 2012) (Voire annexe 03).

### 1.2.1.2 Végétation Steppique (VS)

La végétation steppique est caractérisée par une couverture végétale basse et clairsemée plus au moins dégradée, d'une densité moyenne avec une distribution spatiale hétérogène (moyenne, éparse) (Bouacha and Maatoug, 2018). Elle est principalement dominée par les Poacées telles que la formation d'alfa (*Stipa tenacissema*), et la formation de *Lygeum Spartum* (Ghafoul, 2009). Pour la classification, nous avons regroupé la végétation steppique éparse et moyenne dans une seule classe (végétation steppique) (Voire annexe 03).

### 1.2.1.3 Terres agricoles (TA)

Généralement, les terres agricoles dans les zones steppiques se situent sur des bons sols épais et propices aux cultures. Il s'agit généralement de zones de dépressions " lits d'oueds et daya" et les piedmonts de montagnes. Selon les données de la (D.S.A, 2008), les terres agricoles de la zone de transition se répartissaient en quatre catégories: terres agricoles utiles, terres agricoles irriguées, terres agricoles improductives et terres laissées en jachères, que nous avons regroupées en une seule classe avec une désignation "terres agricoles" (URBATIA, 2012).

### 1.2.1.4 Sols sableux (SS)

Deux types de sols sableux ont été identifiés dans notre zone d'étude (Bouacha and Maatoug, 2018), leurs présences indiquent le degré de dégradation de la zone, nous avons alors distingué deux types de sol sableux et qui sont :

- Sols sableux stables (SSS) : Ils présentent des étendues légèrement désertifiées, dont certaines avec des sables fixes et d'autres avec des sables semi-fixes. Ils incluent

aussi des dunes de sables semi-fixes, des zones de sables plates ou des champs désertifiés (Li et al., 2006) (Voire annexe 03).

- Sols sableux instables (SSI) : Ils présentent des sols très désertifiés, avec une couverture sableuse évidente, caractérisées par de grands espaces de sables mobiles, avec une érosion éolienne intense à la surface du sol (Li et al., 2006) (Voire annexe 03).

#### **1.2.1.5 Sols nus**

Ce sont des sols dépourvus de tout type de végétation. Ils sont composés de divers types de roches et de sols calcaires et de minéraux. Pour les besoins de l'étude nous les avons regroupés dans une seule classe (Voire annexe 03).

### **1.2.2 Données Spectral Sous Google Earth Engine**

Nous avons choisi d'acquérir un ensemble de données spectrales à partir de la plateforme GEE qui offre une interface de programmation d'application (API) très puissante pour le traitement et la visualisation rapide des résultats (Gorelick et al., 2017). Cette interface est écrite en Javascript et en python pour deux raisons (Canty et al., 2019) :

- Pour assurer une interaction directe avec l'éditeur de code GEE basé sur le web.
- Pour assurer l'analyse des données en dehors de l'environnement du web GEE

Il contient des données géospatiales largement utilisées, dont la plupart sont composées d'images de télédétection d'observation de la Terre, y compris l'ensemble des archives Landsat (Gorelick et al., 2017)

## **1.3 Méthodes**

### **1.3.1 Acquisition et traitement des séries temporelles de Landsat**

Les données Landsat ont souvent été appliquées à la classification de la couverture terrestre, principalement en raison de leurs longues périodes de disponibilité (des décennies de données d'archives), de leur résolution spatiale fine (30 m) et de la proximité des observations au nadir (Zhu, 2017; Zhu and Woodcock, 2014). Nous avons sélectionné un ensemble de données spectrales Landsat pour classer la zone de transition de la wilaya de Tiaret. Nous avons utilisé toute la série temporelle de la collection d'images Landsat Tier 1 Reflectance de 1984 à 2017 correspondant aux path/row 197/36 et 196/36, qui comprend plusieurs générations de

capteurs tels que : Thematic Mapper (TM ; 1984-2012), Enhanced Thematic Mapper (ETM+; 1999-2013) et Operational Land Imager (OLI; depuis 2013).

La collection de niveau 1 offre un accès rapide aux images Landsat avec des corrections atmosphériques produites à l'aide de l'algorithme CFMASK et qui permettent de masquer les nuages, les ombres, l'eau et la neige.

Nous avons récupéré les six bandes de réflectance spectrale (bleu, vert, rouge, proche infrarouge et les 2 canaux infrarouges courts) des capteurs TM, ETM+, OLI (les bandes panchromatiques, côtières/aérosols et thermiques ont été exclues). Nous avons basé nos analyses sur les images Landsat 5 et 7, qui couvrent la période de juin à septembre de chaque année de 1984 à 2017, cela en fonction du chevauchement des colonnes et des lignes et de la couverture nuageuse des images.

Pour synthétiser les informations spectrales en une seule valeur par bande et par an, nous avons réduit la série temporelle à l'aide de médoïdes tels qu'implémentés dans LandTrendr sur GEE (Kennedy et al., 2018). Cette procédure crée un composite annuel de bandes de réflectance de surfaces Landsat corrigé atmosphériquement.

Lors de la mise en œuvre d'une analyse de séries chronologiques à partir de différents capteurs, il est essentiel d'harmoniser les images pour éviter les différences de réponse spectrale dues aux spécifications des capteurs (Venter et al., 2020). Nous avons appliqué l'ensemble des coefficients d'étalonnage croisé pour la transformation linéaire de l'espace spectral OLI dans l'espace spectral TM en utilisant les coefficients définis dans Roy et al., (Roy et al., 2016).

### **1.3.2 Calcul des Indices Spectraux**

La méthodologie proposée a permis l'exploration de multiples combinaisons de données spectrales. La stratégie la plus basique implique l'utilisation de l'imagerie Landsat brute (c'est-à-dire les bandes spectrales d'origine). En outre, plusieurs indices spectraux ont été calculés sous GEE pour agréger les bandes originales en indicateurs des caractéristiques de l'occupation du sol. Ces indices sont très utiles pour caractériser l'état superficiel des sols, particulièrement intéressants lors de l'évaluation des régions semi-arides et arides (Baig et al., 2014; Maimouni et al., 2011). Nous avons calculé un large éventail de transformations spectrales telles que :

- **NDVI**

L'NDVI permet de détecter les variations de la biomasse verte en inférant des changements dans la fraction de l'activité photosynthétique (Rouse Jr et al., 1974). NDVI représente la proportion normalisée (entre -1 et 1) dans les longueurs d'onde proche infrarouge et rouge. La première est très sensible à l'activité de la végétation, tandis que la seconde tient compte de l'absorption des pigments rouges. Le NDVI s'est avéré particulièrement approprié pour faire face à de légers changements dans la végétation arbustive sur les sols brillants et réfléchissants des écosystèmes arides et semi-arides (Baghi, n.d.; Maimouni et al., 2011). Le NDVI a été calculé à l'aide de la formule standard (Rouse Jr et al., 1974):

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R})/(\text{PIR}+\text{R})$$

**PIR** : bande Infrarouge

**R** : bande rouge

- **NDWI**

NDWI (Normalized Difference Water Index) est considéré comme un indice indépendant et complémentaire de NDVI (Gao, 1996). Il est généralement utilisé pour l'extraction des informations concernant la teneur en humidité de la couche supérieure du sol et d'autres couvertures terrestres (Subhanil et al., 2019), Selon (Gao, 1996), il est calculé comme suit :

$$\text{NDWI} = (\text{V}-\text{PIR})/(\text{V}+\text{PIR})$$

**V** : bande verte

**PIR** : proche Infrarouge

L'indice de teneur en eau utilise la bande verte où elle possède un pic d'absorption afin de maximiser la réflectance typique de l'eau et la bande proche infrarouge qu'est la même que celle de NDVI afin de minimiser la faible réflectance; sachant que l'eau n'est pas absorbée dans cette région du spectre électromagnétique (McFEETERS, 1996).

- **IC**

La couleur présente un élément très important lors de la caractérisation des sols, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (Maimouni et al., 2011), elle permet le diagnostic du type de sol et ses propriétés, ainsi elle reflète tout

changements ou modifications résultant de phénomènes naturels ou anthropiques (Escadafal, 1993).

Dans notre cas, la couleur est détectée à distance en calculant l'indice de coloration (IC) qui correspond au rapport des bandes rouges et bleues où la réflectance dans cette région spectrale est généralement affecté par l'absorption produite par la composition minéralogique du sol (Parenteau et al., 2003).

#### - **Texture**

En général, la texture est la reproduction spatiale d'un motif de base dans plusieurs directions (GRESSIN, 2014). Elle joue un rôle important dans le cas d'une classification basée sur une approche spectral-spatiale. Elle permet de distinguer entre certaines classes ayant des similitudes spectrales telles que la végétation forestière et la végétation basses et elle augmente la précision de la classification en utilisant une combinaison des données spectrales et texturales (Kupidura, 2019).

Nous avons appliqué l'analyse texturale en utilisant les caractéristiques spatiales de la bande infrarouge des images Landsat qui est très contrastée et peu sensible aux effets atmosphériques pour obtenir les différentes cartes de textures. Leurs utilisations en combinaison avec les données spectrales peuvent fournir les meilleurs résultats, tout en améliorant la précision de la classification et de la cartographie.,(Mishra et al., 2019).

Plusieurs méthodes d'analyses texturales ont été proposées, dont certaines englobent la matrice de co-occurrence, (Kupidura, 2019) présentée par (Haralick et al., 1973), qui consiste à étudier le comportement conjoint de couples de pixels séparés spatialement par une translation donnée (Haralick et al., 1973).

Nous avons calculé 7 indicateurs textuels : moyenne (T<sub>moy</sub>), variance (T<sub>var</sub>), contraste (T<sub>con</sub>), entropie (T<sub>ent</sub>), dissimilarité (T<sub>diss</sub>), second moment angulaire (T<sub>secm</sub>), et corrélation (T<sub>cor</sub>) ; avec la taille de la fenêtre (5\*5) et un angle inter-pixel de 45°. La description de ces mesures de texture et de ces formules se trouve dans l'annexe 03 (Wood et coll., 2012).(Kupidura, 2019).

#### - **Tasseled Cap**

La transformation Tasseled Cap a été appliquée en utilisant les coefficients développés par (Crist, 1985) afin de compresser les données spectrales en trois bandes liées aux caractéristiques physiques du sol avec une perte d'information minimale

**Tableau 4.** On obtient la bande de luminosité, la bande de l'humidité associée au contenu en eau et la bande de verdure, qui est liée à la végétation (Baig et al., 2014).

**Tableau 4.** Coefficient de transformation pour les bandes de reflectance.

<i>Bandes</i>	<i>Bande 1</i>	<i>Bande 2</i>	<i>Bande 3</i>	<i>Bande 4</i>	<i>Bande 5</i>	<i>Bande 7</i>
<i>Luminosité(TCB)</i>	0.2043	0.4158	0.5524	0.5741	0.3124	0.2303
<i>Verdure (TCG)</i>	-0.1603	-0.2819	-0.4934	0.7940	-0.0002	-0.1446
<i>Humidité (TCW)</i>	0.0315	0.2021	0.3102	0.1594	-0.6806	-0.6109

### 1.3.3 Classification d'occupation du sol

La procédure de la classification est basée sur des techniques d'apprentissage supervisées, qui intègrent plusieurs informations que sont :

- Les Informations relatives aux classes d'occupation du sol de la zone steppique (points d'apprentissages)
- Les informations spectrales (séries temporelles de Landsat, les indices spectraux)
- Les informations spatiales.

Cette partie se réalise en cinq étapes essentielles sous R et ArcGIS :

- 1) Création des partitions
- 2) Prétraitement des données
- 3) Sélection des attributs
- 4) Ajustement, optimisation et validation du modèle
- 5) Evaluation du modèle

#### 1.3.3.1. Création des partitions

Pour évaluer la capacité prédictive d'un modèle de classification, nous avons divisé nos données d'une manière aléatoire en deux ensembles avec une taille qui dépend en grande partie de la quantité des données disponibles et de la sécurité nécessaire pour estimer l'erreur (Amat Rodrigo, n.d.). Les deux ensembles sont :

- **Ensemble d'entraînement** : Il présente 70% des données, qui forment le modèle de classification.
- **Ensemble de test** : Il présente 30% des données, du même type que celles qui composent l'ensemble d'apprentissage, mais qui n'ont pas été utilisées dans la création du modèle. Ce sont des données que le modèle n'a pas «vues».

Sous le logiciel R, la fonction **creat Data partion** assure une distribution approximative des données, c'est-à-dire, elle assure que l'ensemble d'entraînement et l'ensemble de test sont similaires en termes de variables de réponse.

### 1.3.3.2. Prétraitement des données

Cette étape regroupe l'ensemble des transformations des données effectives afin qu'elles puissent être acceptées lors de la classification par la méthode des séparateurs à vaste marge (SVM), pour se faire, nous sommes passés par deux étapes essentielles que sont :

- **L'imputation des valeurs manquantes** : Elle présente l'action d'estimer les valeurs manquantes en utilisant les informations disponibles. Dans notre cas aucune donnée manquante n'a été identifiée. Nous avons eu 20 prédicteurs (Bande 1, Bande 2, Bande 3, Bande 4, Bande 5, Bande 7, NDVI, NDWI, IC, TCB, TCG, TCW, Tvar, Tsecm, Tmoy, Tent, Tdiss, Tcor, Tcon).
- **La Standardisation et la mise à l'échelle** : Elle consiste à transformer les données pour que tous les prédicteurs soient approximativement à la même échelle, donc pour notre cas toutes les variables sont normalisées.

Après avoir effectué les prétraitements sur l'ensemble des données, nous sommes passés à l'étape d'exécution des transformations, qui a été réalisée sur les partitions d'entraînement et test.

### 1.3.3.3. Sélection des attributs

C'est la partie où il faut sélectionner les prédicteurs qui contiennent des informations utiles pour le modèle. Dans notre cas, cette étape est réalisée grâce à la méthode d'emballage basée sur l'élimination récursive. Elle évalue plusieurs modèles générés en ajoutant ou en éliminant des prédicteurs afin d'identifier la combinaison optimale qui maximise la capacité du modèle.

Selon la précision moyenne pour chaque taille de modèle, nous pouvons dire que nous avons eu 08 variables importantes (Bande 1, Bande 4, Bande 2, TCB, Bande 3, Moyenne, Bande 5, Bande 7), qui contiennent des informations utiles pour le modèle (**Voir annexe 03**).

#### 1.3.3.4. Ajustement, optimisation et validation du modèle

Les paramètres SVM ont été optimisés, en sélectionnant la combinaison qui a permis l'obtention de la plus grande précision de classification. Nous avons utilisé un noyau de fonction de base radiale (RBF), qui est la stratégie la plus couramment appliquée dans la classification de la couverture terrestre en raison de ses bonnes performances (Thanh Noi and Kappas, 2018). Les paramètres de coût (C) et de gamma ont été ajustés en explorant respectivement toutes les valeurs comprises entre 1–700 et 0,001–1.

L'optimisation du modèle a été réalisée en utilisant une validation croisée de 10 fois telle que mise en œuvre dans le package « caret » (Kuhn, 2008). En outre, nous avons utilisé le package « raster » pour générer des prédictions et des sorties spatiales. Cette procédure a été répétée pour étudier plusieurs combinaisons de prédicteurs comme détaillé dans le **Tableau 5** ci-dessous.

La règle de base est de combiner des prédicteurs spectraux d'un type particulier (soit des bandes spectrales, des indices spectraux ou des axes TC) et de les comparer avec leurs homologues qui contiennent un indicateur de texture (Tmoy). Ce dernier est sélectionné en fonction du test de séparabilité, en fonction de l'utilité de prédicteurs (**Voir annexe 03**).

**Tableau 5.** Résumé des combinaisons de prédicteurs spectraux explorés lors de la procédure de classification.

<i>Modèle</i>	<i>Description</i>	<i>Predicteurs</i>
<i>1</i>	<i>Bandes spectrales</i>	<i>Bleu+ Vert+ Rouge + PIR + SWIR1 + SWIR2</i>
<i>2</i>	<i>Bandes spectrales et texture</i>	<i>Bleu + vert + Rouge+ NIR + SWIR1 + SWIR2 + Tmoy</i>
<i>3</i>	<i>Tassled cap seul</i>	<i>TCG + TCB + TCW</i>
<i>4</i>	<i>Tasseled Cap et texture</i>	<i>TCG + TCB + TCW + Tmoy</i>
<i>5</i>	<i>Indices spectraux</i>	<i>NDVI + NDWI + IC</i>
<i>6</i>	<i>Indices spectraux et texture</i>	<i>NDVI +NDWI + IC + Tmoy</i>

### 1.3.3.5. Evaluation du modèle

Nous avons évalué la performance de tous les modèles candidats **Tableau 5** à l'aide de l'échantillon de validation (test). Le choix du modèle de classification final est basé sur l'exactitude de la classification et la séparabilité entre les classes.

Pour chaque modèle, nous avons construit une matrice de confusion pour résumer la performance de la classification entre toutes les combinaisons de classes d'occupation de sol observées et prévues (Ting, 2010).

En générale la matrice de confusion est un tableau qui croise le nombre d'unités d'échantillons de données spatiales affectées à une catégorie prévue, par rapport à une vraie catégorie (vérité de terrain) (Li et al., 2018). A partir de ces matrices, nous avons calculé deux mesures de précision, que sont (Cohen, 1960; Shahkooeei et al., 2014).:

- **La précision globale (OC)** : Elle présente le rapport entre le nombre de prédiction correctement classés et le nombre total de sites d'observation (vérité de terrain) [51].

$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{Nc} X_{ii}$$

N : Nombre total de sites d'observation

Nc : Nombre de classes

X<sub>ii</sub> : Nombre de prédictions bien classées dans la colonne i et la ligne i

- **L'indice de Kappa Cohen (IK)** : Il évalue entre les résultats obtenus et les observations, il s'étend sur un intervalle de (0 à 1) (d'un très mauvais accord à un accord parfait).

Ainsi, le bon accord est situé dans la fourchette de 0.6 à 0.8 et le très bon accord si l'indice est supérieur de 0.8 (Chalifoux et al. [Sans date]).

Le modèle atteignant les performances les plus élevées sera sélectionné comme modèle final et utilisé pour prédire l'occupation du sol sur toute la chronoséquence de l'imagerie, obtenant ainsi des cartes d'occupation du sol individuelle sur une base annuelle pour la période (1984-2017).

## Chapitre 2 : Résultats et Discussion

### 2. Résultats

La validation de la classification pour avoir les différentes cartes d'occupation du sol dépend de trois paramètres statistiques à savoir, l'exactitude globale (OC), l'indice Kappa (IK) et la matrice de confusion. La précision de la classification S.V.M varie avec les différentes données multi-ressources (spectrales et spatiales).

Afin de sélectionner le meilleur modèle de classification pour cette étude, nous avons comparé les différents résultats obtenus en commençant par l'analyse des 6 modèles réalisés,

#### - Modèle 01 :

À partir de **Tableau 6** ci-dessous, la précision de la classification, basée uniquement sur les bandes spectrales de Landsat a donné les paramètres suivants : OC : 0,9263 et IK : 0,909, ce qui signifie qu'on a un très bon accord entre les classes d'observation et les classes de prédiction.

La matrice de confusion montre que toutes les classes d'occupation du sol prédites ne sont pas bien classées mise à part la classe de la végétation forestière (VF) et la classe des sols sableux stables (SSS), Avec des erreurs de classification très faibles par rapport au nombre total des pixels pour chaque classe.

**Tableau 6.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le premier modèle (bandes spectrales).

		<i>Observation</i>						
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	<i>Total</i>
<i>Prédiction</i>	<i>VF</i>	15	0	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	20	1	1	0	0	22
	<i>TA</i>	0	3	17	0	0	0	20
	<i>SSS</i>	0	0	0	9	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	1	6	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	15	23	19	11	6	21	<b>N= 95</b>
	<b>IK : 0,909</b>							<b>OC :0.9263</b>

- **Modèle 02 :**

Lors de l'inclusion des paramètres de la texture (Tmoy) dans les bandes de Landsat, la précision globale et le coefficient de kappa ont augmenté à 0.9579 et 0.9479, respectivement. Ce résultat montre qu'il y'a un accord presque parfait entre les classes de prédictions et les classes de référence.

A partir de la matrice de confusion **Tableau 7** ci-dessous, on remarque une diminution de la confusion pour la classe de la végétation steppique (VS) avec la classe des terres agricoles (TA), et une absence de confusion pour la végétation forestière (VF) et les sols sableux (SS) et aucun changement pour la confusion des sols nus (SN) avec les terres agricoles (TA).

**Tableau 7.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le deuxième modèle (bandes spectrales et Tmoy).

		<i>Observation</i>						
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	<i>Total</i>
<i>Prédiction</i>	<i>VF</i>	15	0	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	21	0	0	0	1	22
	<i>TA</i>	0	2	18	0	0	0	20
	<i>SSS</i>	0	0	0	9	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	0	7	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	15	23	19	9	7	22	<b>N= 95</b>
		<b>IK : 0.9479</b>					<b>OC :0.9579</b>	

- **Modèle 03 :**

Pour le troisième modèle, les bandes de Tassled cap (TC) dérivées de Landsat ont montré une mesure de précision élevée avec un **OC** de 0.9158 et **IK** de 0.8959, mais moins faible par rapport aux deux modèles précédents.

A partir de la matrice d'erreur **Tableau 8** ci-dessous, nous pouvons voir que la classe de la végétation steppique est légèrement confondue avec la classe des TA et les SSS. Cependant, on note aucun changement pour la (VF), les sols nus (SN) et les sols sableux instables (SSI).

**Tableau 8.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le troisième modèle (Tassled cap seul).

		<i>Observation</i>						
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	<i>Total</i>
<i>Prediction</i>	<i>VF</i>	15	0	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	19	2	1	0	0	22
	<i>TA</i>	0	3	17	0	0	0	20
	<i>SSS</i>	0	0	1	8	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	0	7	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	15	22	21	9	7	22	<b>N= 95</b>
		<b>IK : 0.8959</b>					<b>OC : 0.9158</b>	

- **Modèle 04 :**

L'inclusion du paramètre de texture pour le Tasseled Cap (TC) n'a pas marqué une grande différence comparativement au troisième modèle, avec une précision globale de 0.9053 et un IK de 0.8829, ce qui signifie qu'on a un très bon accord entre les classes de prédiction et les classes de référence. Cependant les résultats du Tableau 7 révèlent une augmentation de confusion entre la classe des TA avec la classe VS, et entre la classe des SSS avec la classe des TA, sauf pour les sols sableux stables.

Ainsi, nous ne notons aucun changement pour la confusion entre la classe des SN et la classe des TA Tableau 9.

**Tableau 9.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le quatrième modèle (Tassled cap et Tmoy).

		<i>Observation</i>						
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	<i>Total</i>
<i>Prediction</i>	<i>VF</i>	14	1	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	20	1	1	0	0	22
	<i>TA</i>	0	3	16	0	0	1	20
	<i>SSS</i>	0	0	0	9	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	1	6	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	14	24	18	11	6	22	<b>N= 95</b>
		<b>IK: 0.8829</b>					<b>OC :0.9053</b>	

- **Modèle 05 :**

Le **Tableau 10** montre que la stratégie de regroupement des indices calculés auparavant (NDVI, NDWI, IC) a donné un bon accord entre les classes de prédictions et les classes d'observation, exprimé par une OC de 0.8211 et un (IK) de 0,7787, mais ces indicateurs restent moins faibles que les modèles précédents.

La matrice de confusion montre un grand désordre des pixels entre les classes de prédiction et les classes d'observation, précisément entre la classe des TA avec la classe de la VS, et la classe des SSI avec la classe des SSI. Cependant la confusion entre la classe des SN avec la classe de la VS reste la même que celle des modèles précédents.

**Tableau 10.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le cinquième modèle (Indices spectraux).

		<i>Observation</i>						
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	<i>Total</i>
<i>Prédiction</i>	<i>VF</i>	13	2	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	20	1	0	1	0	22
	<i>TA</i>	0	5	13	0	1	1	20
	<i>SSS</i>	0	0	0	9	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	5	2	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	13	27	15	14	4	22	<b>N= 95</b>
		<b>IK : 0.7787</b>					<b>OC : 0.8211</b>	

- **Modèle 06 :**

L'inclusion de paramètre de texture avec l'ensemble des indices (NDVI, NDWI, IC) a augmenté la précision des indicateurs du modèle avec une exactitude globale (OC) de 0.8842, et un très bon accord entre les classes de prédictions et les classes d'observation avec un IK : 0.8569. Ainsi, nous constatons une augmentation de la séparabilité entre les classes de prédiction et les classes d'observation **Tableau 11** (La classe des TA avec la classe de la VS et la classe des SSI avec des SSS).

Alors que nous ne notons aucun changement de la confusion entre la classe des sols nus et la classe des TA.

**Tableau 11.** Matrice de confusion entre classes d'occupation du sol prédites et observées selon le sixième modèle (Indices spectraux et Tmoy).

		<i>Observation</i>						<i>Total</i>
		<i>VF</i>	<i>VS</i>	<i>TA</i>	<i>SSS</i>	<i>SSI</i>	<i>SN</i>	
<i>Prediction</i>	<i>VF</i>	14	1	0	0	0	0	15
	<i>VS</i>	0	19	2	1	0	0	22
	<i>TA</i>	0	4	16	0	1	1	20
	<i>SSS</i>	0	0	0	9	0	0	9
	<i>SSI</i>	0	0	0	2	5	0	7
	<i>SN</i>	0	0	1	0	0	21	22
	<i>Total</i>	14	24	19	12	6	22	<b>N= 95</b>
		<b>IK : 0.8569</b>			<b>OC : 0.8842</b>			

Sur la base de cet ensemble de résultats, nous déduisons la meilleure stratégie de modélisation de la distribution spatiale des six classes d'occupation du sol, qui est de combiner les bandes spectrales brutes de Landsat avec l'indicateur de texture (Tmoy)

**Tableau 6. .**

En matière de précision, les stratégies basées uniquement sur les bandes spectrales brutes de Landsat ont surpassé toutes les autres combinaisons d'indices spectraux, ce qui montre que la synthèse des informations spectrales n'est pas tout à fait appropriée pour permettre la différenciation des classes d'occupation du sol dans la zone steppique de la wilaya de Tiaret.

### 3. Discussion

Nos résultats ont mis en évidence l'importance et l'efficacité de la méthode SVM pour obtenir les différentes cartes d'occupation du sol pour la zone de transition **Figure 18**. Les modèles basés sur la télédétection ont permis de capturer avec une précision suffisante les principales caractéristiques des types d'occupation du sol les plus courants dans la région. Ainsi, ils présentent les bases d'une utilisation efficace des données multi-sources pour améliorer la classification de l'occupation du sol. par conséquent ils nous permettent de mieux comprendre sa dynamique (Adepoju and Adelabu, 2020). Ceci est particulièrement important dans les milieux arides et semi-arides, où la réflectance des sols et des roches est beaucoup plus élevée que celle de la végétation; ce qui rend la distinction entre les classes d'occupation du sol assez difficile (Barati et al., 2011).

En accord avec les études menées dans des milieux similaires (Chen, Rao 2008; Barati et al. 2011; Liu et al. 2014; Mishra et al. 2019; Li et al. 2020), nous encourageons l'utilisation des images Landsat comme source de données pour la classification de l'occupation du sol (Liu et al., 2014).

Dans ce cadre, nos résultats suggèrent que l'utilisation des indices spectraux basés sur les bandes verte diminue la précision de la classification ; bien qu'ils soient inappropriés.

Par rapport aux indices dérivés de l'imagerie Landsat, la combinaison des bandes spectrales dans les séries temporelles a abouti à de meilleurs résultats de classification. Cette stratégie est légèrement plus performante que les expériences précédentes qui utilisent le TC, avec une précision d'environ 90% (Liu and Liu, 2010). Les indices spectraux utilisés dans cette étude (NDVI, NDWI, IC) ont montré une faible sensibilité aux typologies de la couverture terrestre dans les régions sèches, comme suggéré par (Adepoju and Adelabu, 2020), principalement en raison de la faible teneur en humidité de la végétation dans cette zone et pendant la période octobre-janvier (Barati et al., 2011).

Dans tous les cas, l'utilisation d'indicateurs de texture des sols s'est avérée essentielle. La prise en compte de tout indice de texture a toujours suscité une amélioration de la classification de l'occupation du sol (Mishra et al., 2019).

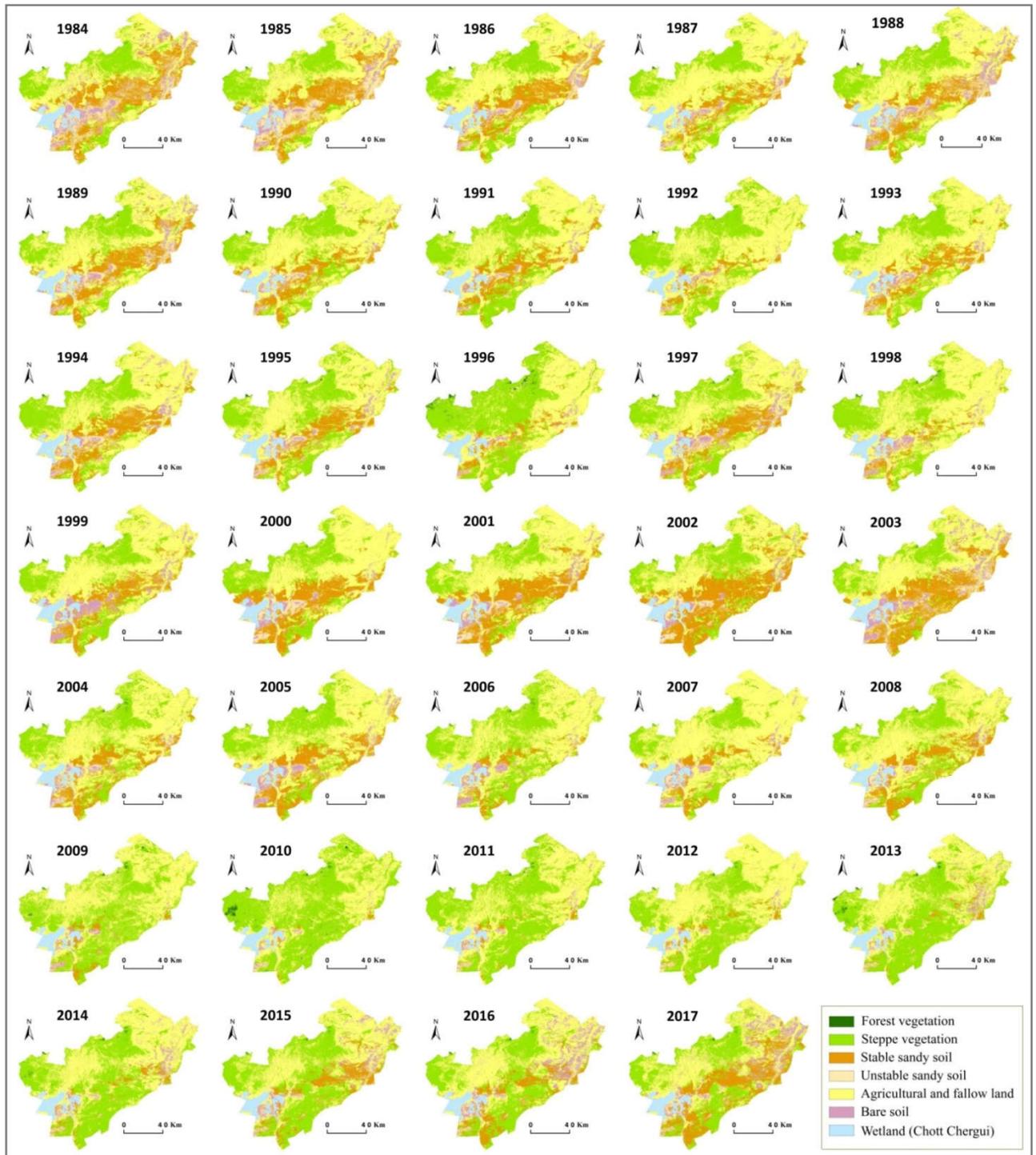


Figure 18 . Cartes d'occupation du sol de la zone steppique de la wilaya de Tiaret de 1984 à 2017.

## **Conclusion**

Grace à la méthodologie utilisée, nous avons pu réaliser 34 cartes d'occupation du sol avec une grande précision. Ces cartes peuvent faire l'objet d'annales de la zone de transition de l'Atlas tellien et saharien de la wilaya de Tiaret.

Ainsi, nous pouvons affirmer que nous avons constitué une base de données annuelles de 6 classes d'occupation du sol (**Voir Annexe 04**), que sont la végétation forestière, la végétation steppique, les terres agricoles, les sols sableux stables les sols sableux instables, et les sols nus.

Cette étude a montré aussi l'importance et l'efficacité de la méthode des SVM dans la classification des sols dans la zone d'étude.

Aussi, elle nous a révélé que les combinaisons des bandes spectrales des séries temporelles Landsat ont donné des bons résultats de classification conformément à leurs caractéristiques.

---

---

## *Conclusion générale*

---

---

Dans le cadre de cette recherche, nous avons tenté de révéler et de porter des solutions aux problèmes qui se posent dans la zone steppique de la wilaya de Tiaret. Pour se faire, nous avons abordé son état passé et présent, qui nous permettent de comprendre le processus de changements sous les différents facteurs agissant sur l'environnement ; principalement l'interaction de l'homme et son espace.

Cette démarche a pour support une approche inhérente à la télédétection. Cette dernière nous a permis de traiter avec une grande précision deux axes de recherche que sont :

- Un axe technique, qui nous a permis d'opter pour une démarche basée sur la classification par la méthode des SVM, des différentes combinaisons, qui regroupent des prédicteurs divers. Ces derniers présentent les séries multi-temporelles de Landsat durant la période (1984-2017) et ses dérivés ; ainsi que la texture qui a joué un rôle prépondérant dans l'amélioration de la précision.

L'obtention des cartes d'occupation du sol est basée principalement sur la précision, qui nous a permis de confirmer l'adéquation des résultats par trois paramètres essentiels que sont : La précision globale (OC), L'indice de Kappa (IK) et la matrice de confusion.

Ceci, nous a permis d'obtenir 34 cartes d'occupation du sol, en distinguant en dehors des agglomérations et des zones humides six unités essentielles que sont : La végétation forestière (VF), la végétation steppique (VS), les terres agricoles (TA), les sols sableux stables (SSS), les sols sableux instables (SSI) et les sols nus.

Cet ensemble de résultats, nous a permis de mettre en évidence l'importance de l'utilisation des bandes multispectrales de Landsat dans un milieu hétérogène, pour élaborer une base de données relatives à la steppe sur une échelle régionale.

- L'axe thématique : Après l'obtention de 34 cartes d'occupation du sol durant la période de (1984-2017), avec une grande précision ; nous nous sommes attelés à l'étude de la dynamique d'occupation du sol et à l'évaluation quantitative et qualitative de sa mutation pour deux périodes (1984-2003) et ( 2003-2017), avec la détermination des facteurs responsables des transitions principales, en se basant sur une modélisation statistique et spatiale.

Pour cerner parfaitement les relations existantes entre les facteurs potentiels des changements, nous avons choisi de ne travailler que sur les transitions principales pour les deux périodes à savoir : (TA à VS), (TA à SSS), (VS à TA), (SSS à VS) et (SSS à TA).

En générale, les résultats obtenus dans cette partie ont montré que la plupart des changements se réalisent dans le sud de la steppe contrairement au nord qui se caractérise par un faible mouvement des classes spécialement les terres agricoles et la végétation steppique.

En première période (1984-2003), les résultats ont révélé une régression de la végétation steppique, ainsi que les terres agricoles au profit des sols sableux et les sols nus, contrairement à la deuxième période (2003-2017), dont nous avons constaté une progression des terres agricoles et la végétation steppique, avec une régression des sols sableux stables.

Aussi, les résultats obtenus nous a dévoilé que la steppe affronte trois majeurs problèmes : l'extension des terres agricoles, la régression de la végétation steppique, et l'envahissement de la désertification en raison des facteurs anthropiques et des facteurs indirectes (climatiques, topographiques, démographiques, et les indices de dégradations).

Les résultats obtenus révèlent aussi, que la steppe affronte trois problèmes majeurs à savoir : l'extension des terres agricoles, la régression de la végétation steppique et l'envahissement de la désertification en raison des facteurs anthropiques et des facteurs indirectes (climatiques, démographiques et les phénomènes de dégradation.)

Cette étude nous a dévoilé la fragilité de la steppe et sa dégradation progressive, état qui ne lui permet pas de résister aux différents aléas climatiques. Cette situation n'échappe pas aux gestionnaires et les décideurs, qui proposent des programmes inadaptés, sans approches durables en encourageant le développement agricole au profit des espaces steppiques et sans prendre en charge les préoccupations réelles des populations locales. Cette manière d'agir pousse à la destruction des équilibres entre société et ressources naturelles de la steppe. Ceci a abouti, à des comportements destructifs, qui se manifestent par l'abondant des terrains agricoles non viables, l'exploitation excessive des ressources hydriques, les surpâturages, défrichements...etc, nous nous retrouvons alors avec un espace steppique hétérogène, qui est soumis à plusieurs problèmes environnementaux, dont le plus crucial est celui de la désertification.

Face à ce cheminement vers le chaos et pour éviter la disparition de cette écosystème qui est la steppe, il faut mener une lutte implacable contre le phénomène de la désertification, en proposant des activités économiques adaptées à la société et à l'écosystème steppique, et qui doivent le valoriser, des programmes de restaurations et de conservation s'imposent, en intégrant les populations locales dans cette bataille de sauvegarde d'une zone de transition plus que nécessaire à l'équilibre des espaces environnementaux.

De point de vue recherche scientifique, nous pensons qu'il est nécessaire de réunir toutes les commodités scientifiques pour améliorer cette étude et permettre aussi la réalisation d'autres travaux. Dans ce cadre nous avons retenu quelques suggestions telles que :

- Le suivi de l'état de chaque classe d'occupation du sol à l'échelle temporelle et spatiale en utilisant des résolutions fines ;

- Passer à la simulation pour prédire l'état de la steppe dans le futur en intégrant des nouvelles données, spécialement les données climatiques pour voir l'impact de changement climatique sur la steppe à différentes échelles ;
- Nécessité d'actualiser annuellement les bases de données sur l'occupation du sol pour la progression de la recherche dans ce thème ;
- Nécessité de développer une approche multi-scalaire sur la dynamique de la steppe afin de faire face à différents problèmes environnementaux ;
- Proposer des recherches spécialement sur le suivi du processus de l'évolution des espèces indicatrices de la dégradation de la steppe dans ses milieux les plus fragiles ;
- Participation de toutes les parties concernées par ce sujet pour obtenir des résultats précis et efficaces, pour affronter les dangers qui menacent les steppes, afin d'améliorer et de préserver les caractéristiques sociales et naturelles qui caractérisent la région.

---

---

*Références bibliographiques*

---

---

- Abbassia, A., 2015. Diachronic analysis of the steppe land cover of the department of Sidi Bel- Abbes using the remote sensing ( Western Algeria ) Diachronic analysis of the steppe land cover of the department of Sidi Bel- Abbes using the remote sensing ( Western Algeria ).
- Abdelbaki, A., 2012. Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de oued Bouguedfine ( Wilaya de Chlef). Université Hassiba Ben Bouali, Chlef.
- Adepoju, K.A., Adelabu, S.A., 2020. Improving accuracy of Landsat-8 OLI classification using image composite and multisource data with Google Earth Engine. *Remote Sensing Letters* 11, 107–116. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1690792>
- Aidoud, A., 2011. FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTEMES MEDITERRANEENS 50.
- Aidoud, A., Le Floc'H, E., Le Houérou, H.-N., 2006. Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Science et changements planétaires / Sécheresse* 17(1–2), 19–30.
- Al-doski, J., Mansor, S.B., Shafri, H.Z.M., 2013. Support vector machine classification to detect land cover changes in Halabja City, Iraq, in: 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC). Presented at the 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC), IEEE, Langkawi, Malaysia, pp. 353–358. <https://doi.org/10.1109/BEIAC.2013.6560147>
- Amat Rodrigo, J., n.d. Validation de modèle prédictif (machine learning): validation croisée, OneLeaveOut, Bootstrapping [WWW Document]. URL [https://www.cienciadedatos.net/documentos/30\\_cross-validation\\_oneleaveout\\_bootstrap#Estrategias\\_de\\_validaci%C3%B3n](https://www.cienciadedatos.net/documentos/30_cross-validation_oneleaveout_bootstrap#Estrategias_de_validaci%C3%B3n) (accessed 12.15.20).
- Amrouni, Y., Berrayah, M., Gelabert, P., Vega-Garcia, C., Hellal, B., Rodrigues, M., 2021. Recent land cover trends in the transition region of Tiaret, Algeria. *CATENA* 105861. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105861>
- Asfaw, E., Suryabhadgavan, K.V., Argaw, M., 2018. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17, 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.003>
- Baghi, N.G., n.d. Do soil-adjusted or standard vegetation indices better predict above ground biomass of semi-arid, saline rangelands in North-East Iran? 14.
- Bagnouls, F., Gaussen, H., 1953. Saison sèche et Indice xérothermique.
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T., Tong, Q., 2014. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters* 5, 423–431. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>
- Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 14, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.06.001>
- Bedrani, S., 1995. Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semi-arides. *Rapp. Techn. Algérie, doc. Banque Mondiale*, 61p.+ ann.
- Benabadj, N., Aboura, R., Benchouk, F.-Z., 2009. La régression des steppes méditerranéennes : le cas d'un faciès à *Lygeum spartum* L. d'Oranie (Algérie). *ecmed* 35, 75–90. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2009.1390>
- Bencherif, S., 2013. L'élevage agropastoral de la steppe algérienne dans la tourmente : enquêtes et perspectives de développement. *Mondes en développement* n°161, 93. <https://doi.org/10.3917/med.161.0093>
- Bencherif, S., 2011. L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne. *Évolution et possibilités de développement*.

- Benchetrit, M., 1955. Le problème de l'érosion des sols en montagne et le cas du Tell algérien (Essai de géographie appliquée). *rga* 43, 605–640. <https://doi.org/10.3406/rga.1955.1189>
- Bennie, J., Hill, M.O., Baxter, R., Huntley, B., 2006. Influence of slope and aspect on long-term vegetation change in British chalk grasslands. *Journal of Ecology* 94, 355–368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01104.x>
- Bhattacharya, A., 1983. EXAMPLES USING REMOTE SENSING TECHNIQUES 11.
- Bo, Y.-C., Song, C., Wang, J.-F., Li, X.-W., 2014. Using an autologistic regression model to identify spatial risk factors and spatial risk patterns of hand, foot and mouth disease (HFMD) in Mainland China. *BMC Public Health* 14, 358. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-358>
- Bonn, Ferdinand.J., Rochon, G.U., 1992. Précis de télédétection. Presses de l'Université du Québec, Sillery, Québec.
- Bouacha, M.I., 2019. Application des SIG & de la télédétection à l'étude de la dynamique de végétation des parcours steppiques algériens. Cas de la région de Tiaret. Université Ibn Khaldoun Tiaret.
- Bouacha, M.I., Maatoug, M., 2018. Vegetation dynamics of Algerian's steppe ecosystem. A case of the region of Tiaret. *Environmental Research, Engineering and Management* 74, 60–70. <https://doi.org/10.5755/j01.arem.74.1.20095>
- Boualem, N., 2018. GEOMETRIE DE LA SEDIMENTATION CRETACEE (ALBIEN – TURONIEN) DES MONTS DE TIARET (FRENDJA, CHELLALA, NADOR...), CORRELATIONS ET IMPLICATIONS PALEOGEOGRAPHIQUES.
- Bowers, A.J., Zhou, X., 2019. Receiver Operating Characteristic (ROC) Area Under the Curve (AUC): A Diagnostic Measure for Evaluating the Accuracy of Predictors of Education Outcomes. *Journal of Education for Students Placed at Risk (JESPAR)* 24, 20–46. <https://doi.org/10.1080/10824669.2018.1523734>
- Caloz, R., Collet, C., 2001. Précis de télédétection - Volume 3: Traitements numériques d'images de télédétection. <https://doi.org/10.2307/j.ctv5j018b>
- Candillier, L., Tellier, I., Torre, F., 2004. Tuareg : Classification non supervisée contextualisée 16.
- Canty, M.J., Nielsen, A.A., Conradsen, K., Skriver, H., 2019. Statistical Analysis of Changes in Sentinel-1 Time Series on the Google Earth Engine. *Remote Sensing* 12, 46. <https://doi.org/10.3390/rs12010046>
- Cavayas, F., 2010. Typologie des images numériques.
- Centre canadien de télédétection, n.d. Notions fondamentales de télédétection.
- CGTN, 2013. vocabulaire des sciences et techniques spatiales.
- Chakali, A.N., 2021. La Géoprospective territoriale et son application sur le développement en zone de montagne Oued El Arabe. Université Mustapha Ben Boulaid Batna2, Batna, Algérie.
- Chalifoux, S., Nastev, M., Lamontagne, C., Latifovic, R., Fernandes, R., n.d. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DU SOL PAR IMAGERIE SATELLITAIRE LANDSAT EN HYDROGÉOLOGIE 6, 9.
- Chen, S., Rao, P., 2008. Land degradation monitoring using multi-temporal Landsat TM/ETM data in a transition zone between grassland and cropland of northeast China. *International Journal of Remote Sensing* 29, 2055–2073. <https://doi.org/10.1080/01431160701355280>
- Cheriguene, R.S., Mahi, H., n.d. EXTRACTION DES PARAMETRES DE TEXTURE PERTINENTS EN VUE D'UNE CLASSIFICATION SUPERVISEE SPECTRO-TEXTURALE DES IMAGES SATELLITAIRES.
- Chorwicz, J., Derouin, J.-P., 2003. La télédétection et la cartographie géomorphologique et géologique, Scientifiques GB. ed. France.

- Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement* 20, 37–46.
- Congalton, R.G., 2010. Remote Sensing: An Overview. *GIScience & Remote Sensing* 47, 443–459. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.47.4.443>
- Corgne, S., 2014. Étude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par télédétection et fusion d'informations. Université Rennes 2.
- Cornet, A., 2002. La désertification à la croisée du développement et de l'environnement : un problème qui nous concerne, in: *Johannesburg 2002 : sommet mondial du développement durable : quels enjeux ? : quelle contribution des scientifiques ?* ADPF ; MAE, Paris (FRA) ; Paris, pp. 93–133.
- Crist, E.P., 1985. A TM Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment* 17, 301–306. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90102-6)
- DESHAYES, M., MAUREL, P., 1990. L'image spatiale et son contenu. *Options méditerranéennes. Série A* 11–20.
- Di Castri, Francesco., Hansen, Andrew, Holland, Marjorie M., International Union of Biological Sciences.,, 1988. A new look at ecotones : emerging international projects on landscape boundaries. International Union of Biological Sciences, Paris, France.
- Dictionary by Merriam-Webster [WWW Document], 2022. URL <https://www.merriam-webster.com/> (accessed 3.10.22).
- Domínguez-Almendros, S., Benítez-Parejo, N., Gonzalez-Ramirez, A.R., 2011. Logistic regression models. *Allergologia et Immunopathologia* 39, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2011.05.002>
- Ducrot, D., 2005. Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-source.
- Duvignaud, J., 1992. Aménagement et Gestion du territoire, application en Algérie, (région de Tiaret et d'Alger) 1990-1992 [WWW Document]. URL <http://kent.cdha.fr/Record.htm?Record=19164948124919821209> (accessed 3.20.22).
- El Hadani, Driss., 1997. Télédétection et détection et systèmes d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. Centre Royal de Teledetection, Rabat, Maroc.
- Emberger, L., 1955. Une classification biogéographique des climats.
- Escadafal, R., 1993. Remote sensing of soil color: Principles and applications. *Remote Sensing Reviews* 7, 261–279. <https://doi.org/10.1080/02757259309532181>
- Fénelon, P., 1939. 1e partie. — Les steppes. *ingeo* 3, 136–139. <https://doi.org/10.3406/ingeo.1939.6620>
- Ferro, I., Morrone, J.J., 2014. Biogeographical transition zones: a search for conceptual synthesis: Biogeographical Transition Zones. *Biol J Linn Soc Lond* 113, 1–12. <https://doi.org/10.1111/bij.12333>
- Gao, B., 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghaemi, M., Sanaeinejad, S.H., Astaraei, A., 2012. Vegetation Cover Assessment Based on Soil Properties in Arid and Semi-arid Areas using Landsat Images: A Case Study in Neyshaboer Area.
- Ghafoul, M., 2009. Contribution à un diagnostic des groupements végétaux dans un milieu steppique en désertification. Cas de Aïn D'heb – Tiaret.
- Ghezlaoui, B.-E., Benabadji, N., Benmansour, D., Merzouk, A., 2011. ANALYSE DES PEUPELEMENTS VÉGÉTAUX HALOPHYTES DANS LE CHOTT EL-GHARBI (ORANIE-ALGÉRIE) 36, 12.

- Gibson, P.J., Power, C.H., 2000. *Introductory remote sensing: principles and concepts*. Routledge, London ; New York, NY.
- Girard, M.C., Girard, C.M., 2010. *Traitement des données de télédétection - 2e éd.: Environnement et ressources naturelles, Environnement et sécurité*. Dunod.
- Girard, M.C., Girard, C.M., 1999. *Traitement des données de télédétection, Technique et ingénierie*. Dunod.
- Goosse, H., Barriat, P.Y., Lefebvre, W., Loutre, M.F., Zunz, V., 2010. Chapter 1. Description of the climate system and its components, in: *Introduction to Climate Dynamics and Climate Modelling*.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- GRESSIN, A., 2014. *Mise à jour d'une base de données d'occupation du sol à grande échelle en milieux naturels à partir d'une image satellite THR (Thèse de doctorat)*. PARIS-DESCARTES.
- Hadeid, M., 2011. La politique de mise en valeur agricole en milieu steppique algérien : un essai de bilan dans les Hautes Plaines sud oranaises (Algérie). *insaniyat* 99–118. <https://doi.org/10.4000/insaniyat.12723>
- Halmy, M.W.A., Gessler, P.E., 2015. The application of ensemble techniques for land-cover classification in arid lands. *International Journal of Remote Sensing* 36, 5613–5636. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1103915>
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973. Textural Features for Image Classification. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.* SMC-3, 610–621. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- Harrell, F.E., 2015. *Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis*, Springer Series in Statistics. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19425-7>
- Hirche, A., Boughani, A., Salamani, M., 2007. Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes 18, 7.
- Holland, M.M., Risser, P.G., 1991. The Role of Landscape Boundaries in the Management and Restoration of Changing Environments: Introduction, in: Holland, M.M., Risser, P.G., Naiman, R.J. (Eds.), *Ecotones*. Springer US, Boston, MA, pp. 1–7. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_1)
- Hosmer, D.W., Lemeshow, S., Sturdivant, R.X., 2013. *Applied logistic regression*, Third edition. ed, Wiley series in probability and statistics. Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Huang, B., Huang, J., Gilmore Pontius, R., Tu, Z., 2018. Comparison of Intensity Analysis and the land use dynamic degrees to measure land changes outside versus inside the coastal zone of Longhai, China. *Ecological Indicators* 89, 336–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.057>
- Jacquemoud, S., 2008. *Télédétection et géophysique spatiale* 36.
- Jacques, J., 2018. *Introduction-R*.
- Jin, Y., Liu, X., Yao, J., Zhang, X., Zhang, H., 2020. Mapping the annual dynamics of cultivated land in typical area of the Middle-lower Yangtze plain using long time-series of Landsat images based on Google Earth Engine. *International Journal of Remote Sensing* 41, 1625–1644. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1673917>
- Kairu, E.N., 1982. An introduction to remote sensing. *GeoJournal* 6. <https://doi.org/10.1007/BF00210657>
- Kardoulas, N.G., Bird, A.C., Lawan, A.I., 1996. Geometric correction of SPOT and Landsat imagery: a comparison of map-and GPS-derived control points. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62, 1173–1177.

- Kawada, K., Wuyunna, Nakamura, T., 2011. Land degradation of abandoned croplands in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Grassland Science* 57, 58–64. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2010.00209.x>
- Kennedy, R., Yang, Z., Gorelick, N., Braaten, J., Cavalcante, L., Cohen, W., Healey, S., 2018. Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing* 10, 691. <https://doi.org/10.3390/rs10050691>
- Kergoumard, C., 2000. LA TÉLÉDÉTECTION AÉRO-SPATIALE : UNE INTRODUCTION.
- Khader, M., 2019. Apport de la géomatique à l'analyse spatio-temporelle des parcours steppiques: Cas de la région de Djelfa - Algérie. Université Mohamed Khider- Biskra.
- Khalidi, A., 2014. La gestion non-durable de la steppe algérienne. *vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.15152>
- Kuhn, M., 2008. Building predictive models in R using the caret package. *Journal of statistical software* 28, 1–26.
- Kupidura, P., 2019. The Comparison of Different Methods of Texture Analysis for Their Efficacy for Land Use Classification in Satellite Imagery. *Remote Sensing* 11, 1233. <https://doi.org/10.3390/rs11101233>
- Lapie, Georges., 1909. Etude phytogéographique de la Kabylie du Djurjura. Delagrave, Paris.
- Le Houérou, H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique: diversité biologique, développement durable et désertisation, Options méditerranéennes. Série B. Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes, Institut agronomique méditerranéen de Montpellier ; Agence de coopération culturelle et technique, Montpellier : Paris.
- Le Houérou, H.N., Claudin, J., Pouget, M., 1977. Etude bioclimatique des steppes Algériennes 49.
- Le Moal, S., 2013. Météorologie satellitaire pour les prévisionnistes.
- Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y., Cao, J., 2020. Driving Factors and Future Prediction of Land Use and Cover Change Based on Satellite Remote Sensing Data by the LCM Model: A Case Study from Gansu Province, China. *Sensors* 20, 2757. <https://doi.org/10.3390/s20102757>
- Li, L., Ban, H., Wechsler, S.P., Xu, B., 2018. Spatial Data Uncertainty, in: *Comprehensive Geographic Information Systems*. Elsevier, pp. 313–340. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09610-X>
- Li, W., Dong, R., Fu, H., Wang, J., Yu, L., Gong, P., 2020. Integrating Google Earth imagery with Landsat data to improve 30-m resolution land cover mapping. *Remote Sensing of Environment* 237, 111563. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111563>
- Li, X.R., Jia, X.H., Dong, G.R., 2006. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments* 64, 505–522. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.011>
- Li, Y., Liu, G., Huang, C., 2017. Dynamic Changes Analysis and Hotspots Detection of Land Use in the Central Core Functional Area of Jing-Jin-Ji from 2000 to 2015 Based on Remote Sensing Data. *Mathematical Problems in Engineering* 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2183585>
- Li, Z., Liu, W., Zheng, F., 2013. The land use changes and its relationship with topographic factors in the Jing river catchment on the Loess Plateau of China. *SpringerPlus* 2, S3. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-S1-S3>
- Lingmin He, Fansheng Kong, Zhangquan Shen, 2006. Artificial Neural Network Ensemble for Land Cover Classification, in: 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Presented at the 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, IEEE, Dalian, China, pp. 10054–10057. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1713966>

- Liu, D., Xia, F., 2010. Assessing object-based classification: advantages and limitations. *Remote Sensing Letters* 1, 187–194. <https://doi.org/10.1080/01431161003743173>
- Liu, L., Zhao, X., Meng, Q., Zhao, H., Lu, X., Gao, J., Chang, X., 2017. Annual Precipitation Fluctuation and Spatial Differentiation Characteristics of the Horqin Region. *Sustainability* 9, 111. <https://doi.org/10.3390/su9010111>
- Liu, Q., Guo, Y., Liu, G., Zhao, J., 2014a. Classification of Landsat 8 OLI image using support vector machine with Tasseled Cap Transformation, in: 2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC). Presented at the 2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC), IEEE, Xiamen, pp. 665–669. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2014.6975915>
- Liu, Q., Liu, G., 2010. Combining Tasseled Cap Transformation with Support Vector Machine to classify Landsat TM imagery data, in: 2010 Sixth International Conference on Natural Computation. Presented at the 2010 Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC), IEEE, Yantai, China, pp. 3570–3572. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5582727>
- Lu, D., Weng, Q., 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28, 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Macheroum, A., Kadik, L., 2015. Évaluation des ressources pastorales et de la biodiversité floristique dans les parcours steppiques orientaux de l'Algérie (cas de Tébessa).
- Mahmon, N.A., Ya'acob, N., 2014. A review on classification of satellite image using Artificial Neural Network (ANN), in: 2014 IEEE 5th Control and System Graduate Research Colloquium. Presented at the 2014 IEEE 5th Control and System Graduate Research Colloquium, pp. 153–157. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2014.6908713>
- Maimouni, S., Bannari, A., El-Harti, A., El-Ghmari, A., 2011. Potentiels et limites des indices spectraux pour caractériser la dégradation des sols en milieu semi-aride. *Canadian Journal of Remote Sensing* 37, 285–301. <https://doi.org/10.5589/m11-038>
- Maire, R., 1926. Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Imprimerie-papeterie Baconnier freres, Alger.
- Mårtensson, U., 2011. INTRODUCTION TO REMOTE SENSING 55.
- McFEETERS, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Meddour, R., 2010. Bioclimatologie, Phytogéographie Et Phytosociologie En Algérie : Exemple Des Groupements Forestiers Et Preforestiers De Kabylie Djurdjureenne. Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou, Tizi Ouzou, Algérie.
- MERRA-2 [WWW Document], n.d. URL <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/> (accessed 4.3.22).
- Mezrag, M., 2018. Dynamique environnementale des zones steppiques à Djelfa (Algérie): Caractérisation par télédétection des changements du couvert végétal et des processus d'ensablement. UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2, France.
- Mhawish, Y.M., Saba, M., 2016. Impact of Population Growth on Land Use Changes in Wadi Ziqlab of Jordan between 1952 and 2008. *International Journal of Applied Sociology* 7–14.
- Mihi, A., 2012. La forêt de Zenadia (Haute Plaine Sétifienne) Diagnostic et perspective de protection. Université Ferhat Abbas, Sétif.
- Mishra, V.N., Prasad, R., Rai, P.K., Vishwakarma, A.K., Arora, A., 2019a. Performance evaluation of textural features in improving land use/land cover classification accuracy of heterogeneous landscape using multi-sensor remote sensing data. *Earth Sci Inform* 12, 71–86. <https://doi.org/10.1007/s12145-018-0369-z>

- Mouhous, A., 2005. Les causes de dégradation des parcours steppiques. Ecole nationale supérieure agronomique, Alger.
- Mouissa, H., 2013. Evolution des peuplements de Pin d'Alep, cartographie et estimation du volume de bois par télédétection. Cas de la forêt domaniale de Sénalba Chergui, Wilaya de Djelfa. Ecole nationale supérieure agronomique.
- Moulay, A., Benabdeli, K., Morsli, A., 2012. Quel avenir pour la steppe à Alfa dans le Sud-Ouest algérien ? Forêt méditerranéenne.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>
- Mukonki, M.N., 1980. Application de la télédétection à l'étude structurale du système de fosses de l'Est-africain.
- Najmuddin, O., Deng, X., Bhattacharya, R., 2018. The dynamics of land use/cover and the statistical assessment of cropland change drivers in the Kabul River Basin, Afghanistan. *Sustainability (Switzerland)* 10. <https://doi.org/10.3390/su10020423>
- Navalgund, R.R., 2001. Remote sensing. *Resonance* 6, 51–60. <https://doi.org/10.1007/BF02913767>
- NCERT (Ed.), 2021. Practical Work in Geography, in: Introduction to Remote Sensing.
- Nedjimi, B., Guit, B., 2012. LES STEPPES ALGÉRIENNES: CAUSES DE DÉSÉQUILIBRE [WWW Document]. URL <https://revues.univ-ouargla.dz/index.php/volume-2-numero-2-journal-2012/69-les-steppes-algeriennes-causes-de-desequilibre-nedjimi-bouزيد-et-guit-brahim> (accessed 9.20.20).
- Nedjraoui, D., 2004. Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. *Cahiers Options Méditerranéennes* 6.
- Nedjraoui, D., Bédrani, S., 2011. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *VertigO* 1–15. <https://doi.org/10.4000/vertigo.5375>
- Nedjraoui, D., Bédrani, S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.5375>
- Nedjraoui, D., Hirche, A., Boughani, A., Salamani, M., Bouzenoune, A., Omari, R.H.L., Slimani, H., 2016. Surveillance à long terme des écosystèmes steppiques et suivi de la désertification. Cas de la steppe du Sud Ouest Oranais (Algérie) 17.
- Odum, E.P., 1971. Fundamentals of ecology [WWW Document]. URL <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/154846.html>
- Okin, G.S., Roberts, D.A., 2004. Remote Sensing in Arid Regions: Challenges and Opportunities 30.
- Oloukoi, J., Mama, V.J., 2006. MODÉLISATION DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LE DÉPARTEMENT DES COLLINES AU BÉNIN 6, 19.
- Ozdemir, A., 2011. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology* 405, 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.015>
- Paneque-Gálvez, J., Mas, J.-F., Moré, G., Cristóbal, J., Orta-Martínez, M., Luz, A.C., Guèze, M., Macía, M.J., Reyes-García, V., 2013. Enhanced land use/cover classification of heterogeneous tropical landscapes using support vector machines and textural homogeneity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23, 372–383. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.10.007>
- Parenteau, M.P., Bannari, A., El-Harti, A., Bachaoui, M., El-Ghmari, A., 2003. Characterization of the state of soil degradation by erosion using the hue and coloration indices, in: IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477). Presented at the IGARSS 2003. 2003 IEEE

- International Geoscience and Remote Sensing Symposium., IEEE, Toulouse, France, pp. 2284–2286. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2003.1294416>
- Park, H.-A., 2013. An Introduction to Logistic Regression: From Basic Concepts to Interpretation with Particular Attention to Nursing Domain. *J Korean Acad Nurs* 43, 154. <https://doi.org/10.4040/jkan.2013.43.2.154>
- Pasquarella, V.J., Holden, C.E., Kaufman, L., Woodcock, C.E., 2016. From imagery to ecology: leveraging time series of all available Landsat observations to map and monitor ecosystem state and dynamics. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 2, 152–170. <https://doi.org/10.1002/rse2.24>
- Patel, N.N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F.R., Tatem, A.J., Trianni, G., 2015. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>
- Persits, F.M., Ahlbrandt, T.S., Tuttle, M.L., Charpentier, R.R., Brownfield, M.E., Takahashi, K.I., 1997. Maps showing geology, oil and gas fields and geological provinces of Africa (Report No. 97- 470A), Open-File Report. Reston, VA. <https://doi.org/10.3133/ofr97470A>
- Pohl, C., Genderen, J. van, 2016. *Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide*. CRC Press.
- Pouchin, T., 2001. *Élaboration d'un observatoire paysager : application à l'estuaire de la Seine* (These de doctorat). Le Havre.
- Pouget, M., 2007. *Le milieu steppique du sud-Algérois*.
- Pouget, M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises 569.
- Quezel, 1962. *Nouvelle flore de l'Algérie et des regions desertiques meridionales*. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Quirin, A., 2002. *Découverte de règles de classification par classifieurs évolutifs*.
- Rebati, N., 2019. *Impact des facteurs climatiques et géographiques sur la biodiversité microbienne des sols du sous bassin versant de Oued K'sob*.pdf. Université Ibn Khaldoun Tiaret.
- Rebiha, B., 1983. *Contribution à l'étude de l'aménagement pastoral dans les zones steppiques: cas de la coopérative pastorale de Aïn Oussera (W. Djelfa)* (PhD Thesis). Thèse de Magister-Institut Agronomique d'Alger.
- Rimal, B., Rijal, S., Kunwar, R., 2020. Comparing Support Vector Machines and Maximum Likelihood Classifiers for Mapping of Urbanization. *J Indian Soc Remote Sens* 48, 71–79. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01056-9>
- Rouse Jr, J.W., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., Harlan, J.C., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.
- Roy, D.P., Kovalsky, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., Egorov, A., 2016. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sensing of Environment* 185, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>
- Scanvic, J.-Y., 1983. *L'utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre*. Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans.
- Sha, Z., Bai, Y., 2013. Mapping grassland vegetation cover based on Support Vector Machine and association rules, in: *2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC)*. Presented at the 2013 9th International Conference on Natural Computation (ICNC), IEEE, Shenyang, China, pp. 44–49. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2013.6817941>
- Shahkooeei, E., Arekhi, S., Kani, A.N., 2014. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use changes using support vector machine algorithm (Case study: Ilam dam watershed) 10.

- Singh, S., Kaur, R., Goraya, A., Singh, Amandeep, Singh, Amritpal, 2012. Review of Different Topographic Correction Techniques for Satellite Imagery 4.
- Sitayeb, T., Belabbès, I., 2018. Landscape Change in the Steppe of Algeria South-West Using Remote Sensing. *Annals of Valahia University of Targoviste, Geographical Series* 18, 41–52. <https://doi.org/10.2478/avutgs-2018-0005>
- Soudani, K., 2005. INTRODUCTION GENERALE A LA TELEDETECTION.
- Subhanil, G., Himanshu, G., Prabhat, D., 2019. Analytical study of seasonal variability in land surface temperature with normalized difference vegetation index, normalized difference water index, normalized difference built-up index, and normalized multiband drought index. *J. Appl. Rem. Sens.* 13, 1. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.024518>
- Tahraoui, F., 2011. Evolution de la population et découpages administratifs en Algérie, le cas de la wilaya d'Oran 6 12.
- Thanh Noi, P., Kappas, M., 2018. Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors* 18, 18. <https://doi.org/10.3390/s18010018>
- Ting, K.M., 2010. Confusion Matrix, in: Sammut, C., Webb, G.I. (Eds.), *Encyclopedia of Machine Learning*. Springer US, Boston, MA, pp. 209–209. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_157](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_157)
- URBATIA, 2012a. Plan d'Aménagement de la Wilaya de TIARET (P.A.W) Phase Diagnostic.
- URBATIA, 2012b. Plan d'Aménagement de la Wilaya de TIARET (P.A.W) Phase Diagnostic.
- Venter, Z.S., Scott, S.L., Desmet, P.G., Hoffman, M.T., 2020. Application of Landsat-derived vegetation trends over South Africa: Potential for monitoring land degradation and restoration. *Ecological Indicators* 113, 106206. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106206>
- Wael, E.Z., Bouiadjra, S.E.B., Benslimane, M., Mederbal, K., 2009. L'écosystème steppique face à la désertification: cas de la région d'El Bayadh, Algérie. *vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.8821>
- Yang, J., El-Kassaby, Y.A., Guan, W., 2020. The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. *Sci Rep* 10, 16465. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73496-0>
- Yerou, H., 2013. Dynamique des systèmes d'élevage et leur impact sur l'écosystème steppique : cas de la région de Naâma (Algérie occidentale). Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Tlemcen, Algérie.
- Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N., Farpoor, M.H., 2020. Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modelling of sand drift potential and dune morphology. *Meteorological Applications* 27, e1851. <https://doi.org/10.1002/met.1851>
- Zewdie, W., Csaplovics, E., 2014. Monitoring land use/land cover dynamics in northwestern Ethiopia using support vector machine, in: Michel, U., Schulz, K. (Eds.), . Presented at the SPIE Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, p. 92450W. <https://doi.org/10.1117/12.2066461>
- Zhang, B., Zhang, Q., Feng, C., Feng, Q., Zhang, S., 2017. Understanding Land Use and Land Cover Dynamics from 1976 to 2014 in Yellow River Delta. *Land* 6, 20. <https://doi.org/10.3390/land6010020>
- Zhang, Y., Wang, Q., Wang, Z., Li, J., Xu, Z., 2021. Dynamics and Drivers of Grasslands in the Eurasian Steppe during 2000–2014. *Sustainability* 13, 5887. <https://doi.org/10.3390/su13115887>
- Zhen-wang, L.I., Xiao-ping, X.I.N., Huan, T., Fan, Y., Bao-rui, C., Bao-hui, Z., 2017. Estimating grassland LAI using the Random Forests approach and Landsat imagery in the

- meadow steppe of Hulunber , China. *Journal of Integrative Agriculture* 16, 286–297. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61303-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61303-X)
- Zhu, Z., 2017. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 130, 370–384. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>
- Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 144, 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>

## Résumé

La zone de transition entre l'Atlas tellien et saharien de la wilaya de Tiaret en Algérie subit une dégradation des terres en raison de l'augmentation des besoins de population, qui entraîne un affaiblissement du potentiel des ressources naturelles et engendre des déséquilibres écologiques et socio-économiques. L'objectif principal de cette étude est d'identifier en détail les changements spatio-temporels de l'occupation du sol en utilisant des outils et des méthodes modernes, qui nous ont permis d'évaluer l'état de la steppe de la wilaya de Tiaret de (1984-2017).

La méthodologie adoptée est composée essentiellement de trois parties que sont :

- La constitution d'une base annuelle des cartes d'occupation du sol en utilisant les séries temporelles de Landsat et ses dérivées.
- Suivi de la dynamique d'occupation du sol et identification des principaux changements, pour évaluer quantitativement et qualitativement à court et long terme l'état de la zone d'étude.
- Détermination de la relation existante entre les transitions principales et les facteurs de changements potentiels (facteurs topographiques, facteurs climatiques, facteurs démographiques,...) en appliquant une modélisation statistique et spatiale pour une meilleure gestion de la steppe.

Nous avons obtenus 34 cartes d'occupation du sol relative à la période (1984-2017), qui reflètent avec précision la dynamique et l'état passée et actuel de la zone d'étude. Elles permettent aussi de constater que la végétation steppique régresse au profit des sols sableux durant la période de (1984-2003) et elle progresse dans la période (2003-2017), pour atteindre un maximum de 58 % en 2010. Ces tendances de changements découlent de plusieurs facteurs, dont les facteurs anthropiques et indirects. Ces derniers ont révélé de majeurs problèmes environnementaux, qui accentuent la dégradation de la steppe tels : l'extension des terres agricoles, la régression de la végétation steppique et la désertification

**Les mots clés :** Tiaret, transition, dégradation, landsat, dynamique, facteurs potentiels, désertification.

## Abstract

The transition zone between the Tellian and Saharan Atlas of the wilaya of Tiaret in Algeria has suffered land degradation due to the increase in population needs, which leads to a weakening of the potential of natural resources and generates ecological and socio-economic imbalances. The main objective of this study is to identify in detail the spatio-temporal changes in land use using modern tools and methods, which allowed us to assess the state of the steppe of the wilaya of Tiaret from (1984-2017).

The methodology adopted is essentially composed of three parts which are:

- The constitution of an annual database of land use maps using Landsat time series and its derivatives.
- Monitoring of land use dynamics and identification of the main changes, to assess quantitatively and qualitatively in the short and long term the state of the study area.
- Determination of the existing relationship between the main transitions and the factors of potential changes (topographic factors, climatic factors, demographic factors,...) by applying statistical and spatial modeling for a better management of the steppe.

We obtained 34 land cover maps relating to the period (1984-2017), which accurately reflect the dynamics and the past and current state of the study area. They also show that the steppe vegetation regresses in favor of sandy soils during the period (1984-2003) and progresses in the period (2003-2017), reaching a maximum of 58% in 2010. These change trends result from several factors, including anthropogenic and indirect factors. These have revealed major environmental problems, which accentuate the degradation of the steppe such as: the extension of agricultural land, the regression of steppe vegetation and desertification.

**Key words:** Tiaret, transition, degradation, landsat, dynamics, potential factors, desertification.

## ملخص :

تعاني المنطقة الانتقالية بين الاطلس التلي والصحراوي، لولاية تيارت في الجزائر من تدهور الأراضي بسبب عوامل كثيرة، منها زيادة الاحتياجات السكانية، مما أدى إلى إضعاف امكانياتها وتدهور مواردها الطبيعية مما أدى إلى حدوث اختلالات بيئية، اجتماعية واقتصادية. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التعرف بالتفصيل على التغيرات المكانية والزمانية لاستخدام الأراضي وذلك باستعمال الأدوات والطرق الحديثة، حيث سمحت لنا بتقييم حالة سهوب لولاية تيارت من 1984-2017.

تتكون المنهجية المعتمدة بشكل أساسي من ثلاثة أجزاء هي ::

- تكوين قاعدة بيانات سنوية لخرائط استخدامات الأراضي باستخدام السلاسل الزمنية لاندسات Landsat ومشتقاتها.
- مراقبة ديناميكيات استخدام الأراضي وتحديد التغيرات الرئيسية لتقييم حالة منطقة الدراسة كما ونوعاً على المدى القصير والطويل.
- تحديد العلاقة القائمة بين التحولات الرئيسية وعوامل التغيرات المحتملة (العوامل الطبوغرافية، العوامل المناخية، العوامل الديموغرافية، ...) من خلال تطبيق النمذجة الإحصائية والمكانية لتحسين إدارة السهوب. تم الحصول على 34 خريطة غطاء أرضي تتعلق بالفترة (1984-2017)، والتي تعكس بدقة الديناميكيات والحالة الماضية والحالية لمنطقة الدراسة. كما تبين أن نباتات السهوب تتراجع لصالح التربة الرملية خلال الفترة (1984-2003) وتتقدم في الفترة (2003-2017)، لتصل إلى حد أقصى قدره 58% في عام 2010. وتتجم اتجاهات التغيير هذه عن عدة عوامل، من بينها العوامل البشرية وغير المباشرة. وقد كشفت هذه الاخيرة عن عدة مشكلات بيئية رئيسية، والتي تزيد من حدة تدهور السهوب مثل: اتساع الأراضي الزراعية، وانحدار الغطاء النباتي في السهوب، والتصحر.

**الكلمات المفتاحية:** تيارت، الانتقال، التدهور، الأرض، الديناميات، العوامل المحتملة، التصحر.