



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER – BISKRA –  
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES DE  
LA NATURE ET DE LA VIE  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



**Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat Es-science en Sciences  
Agronomiques  
Option : Agriculture et Environnement en Régions Arides

***THÈME :***

Phytoécologie et cartographie du couvert  
végétal steppique, cas de la région de Biskra,  
Algérie

**Présentée par :**  
**BELHADJ Amina**

**Jury :**

<b>Président :</b>	M. Boumaraaf B.	MCA	(Université Mohamed Khider-Biskra)
<b>Directrice de thèse :</b>	M <sup>me</sup> . Demnati-Allache F.	Professeur	(Université Mohamed Khider-Biskra)
<b>Examineur :</b>	M. Mouissa H.	MCA	(Université Ziane Achour -Djelfa)
	M. Merdas S.	MRA	(Centre de Recherche en Aménagement du Territoire CRAT-Constantine)
<b>Invité :</b>	M. Boulghobra N.	MRA	(Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides CRSTRA - Biskra)

**Année universitaire : 2022/2023**

# *Dédicace*

*A mes très chers parents*

*A mon frère et mes sœurs, à toute ma famille*

*A tous ceux qui me sont chers*

*A tous les amoureux de la nature je dédie ce travail*

## *Remerciement*

Au terme de ce travail, je voudrais tout d'abord adresser ma profonde gratitude et remerciement à Madame **DEMNATI-ALLACHE FATMA**, Professeur à l'université de Biskra, ma directrice de thèse, je suis tellement reconnaissant par votre suivi, votre énorme soutien et confiance dont j'ai bénéficié pour mener ces travaux de recherche.

Un grand remerciement à Monsieur **BOUMARAAF BELKACEM**, Maitre de conférences « A » à l'université de Biskra, qui ma fait honneur en acceptant de présider le jury de cette thèse.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux membres du jury : Monsieur **MOUISSA HABIB**

Maitre de conférences « A » à l'université de Djelfa, Monsieur **MERDAS SAIFI** Maître de recherche « A » au Centre de Recherche en Aménagement du Territoire CRAT- Constantine. Qui ont accepté d'examiner, d'évaluer et enrichir mes travaux. Soyez assurés de ma plus profonde reconnaissance pour l'attention que vous avez portée à ce manuscrit et pour le temps que vous avez consacré à son évaluation.

Je tiens à remercier également Monsieur **BOULGHOBRA NOUAR** pour votre précieuse information que vous m'avez apportée et qu'ils m'ont accordé avec intérêt et compréhension tout au long ces années, vous m'avez inculqué beaucoup de qualités humaines et un énorme soutien professionnel. Tout ce que vous avez fait signifie beaucoup pour moi. Merci également,

pour votre patience, votre disponibilité et surtout vos conseils avisés qui resteront à jamais  
gravés dans ma mémoire.

Je remercie également tout le personnel du HCDS et DPAT de Biskra.

Je remercie également Monsieur **HADJI RABEH** (CRSTRA–Biskra) pour son aide précieuse.

Mes remerciements vont à tout le personnel que J'ai côtoyé durant ma recherche au sein de  
Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides CRSTRA – Biskra), auprès  
desquelles j'ai trouvé l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont j'ai besoin.

Je tien remercie également **KHECHAI SALIM** le chef de département et tout le personnel de  
département de science agronomique université Biskra.

Je tiens aussi à remercier en particulier mes sœurs (**NOUR EL-HOUDA, Wafa et KHOULOUD**)  
et mon frère **AMIR**, pour l'appui constant qu'ils m'ont accordé dans toute ma vie.

Et puisqu'il est de tradition de garder la meilleure pour la fin, j'adresse une mention spéciale à  
ceux qui m'ont fait preuve de patiences et de sacrifices, ceux qui y ont vécu et subits mes  
moments de doute et mes moments de joies et sans qui, ce travail n'aurait pu aboutir, mes  
adorables parents **FOUDHIL** et **NADIA**, Une chose est sure, je n'aurais rien pu faire sans vous,

MERCI infiniment et que Dieu vous protège.

# SOMMAIRE

Liste des figures  
Liste des tableaux  
Liste des abréviations

**Introduction générale**..... 1

## **PARTIE I : STEPPE ALGERIENNE, TELEDETECTION SPATIALE, LES SIG ET REGION D'ETUDE**

### **Chapitre Premier : La Steppe Algérienne : Caractéristique écologique, Socio-économique**

1. Introduction .....	8
2. Définition de la steppe.....	8
3. Délimitation géographique et superficie .....	8
4. Caractéristiques climatiques de la steppe Algérienne .....	9
4.1. La pluviométrie .....	10
4.2. La température.....	11
4.3. Les vents.....	11
5. Caractéristiques des sols steppiques.....	11
6. Les ressources hydriques.....	12
7. La végétation steppique.....	12
8. Caractéristique socio-économique .....	14
8.1. La population humaine steppique .....	14
8.2. Système d'élevage.....	15
8.3. Le pastoralisme .....	15
8.4. Le nomadisme .....	15
8.4.1. Le semi-nomadisme .....	16
8.4.2. La transhumance .....	16
8.4.3. La sédentarisation.....	16
9. Conclusion.....	17

### **Chapitre Deuxième : Généralités sur la télédétection spatiales et systèmes d'information géographiques**

1. Introduction .....	19
2. La télédétection .....	19
2.1. Définition .....	19
2.2. Principes de la télédétection .....	19
2.2.1. Rayonnement électromagnétique .....	20
2.2.2. Propriétés des ondes électromagnétiques .....	20
2.2.3. Signature spectrale des sols.....	21
2.3. Processus de la télédétection .....	22
2.4. La détection passive et active .....	23
2.5. Résolutions .....	24
2.5.1. Résolution spatiale .....	24
2.5.2. Résolution temporelle .....	25

2.5.3. Résolution spectrale .....	25
2.5.4. Résolution radiométrique .....	25
2.6. Images satellitaires .....	25
2.6.1. Multi Spectral Scanner (MSS) .....	25
2.6.2. LANDSAT TM 5 .....	26
2.6.3. Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+).....	26
2.6.4. LANDSAT 8 OLI.....	26
2.7. La composition colorée .....	27
2.8. La chaîne de traitement des images satellitaires .....	28
2.8.1. Les prétraitements .....	28
2.8.2. Classifications .....	29
2.9. Indices de végétation.....	30
2.9.1. Principe de calcul des indices de végétation .....	30
2.9.2. Principaux indices de végétation.....	30
2.10. Domaine d'utilisation de la télédétection.....	31
3. Systèmes d'informations géographiques.....	32
3.1. Définition .....	32
3.2. Les données géographiques.....	32
3.2.1. Les coordonnées terrestres .....	32
3.2.2. Le système des coordonnées .....	33
3.3. Types de modèles géographiques.....	34
3.3.1. Le modèle vecteur .....	34
3.3.2. Le modèle raster .....	34
3.4. La projection de la carte .....	34
3.5. L'échelle.....	34
3.5.1. L'échelle numérique.....	35
3.5.2. L'échelle graphique.....	35
3.6. Les modèles de stockage de données .....	35
3.7. Les domaines d'application de SIG .....	35
4. Conclusion.....	36

### **Chapitre Troisième : Présentation de la région d'étude : parcours présaharien de Biskra**

1. Introduction .....	38
2. Géo-localisation .....	38
3. Le relief .....	40
4. Classes des pentes .....	42
5. Topographie .....	44
6. Aspect géologique .....	46
7. Réseau hydrographique .....	48
8. Aspect pédologique .....	50
9. Climat .....	52
9.1. La température.....	52
9.2. Les précipitations .....	52
9.3. Humidité relative.....	53
9.4. Le vent.....	53

9.5. Bioclimat .....	54
9.5.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1954) .....	54
9.5.2. Le climagramme pluviothermique d'Emberger .....	55
9.5.3. Indice d'aridité de E. De. Martonne .....	56
10. Milieu naturel et activité agropastorale .....	57
10.1. Espace agricole .....	57
10.2. Espace pastorale .....	58
11. Conclusion .....	58

## **PARTIE II : APPROCHE PHYTOECOLOGIQUE ET GEOMATIQUE**

### **Chapitre Premier : Diversité botanique des steppes arides du Sud-Est d'Algérie (Biskra)**

1. Introduction .....	61
2. Zone d'étude .....	62
3. Matériels et méthodes .....	63
3.1. Individualisation des groupes phytoécologiques .....	64
3.2. Structure taxonomique .....	64
3.3. Cycle de vie .....	64
3.4. Forme de vie (Types biologiques) .....	64
3.5. Diversité alpha .....	64
3.6. Diversité bêta .....	65
3.7. Indice de perturbation .....	65
4. Résultats .....	66
4.1. Les groupes phytoécologiques .....	66
4.2. Composition floristique .....	67
4.3. Structure taxonomique et effet des processus écologiques .....	69
4.4. Cycle de vie .....	69
4.5. Forme de vie (Type biologique) .....	70
4.6. Diversité alpha .....	71
4.7. Analyse de similarité entre groupes phytoécologiques .....	72
4.8. Diversité bêta .....	73
4.9. Indice de perturbation .....	74
5. Discussion .....	74
6. Conclusion .....	77

### **Chapitre Deuxième : Influence des paramètres édaphiques sur la répartition de végétation steppique**

1. Introduction .....	79
2. Matériels et méthodes .....	80
2.1. Région d'étude .....	80
2.2. Relevés pédologiques .....	82
2.3. Analyse physique .....	82
2.4. Analyse chimique .....	82
3. Résultats .....	82
3.1. Paramètres physico-chimiques .....	82

3.2. Effet des variables édaphiques sur la répartition de végétation steppique en utilisant l'Analyse de Composante Principale (ACP) .....	85
4. Discussion.....	88
5. Conclusion.....	89
<b>Chapitre Troisième : Imagerie Landsat multi-temporelle et indice MSAVI pour le suivi de la dégradation des parcours dans un écosystème aride, étude de cas de Biskra (Sud-Est Algérien)</b>	
1. Introduction .....	92
2. Matériels et méthodes .....	93
2.1. Zone d'étude.....	93
2.2. Effet de la sécheresse sur la dynamique des végétations des parcours .....	96
2.3. Images satellite en série temporelle .....	97
2.4. Modified Soil Adjusted Index MSAVI pour l'extraction de la couverture végétale des parcours.....	98
3. Résultats.....	100
3.1.Types et distribution de la couverture végétale .....	100
3.2. Détecter le changement spatio-temporel de la couverture végétale.....	103
3.2.1. De 1987 jusqu'à 1996.....	103
3.2.2. De 1996 jusqu'à 2002.....	104
3.2.3. De 2002 jusqu'à 2019.....	105
3.3. Le changement climatique.....	107
3.3.1. Variabilité, tendances et ruptures dans les précipitations .....	107
3.3.2. Occurrence, sévérité et magnitude des séquences de sécheresse et d'humidité .....	109
3.4. Facteurs socio-économiques influençant à la dégradation des parcours.....	110
4. Discussion.....	112
5. Conclusion.....	114
<b>Conclusion générale</b> .....	116
<b>Références bibliographiques</b> .....	120
<b>Résumé</b>	



## Listes des figures

<b>Figure 1 :</b> Organigramme de la méthodologie de travail.....	5
<b>Figure 2 :</b> Délimitation géographique de la steppe Algérienne.....	9
<b>Figure 3 :</b> Spectre du rayonnement électromagnétique solaire .....	20
<b>Figure 4 :</b> Spectres de réflectance d'un limon sableux pour différentes humidités pondérales ....	22
<b>Figure 5 :</b> Processus de la télédétection .....	23
<b>Figure 6 :</b> Détection passive (A) et active (B) .....	24
<b>Figure 7 :</b> Les couleurs fondamentales de la composition colorée .....	27
<b>Figure 8 :</b> Principe de classification .....	29
<b>Figure 9 :</b> Conception de SIG.....	32
<b>Figure 10 :</b> L'ellipsoïde.....	33
<b>Figure 11 :</b> (A) Localisation de la zone d'étude dans la steppe Algérienne ; (B) Localisation de la zone d'étude basée sur Landsat 8 OLI (2019) .....	39
<b>Figure 12 :</b> Carte d'altitude de Sud-Biskra .....	41
<b>Figure 13 :</b> Carte de pentes de Sud-Biskra.....	43
<b>Figure 14 :</b> Carte topographique de Sud-Biskra à une échelle de 1/250.000 .....	45
<b>Figure 15 :</b> Carte géologique de Sud-Biskra à une échelle de 1/500.000, digitalisée après Deleau et Laffitte (1951). Système de projection Transverse Universelle de Mercator, zone 31 .....	47
<b>Figure 16 :</b> Réseau hydrographique de la région de Sud-Biskra.....	49
<b>Figure 17 :</b> Carte pédologique de Sud-Biskra à une échelle de 1/500.000, digitalisée après Durand et Barbut (1938). Système de projection Transverse Universelle de Mercator, zone 31 .....	51
<b>Figure 18 :</b> Températures moyennes mensuelles (maximales, moyenne et minimales) enregistrés pour la période 1987-2019 .....	52
<b>Figure 19 :</b> Précipitations moyennes mensuelles enregistrés pour la période 1987-2019 .....	53
<b>Figure 20 :</b> Variations mensuelles d'humidité de la période (1987-2019) .....	53
<b>Figure 21 :</b> Variation de la vitesse moyenne du vent entre 1987-2019.....	54
<b>Figure 22 :</b> Rose des vents dans la station de l'aéroport de Biskra montrant la variabilité directionnelle du vent au cours de la période 2005-2014.....	54
<b>Figure 23 :</b> Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région de Biskra (1987-2019) .....	55
<b>Figure 24 :</b> Situation de la région de Biskra dans le climagramme d'Emberger selon les données de la période 1987-2019 .....	56
<b>Figure 25 :</b> Schéma explicatif de la division dans notre zone d'étude .....	58
<b>Figure 26 :</b> Carte de géolocalisation montrant les sites d'échantillonnage phytoécologique dans le Sud-Est Algérien (Biskra) .....	63
<b>Figure 27 :</b> Groupement hiérarchique agglomératif montrant les groupements phytoécologiques dans la zone d'étude .....	66
<b>Figure 28 :</b> Richesse en espèces (S), nombre d'individus (N) et fréquence d'occurrence (C%) des différents types de cycle de vie pour les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude.....	70
<b>Figure 29 :</b> Diversité alpha pour les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude.....	72
<b>Figure 30 :</b> Diagramme de Venn illustrant la richesse spécifique des plantes (S) enregistrée au niveau de divers groupes phytoécologiques de la végétation associée à la zone d'étude .....	73
<b>Figure 31 :</b> Géolocalisation des relevés pédologiques dans le Sud-Est Algérien (Biskra) .....	81
<b>Figure 32 :</b> Boîtes à moustaches montrant la variation des CE (mS/cm) du sol dans la zone d'étude .....	83
<b>Figure 33 :</b> Boîtes à moustaches montrant la variation des pH du sol dans la zone d'étude .....	84
<b>Figure 34 :</b> Boîtes à moustaches montrant la variation des CaCO <sub>3</sub> (%) du sol dans la zone d'étude .....	84

.....	84
<b>Figure 35</b> : Boîtes à moustaches montrant la variation des MO (%) du sol dans la zone d'étude	85
<b>Figure 36</b> : Cercle de corrélation des variables par apport de l'axe D1 et D2 .....	85
<b>Figure 37</b> : Projection des groupes phytoécologiques sur les axes D1, D2 .....	86
<b>Figure 38</b> : Projection des variables et des groupes phytoécologiques sur les axes D1, D2.....	87
<b>Figure 39</b> : Localisation de la zone d'étude dans la steppe Algérienne.....	95
<b>Figure 40</b> : Validation sur le terrain des classes d'occupation du sol en fonction des plages MSAVI .....	99
<b>Figure 41</b> : Cartes de la couverture du sol de la région du sud de Biskra montrant la distribution spatiale de toutes les classes de végétation en 1987, 1996, 2002 et 2019.....	102
<b>Figure 42</b> : Dynamique de la végétation en bi-date et cartes des types/systèmes spatiaux en augmentation et en diminution au Sud-Biskra durant la période 1987-2019.....	106
<b>Figure 43</b> : Variation temporelle des précipitations (a) et SPI-12 (b), station de Biskra (1987-2019) .....	108
<b>Figure 44</b> : Types d'utilisation des terres dans la zone d'étude de 1987 à 2019 (a), évolution de la population, du cheptel et des forages dans la région de Biskra de 1987 à 2019 (b) .....	112

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Les bandes du Capteur MSS .....	26
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT TM 5 .....	26
<b>Tableau 3</b> : Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT 8 OLI .....	27
<b>Tableau 4</b> : La composition colorée selon le domaine d'étude.....	28
<b>Tableau 5</b> : Couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat .....	28
<b>Tableau 6</b> : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection .....	31
<b>Tableau 7</b> : Répartition des surfaces en fonction des classes d'altitude au Sud-Biskra.....	40
<b>Tableau 8</b> : Répartition des surfaces en fonction des classes de pentes au Sud-Biskra.....	42
<b>Tableau 9</b> : Répartition spatiale et superficies de différentes formations lithologiques au Sud-Biskra.....	46
<b>Tableau 10</b> : Distribution spatiale de différents types des sols au Sud-Biskra .....	50
<b>Tableau 11</b> : Types de climat en fonction de l'indice d'aridité de E. De. Martonne (1926) .....	57
<b>Tableau 12</b> : Diversité taxonomique (familles, genres, cycle de vie et espèces végétales) identifiées dans la zone d'étude .....	68
<b>Tableau 13</b> : Répartition des Fréquences des familles végétales (%) en fonction des groupements phytoécologiques dans la zone d'étude .....	68
<b>Tableau 14</b> : Statistiques descriptives de la richesse familiale à la richesse spécifique (F/S) et tests de corrélation de Pearson ( $r$ : coefficient de corrélation, $P$ : P-value) entre le ratio taxonomique (F/S) et les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude .....	69
<b>Tableau 15</b> : Valeur de la biodiversité selon les formes de vie (%) des plantes dans la zone d'étude (Biskra) .....	71
<b>Tableau 16</b> : Indices de similarité entre groupes phytoécologiques dans la zone d'étude .....	74
<b>Tableau 17</b> : Valeur de l'indice de perturbation (%) évalué dans la zone d'étude.....	74
<b>Tableau 18</b> : Classification de la sécheresse/humidité de l'année en fonction des valeurs SPI.....	96
<b>Tableau 19</b> : Types et superficies de couverture végétale multi-temporels basés sur les valeurs MSAVI.....	101
<b>Tableau 20</b> : Les statistiques bi-dates de détection des changements de tous les types de végétation dans le sud de Biskra de 1987 à 2019 .....	104
<b>Tableau 21</b> : La tendance de test de Mann-Kendall pour les précipitations annuelles .....	109
<b>Tableau 22</b> : Détermination et caractérisation des séquences continues de sécheresse et d'humidité dans la région de Biskra pendant la période 1987-2019, les séquences hétérogènes avec une courte alternance de sécheresse et d'humidité n'ont pas été considérées.....	110

## Liste des abréviations

**APFA** : Accès à la Propriété Foncière Agricole

**ANOVA** : Analyse de la variance

**DM** : Drought Magnitude

**DPAT** : Direction de la Planification et d'Aménagement du Territoire

**DPAT** : Direction de la Planification et d'Aménagement du Territoire

**E** : L'indice de régularité

**ETM<sup>+</sup>** : Enhanced Thematic Mapper plus

**G** : Groupe

**H'** : Indice de diversité de Shannon

**IP** : Indice de perturbation

**IR** : Infrarouge

**(J)** : Indice de Jaccard

**K** : Kelvin, Unité de mesure de température

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

**MEA**: Millennium Ecosystem Assessment

**MSAVI**: Modified Soil Adjusted Index

**MSS** : Multi Spectral Scanner

**N** : nombre total d'individus

**NDVI** : Normalized Differential Vegetation Index

**ni** : nombre d'individus

**OLI** : Operational Land Imager

**ONS** : Office nationale des statistiques

**PNDA** : Plan National de Développement Agricole

**REM** : rayonnement électromagnétique

**RVB** : Rouge Vert Bleu

**(S)** : Indice de Sørensen

**S** : Richesse en espèces

**SIG** : Système d'information géographique

**TM**: Thematic Mapper

**Tmax**: Température maximale

**Tmin** : Température minimale

**UF** : Unité Fourragère

**UNCCD**: United Nations, Convention to Combat Desertification

**UTM** : Universal Transverse Mercator



***INTRODUCTION***

***GENERALE***

## Introduction générale

Les zones arides représentent plus de 40 % de la surface terrestre, font vivre des millions de pasteurs et abritent la moitié du cheptel mondial (Galvin 2021). Cependant, elles sont sensibles à la dégradation (James et al. 2013), elles sont caractérisées par des précipitations relativement faibles, de longues saisons sèches et des pénuries d'eau fréquentes (Liu et al. 2021). Ces écosystèmes contiennent 44% des systèmes cultivés du monde et 84% de parcours (Engler et al. 2018 ; Koochafkan et Stewart 2008 ; MEA et al. 2005 ; U.N. 2010-2020).

Les parcours sont globalement le type de couverture terrestre le plus abondant (Holechek et al. 2011) qui soutient des systèmes socio-économiques essentiels dans le monde entier (McCollum et al. 2017) et fournissent 50 % du cheptel mondial (Briske 2017), et ne sont pas seulement une base précieuse pour la production animale, mais ils fournissent également des services écologiques importants tels que l'infiltration et le stockage de l'eau, le contrôle de l'érosion, l'habitat pour la faune et la biodiversité, et la séquestration du carbone (Reinhart et al. 2018 ; Vecchio et al. 2019). Actuellement, la dégradation des parcours est un défi mondial aux conséquences énormes. On estime que la dégradation sévère affecte 10 à 20 % des zones arides du monde (MEA 2005 ; Reynolds et al. 2007).

La steppe Algérienne couvre d'environ 20 millions d'hectares, ce qui représente plus de 8,4% de la superficie du pays (Neffar et al. 2018), s'étend entre les deux chaînes de l'Atlas, l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud et s'étire jusqu'à la limite sud de la chaîne de l'herbe de Halfa (*Stipa tenacissima*) (Nedjimi et Guit 2012), elle constitue le parcours le plus répandu en Afrique du Nord (Djebaili 1984 ; Hirche et al. 2011). Cet écosystème couvre l'espace géographique limité par les isohyètes 100-400 mm avec une amplitude thermique annuelle généralement  $>20$  °C (Le Houérou 2004). Le couvert steppique varie en composition et en densité, cette végétation est dominée par *Stipa tenacissima* qui occupe 4 M ha, suivie par l'*Artemisia herba-alba* avec 3 M ha, puis le *Lygeum spartum* et l'*Atriplex halimus* avec 2 et 1 M ha, respectivement. Cependant le reste des communautés végétales comprend des espèces tolérant des conditions environnementales difficiles telles que *Aristida pungens*, *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium*, *Atractylis serratuloides*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, *Retama retam*, *Salsola vermiculata*, et *Thymelaea microphylla* (Le Houérou 2001). La steppe abrite un cheptel ovin et caprin d'environ 26 millions de têtes qui constitue l'activité prédominante du secteur agricole du pays (M.A.D.R.P. 2016).

Les sols de cet écosystème sont peu profonds, pauvres en matières organiques et très sensibles à l'érosion, à la désertification et à la dégradation (Chenchoumi et al. 2010 ; Hirche et al. 2011 ; Aliat et al. 2016 ; Mallem et al. 2018).

Les parcours steppiques en Algérie font face depuis plusieurs décennies, à un problème de dégradation induit par l'effet combiné de facteurs anthropiques et naturels entraînant une dynamique régressive des formations végétales steppiques (Moulay et al. 2011 ; Slimani et al 2010, Bencherif 2011 ; Hasnaoui et al 2014 ; Hasnaoui et Bouazza 2015 ; Morsli et al. 2016). De même, ils subissent une dégradation dont le rythme et l'intensité sont de plus en plus accentués, entraînant une réduction du potentiel biologique et une rupture des équilibres écologiques et socio-économiques (Le Houérou. 1985, 1995 ; Djellouli et Nedjraoui 1995 ; Aidoud 1996 ; Benabdeli 1983, 1996, 2000 ; Nedjraoui 2003 ; Benaradj et al. 2010).

Les méthodes géomatiques utilisant des données de télédétection et des systèmes d'information géographique sont des outils puissants et fiables pour évaluer et surveiller la végétation steppique dans les régions de parcours du monde entier (Booth et Tueller 2003 ; Wessels et al. 2012 ; Reeves et al. 2014). En Algérie, cette approche a été utilisée dans différentes études, utilisant un Indice de Végétation Différentiel Normalisé (NVDI) pour extraire les classes de végétation des parcours et analyser sa dynamique spatio-temporelle (Benslimane et al. 2008 ; Khader et al. 2014 ; Bouacha et al. 2018).

### **Problématique et question de recherche :**

Les formations végétales méditerranéennes sont influencées par plusieurs phénomènes, climatiques, édaphiques et anthropozoïques, qui ne cessent de façonner leur physionomie. En Algérie la formation steppique n'échappe pas à ces pressions ; En effet ces parcours naturels qui jouent un rôle socioéconomique sur le plan national, sont soumis à un changement climatique (des sécheresses récurrentes, une réduction pluviométrique) et à une pression anthropique croissante tel que le surpâturage, l'introduction des cultures impropres et le défrichement. D'une manière générale ce couvert végétal et l'impact écologiques et socioéconomiques de cet écosystème mérite d'être étudiés vu la rareté des espèces et leurs phénologies extraordinaires.

C'est au tour d'une question principale, constituant l'axe principal de notre travail et qui veut :

***Comment on peut protéger ces écosystèmes steppiques contre les contraintes climatiques, édaphiques, anthropozoïques et anthropiques croissante tel que le surpâturage, l'introduction***



*des cultures impropre et le défrichement qui ne cessent de façonner leur physionomie et dans quelle mesure peut-on leur situer un plan d'aménagement du territoire ?*

De la question principale émanent plusieurs sous questions auxquelles nous allons essayer de répondre dans ce qui suit sont les suivants :

**Quelles sont les méthodes adoptées pour déterminer le parcours steppique dans la région aride de Biskra et l'état actuel du couvert végétal dans ces parcours ?**

**Comment le changement climatique, la pression anthropique et anthropozoïques influencent les parcours steppiques dans la région de Biskra ?**

**Comment les paramètres édaphiques influencent la répartition et la distribution des communautés végétales steppiques aride ?**

**Quelles sont les contraintes socio-économiques qui peuvent entraver le parcours steppique ?**

**Comment assurer un développement durable de ces ressources naturelles ?**

**Les objectifs d'étude :**

Les parcours steppiques de la région de Biskra possèdent des ressources naturelles et des bénéfices très divers. En effet, malgré son importance, peu d'études ont été menées dans cette région. Cette étude a pour objectif d'une part de diagnostiquer la diversité botanique, de ressortir les relations réciproques entre les paramètres pédologiques et la répartition du couvert végétation steppique aride au Sud-Biskra et d'autre part d'évaluer, cartographier et surveiller la dynamique spatio-temporelle de la végétation steppique dans la région d'étude au cours de la période 1987-2019 à l'aide d'images Landsat de séries chronologiques et déterminer leur impact sur le paysage.

**La structure de la thèse :**

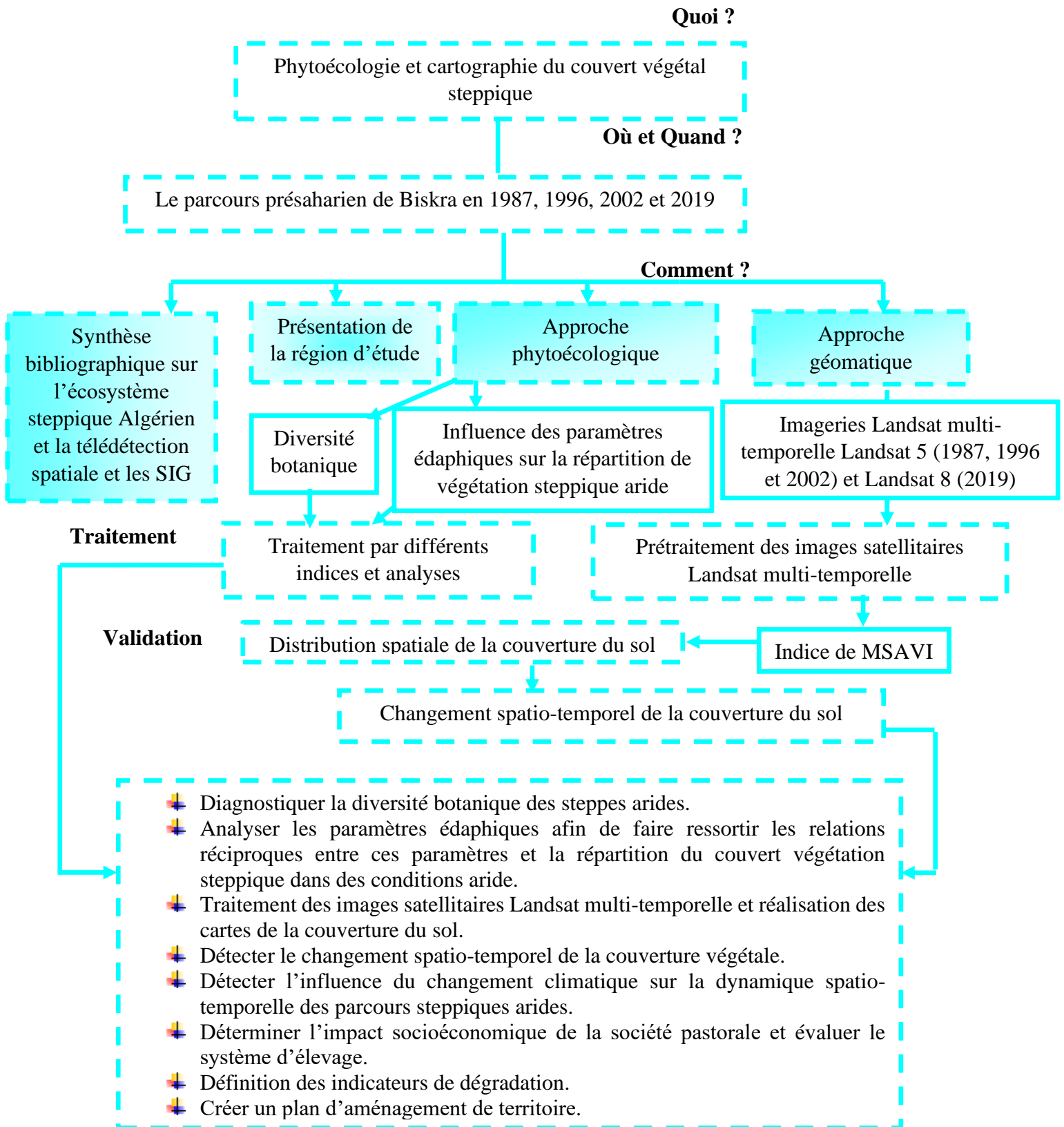
La recherche rapportée dans la présente thèse se présente en deux (02) parties et six (06) chapitres. La première partie ; généralité sur la steppe Algérienne, la télédétection spatiale et système d'information géographique et la région d'étude. La deuxième partie est consacrée à une approche phytoécologique et géomatique. Ainsi qu'une introduction générale introduit les six chapitres, et une conclusion générale les finalise. Donc, le travail est structuré comme suit :

-Une introduction générale expose la problématique de recherche dans laquelle on expose les questions principales de la recherche, les sous questions, les objectifs à atteindre, ainsi que la structure de la thèse.

-La première partie est structurée en trois chapitres, le premier expose un aperçu bibliographique sur l'écosystème steppique Algérien basée sur sa définition, sa délimitation géographique,

caractéristiques climatiques, édaphique, socio-économiques, la végétation et les ressources hydriques. Le deuxième présente des notions générales sur la télédétection spatiale et le Système d'Information Géographique (SIG). Cependant le troisième chapitre, est destiné à la présentation de la région d'étude de cette recherche qui consiste, en premier lieu, à présenter la région de Biskra, en abordant maintes données relatives à sa géolocalisation, ses caractéristiques topographiques, géographiques, pédologique, hydrographique, et climatiques. En deuxième lieu, à la synthèse climatique.

La deuxième partie est consacrée à une approche phytoécologique et géomatique, le premier chapitre de cette partie s'articule sur la diversité botanique des steppes arides du Sud-Biskra, le deuxième chapitre sur l'influence des paramètres édaphiques sur la répartition de végétation steppique et le troisième présente un suivi de la dynamique des parcours et des impacts sur le paysage Algérien dans le Sud-Est (Biskra) par Imagerie Landsat multi-temporelle et indice MSAVI depuis 1987 à 2019.



**Figure 1** : Organigramme de la méthodologie de travail

***PARTIE I : APERÇU SUR  
LA STEPPE  
ALGERIENNE, LA  
TELEDETECTION  
SPATIALE, LES SIG ET  
LA REGION D'ETUDE***

# *Chapitre Premier*

*La Steppe Algérienne :  
Caractéristique écologique, Socio-  
économique*

### 1. Introduction

La steppe Algérienne est un milieu biodiversifié qui s'étend entre les écosystèmes méditerranéens subhumides et le désert aride du Sahara. Elle dépend fortement des variations climatiques défavorable, dues au changement climatique tel que la sécheresse (Bouacha et al. 2018), tandis que les pressions anthropiques telles que le surpâturage et l'extension de l'agriculture accélèrent actuellement la dégradation de l'écosystème steppique (Khaldi 2014 ; Mderbel et al. 2009 ; Moulay et al. 2011). L'espace steppique Algérien est une région à vocation essentiellement pastorale. Le pastoralisme est actuellement dans une situation de crise économique et écologique qui menace son avenir et celui de la population qui vit de celle-ci (Bencherif 2013).

### 2. Définition de la steppe

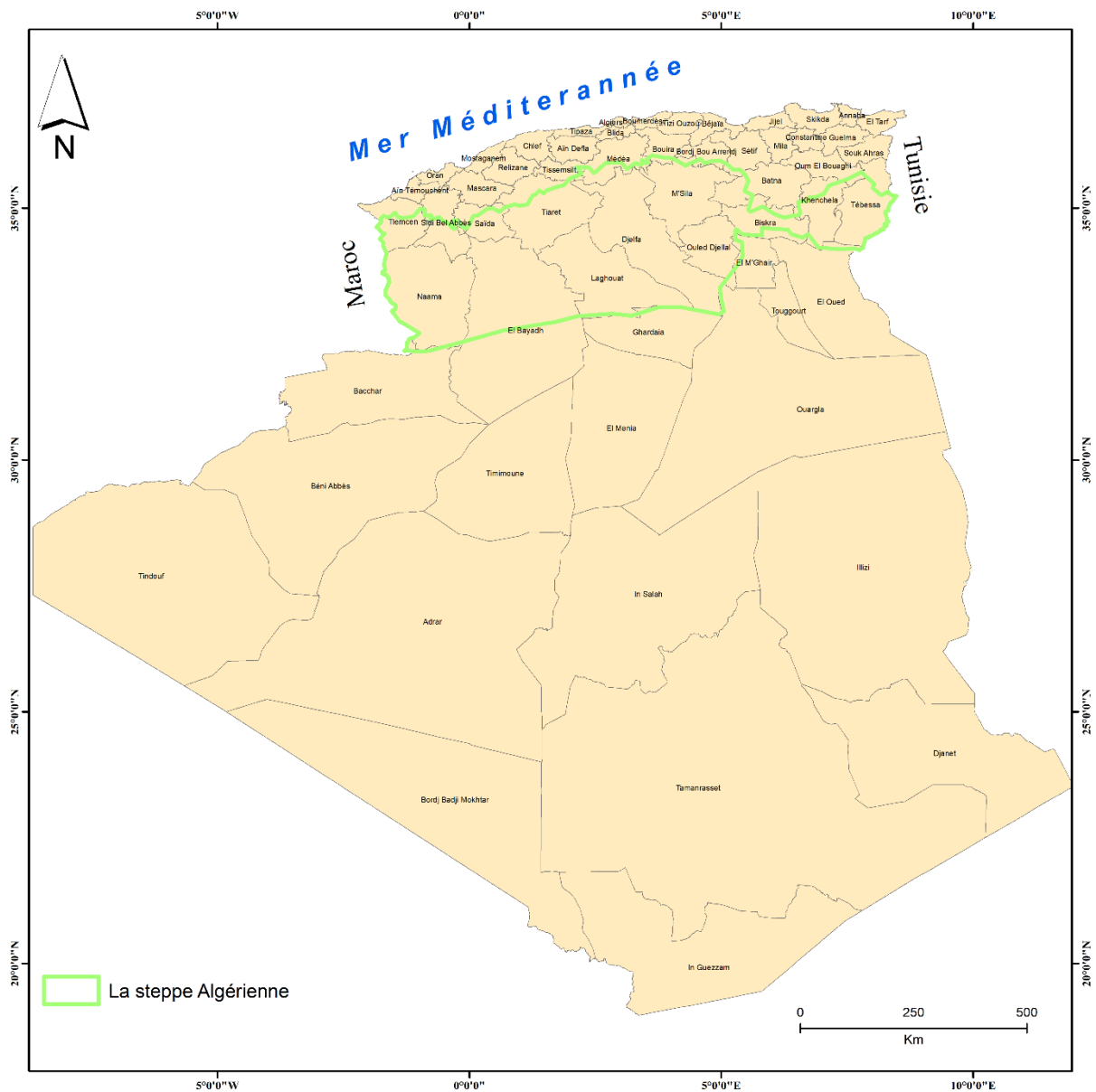
Plusieurs auteurs ont défini la steppe méditerranéenne dont la plus fréquente est : la steppe algérienne comme une étendue plus au moins aride, à relief distincte recouverte d'une végétation steppique basse, clairsemée avec des précipitations annuelles moyennes allant de 100 à 400 mm (Le Houérou 1995). Selon Donadieu (1977) est une "*formation végétale, primaire ou secondaire, basse et ouverte dans sa physionomie typique et inféodée surtout aux étages bioclimatiques arides et désertiques dont elle est l'expression naturelle* ».

Une steppe aride est un environnement qui n'offrent que des conditions extrêmes pour le développement et le maintien d'une végétation pérenne (Aidoud et Touffet 1996).

### 3. Délimitation géographique et superficie

La steppe couvre 20 millions d'hectares, soit 8,4% de la superficie totale de l'Algérie (Hammouda et al. 2014). Elle forme une bande de 1000 km de long sur 300 km de large, réduite à moins de 150 km vers l'Est. Géographiquement, elle est située entre deux chaînes de montagnes, l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Sa limite Nord commence par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et est délimitée au Sud par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*) (Le Houérou et al. 1977 ; Djebaili 1984). La steppe algérienne est connue sous le nom de " Bled el ghnem " (pays du mouton) et du nomadisme car c'est la principale activité économique de la population.

La délimitation géographique de la région steppique est généralement basée sur des éléments climatiques (pluviométrie et température) d'une part et sur la végétation utilisée pour la classification des étages bioclimatiques d'autre part (Fig. 2).



**Figure 2** : Délimitation géographique de la steppe Algérienne

#### 4. Caractéristiques climatiques de la steppe Algérienne

L'Algérie qui est un pays affecté par la combinaison de la mer, du relief et de l'altitude, et appartient au climat méditerranéen. Il est caractérisé par de longues sécheresses estivales allant de 5 à 6 mois dans les hautes plaines et à plus de 6 mois dans l'Atlas saharien (Nedjraoui 2004). La steppe algérienne est caractérisée par une forme particulière de ce climat, caractérisée principalement par de faibles précipitations avec de fortes variations mensuelles et

interannuelles ; un régime thermique relativement homogènes mais contrasté de type continental (Le Houérou et al. 1977).

#### 4.1. La pluviométrie

La pluviométrie moyenne dans les hautes plaines Algérie-Oranie est comprise entre 200 et 400 mm. Il reçoit moins de 200 mm de réduction dans la zone de Chott El Hodna dans la partie centrale et environ 150 mm dans les piémonts de l'Atlas saharien (Le Houérou et al. 1975). Seuls les sommets des massif montagneux ont reçu plus d'eau, de l'ordre de 400-500 mm dans l'Atlas saharien et plus de 600 mm dans les massifs du Hodna et des Aures-Belezma (Djellouli 1981). La répartition saisonnière est caractérisée par une prédominance des précipitations automnales et printanières, avec un minimum de précipitations en février. Pendant la période chaude, une certaine quantité d'eau, certes assez faible, mais de plus en plus importante vers l'Est, est apportée par les orages les plus fréquents de la saison (Le Houérou et al. 1977).

Selon Djebaili (1984), dans la steppe Algérienne on peut distinguer deux périodes : 1) La saison des pluies, de septembre à mai, avec le premier maximum en octobre et le second en avril. 2) Période sèche, coïncide avec la saison la plus chaude. Elle a connu son premier maximum de sécheresse en juillet. La deuxième maximum sécheresse se produit en août. Le même auteur, note que dans les plaines steppiques, le nombre de jours de pluie est variable et semble diminuer d'Ouest en Est et devient plus fréquent en hiver et en automne. Aux piémonts Sud d'Atlas Saharien, l'automne et le printemps ont des jours de pluie moins nombreux mais plus fréquents. Selon la pluviométrie, la steppe Algérienne peut être divisée en trois classes :

- 1) La zone sub-steppique semi-aride se situe entre les isohyètes 300 – 400 mm/an (Le Houérou et al. 1977), et se caractérise par la disparition des espèces forestières et l'apparition des espèces steppiques telles que l'armoise (*Artemisia herba alba*), l'alfa (*Stipa tenacissima*) et le sparte (*Lygeum spartum*). Ces terres, considérées comme de bons parcours, sont situées dans la partie Nord des Hautes Plainnes Algéro-Oranaises et sur le versant Sud d'Aurès, des massifs montagneux des Ouleds Naïls et des Némemchas. A ce niveau bioclimatique, ces parcours sont concurrencés par la céréaliculture dans les dépressions et même sur les glacis.
- 2) La zone entre 100 - 300 mm/an, correspondant aux régions steppes méridionales arides et présahariennes (Le Houérou et al. 1977) qui sont caractérisées par une réduction importante du couvert végétal, se traduisant par des parcours médiocres sur des sols squelettiques et ont atteint un seuil de dégradation très sévère.



- 3) < 100 mm, correspond à la zone Sud de l'Atlas Saharien. La végétation est contractée et se concentre dans les lits d'oueds. C'est une végétation hygrophile et psammophiles, fortement adaptée aux conditions arides, avec un fort taux d'endémisme. Il y a des pâturages à base d'espèces graminéennes à *Aristida pungens* et *Panicum turgidum* et d'arbustes fourragers tels que les nombreux acacias (Bengueria 2011).

#### **4.2. La température**

L'amplitude thermique annuelle est partout supérieure à 20 et 22° C, avec une distance à la mer constante, le régime thermique de la région est aussi fortement influencé par l'altitude ; la latitude n'est qu'un second facteur qui distingue les points extrêmes (Le Houérou et al. 1977). La valeur moyenne de température du mois le plus froid (janvier) et la valeur minimale de "m" varie de -1,8°C (El Bayadh) à 6,7°C (Biskra), en général, "m" diminue avec l'altitude, la pente moyenne 0,50 °C par 100 mètres et 0,40 °C par 100 mètres (Seltzer 1946). Juillet reste le mois le plus chaud avec des valeurs « M » allant de 33 °C (Aflou) à 41,7 °C (Biskra). L'amplitude thermique moyenne (M-m) n'a pas beaucoup changé est restée essentiellement constante à 34,6°C. La steppe algérienne reste entre les isothermes + 1°C et + 3°C et entre 34°C et 37°C (Le Houérou et al. 1977).

#### **4.3. Les vents**

La steppe est un champ de la masse d'air en raison de ses immenses étendues et couloirs. En hiver, elle est traversée par des courants du vent froids qui risquent de geler les pousses de pâturage et de réduire les pousses vertes de printemps (Khader 2019). Le climat le plus désastreux vient du Sahara (sirocco) en été. C'est un vent chaud qui souffle sur les hautes plaines 20 à 30 jours par année et moins de 15 jours sur les piémonts Sud Saharien. Sa fréquence augmente d'Ouest en Est, et elle est très fréquente en juillet et août, provoquant souvent des orages ; mais elle est plus nocive pour la végétation (Nedjimi et Guit 2012).

#### **5. Caractéristiques des sols steppiques**

En raison des conditions climatiques et de la forte action anthropique, la végétation est réduite et le sol est soumis à une forte érosion hydrique et éolienne. L'érosion éolienne affecte essentiellement les régions arides et semi-arides. L'action du vent emporte les fines particules telles que les sables et les argiles et laisse sur place un sol caillouteux qui devient improductif. Près de 600,000 ha de terres en zones steppiques ont été complètement désertifiées, et il n'y a aucune possibilité de remontée biologique (Hadjiat 1997). Les sols steppiques sont squelettiques, c'est-à-dire stériles et fragiles, gris en raison du peu d'humus et de très faibles profondeurs (Pouget 1980 ; Kadi-Hanifi et Loisel 1997), ils se caractérisent par la présence

d'accumulations calcaires, une faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Djebaili et al. 1982 in Nedjraoui 2004).

Il existe plusieurs types de sols (Djebaili et al. 1982) :

- ✚ Sols minéraux bruts : ces sols sont caractéristiques des forêts et des matorrals.
- ✚ Sols peu évolués : comprennent les sols d'origine alluviaux sur les piedmonts des monts et les glacis, les sols éoliens avec des formations sableuses fixées, les sols bruns calcaires avec des dépôts de calcaire très fréquents sur les glacis, les sols avec des croûtes de gypse sont plus rares, les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, en particulier dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent de vastes zones encroûtées (Halitim 1988).
- ✚ Sols iso-humiques : Ils sont représentés dans les glacis d'érosion polygéniques du Quaternaire récent. Ils comprennent des sols à croûtes calcaires ou gypseuses (Kacimi 1996).
- ✚ Sols halomorphes : Ils regroupent les sols salins et les sols salins à alcalins. Ces sols sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas.

### 6. Les ressources hydriques

Au niveau de la steppe, les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et exploitées de manière anarchique. Il existe 6,500 points d'eau, dont plus de 50 % ne sont plus fonctionnels (Nedjraoui et Bedrani 2008). Les Oueds sont caractérisés par un écoulement temporaire et endoréique, se terminant généralement au niveau des dépressions salées, chotts ou sebkhas (Joly 1986). Les eaux d'infiltration proviennent généralement de sources situées au pied des massifs calcaires des piémonts, ainsi que de sources artésiennes autour des sebkhas. Les puits permettent l'utilisation des eaux souterraines des nappes phréatiques.

### 7. La végétation steppique

Les travaux de Djebaili (1978) ; Nedjraoui (1981) ; Aidoud (1989) et Le Houérou (2001) ont mis en évidence six principaux types de formations végétales dans la steppe Algérienne : les formations à alfa (*Stipa tenacissima*), à l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*), à sparte (*Lygeum spartum*), à remt (*Arthrophytum scoparium*), à psammophytes et à halophytes.

- ✚ Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*) : ces parcours ont une superficie potentielle de 4 millions d'hectares (Nedjraoui 2004). On les trouve dans la zone bioclimatique semi-arides à hiver frais et à l'étage aride supérieure aux hivers froids. Ces steppes occupent tous les substrats géologiques de 400 à 1800 m d'altitude (Djebaili et al. 1989). Elles

présentent de fortes amplitudes écologiques (Achour 1983 ; Kadi-Hanifi 1998). La productivité pastorale moyenne de cette steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Aidoud et Nedjraoui 1992). La valeur pastorale des parcours à Alfa permet une charge de 4 à 6 hectares par mouton (in Khader 2019). Dans les conditions les plus favorables, les productions de l'Alfa peuvent atteindre 10 tonnes de matière sèche /ha, mais la partie verte donne 1000 à 1500 kg de matière sèche/ha (Aidoud 1983 ; Nedjraoui 1990).

- ✚ Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*) : *Artemisia herba alba* couvre 3 millions d'hectares (Nedjraoui 2004). Située dans la partie moyenne-supérieure aride, avec des hivers frais et semi-arides ; des précipitations comprises entre 100 et 300 mm, ce type de steppe se trouve généralement dans les dépressions et sur les glacis encroûtés avec une pellicule de glaçage en superficie (Djebaili et al. 1989). Une production annuelle totale de 1000 kg de matière sèche/ha, incluant une production annuelle estimée de 500 kg de matière sèche/ha consommable, représente une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha (Aidoud 1983 ; 1989). L'armoise est une espèce très adaptable à la sécheresse et à la pression animale, en particulier ovine, ayant une valeur fourragère élevée de 0,45 à 0,70 UF/kgMS et la charge de ce parcours est estimé de 1 à 3 mouton (Nedjraoui 1981). Le type de faciès dégradé correspond à *Peganum harmala* autour des zones de campement et autour des points d'eau (Nedjraoui 2001).
- ✚ Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*) : selon Nedjraoui (2001), ces parcours couvrent 2 millions d'hectares. Elles sont rarement homogènes, occupant les glacis d'érosion encroûtés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone des chotts. Ces formations sont soumises à des bioclimats arides, supérieurs et moyens à hivers froids et frais. Cependant, cette espèce n'est qu'un pâturage relativement pauvre avec une valeur énergétique de 0,20 UFL/kg (Ouaffai et al. 2000). Leur intérêt vient de leur diversité floristique. La productivité relativement élevée de *Lygeum* (110 kg de matière sèche/ha/an), espèces annuelles et petites pérennes permet des productions pastorales importants de 100 à 190 UF/ha/an, permettant des charges de 2 à 5 ha /an pour les moutons (Nedjraoui 2001).
- ✚ Les steppes à Remth (*Arthrophytum scoparium*) : les parcours à Remth *Arthrophytum scoparium* forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec une couverture moyenne inférieure à 12,5%. Les Conditions environnementales rudes et xérophilie (20 et 200 mm/an), thermophile, variante chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou sierozems encroûtés, font de ces steppes, des parcours qui présentent un

intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce (Remt) est de l'ordre de 0,2 UF/kg de matière sèche. La production moyenne annuelle de 40 à 80 kg de matière sèche /ha et la productivité pastorale varie de 25 à 50 UF/ha/an avec une charge pastorale de 10 à 12 hectares par mouton. Ce type de steppe est principalement exploité par les camelins. (Nedjraoui 2001).

- ✚ Les steppes à psammophytes : les steppes à psammophytes sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et à l'apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et couvrent environ 200,000 hectares. Elles suivent les couloirs d'ensablement et se répartissent également dans les dépressions formées par les chotts. Elles sont plus fréquentes dans les régions arides et présahariennes. Ces formations de psammophytes sont le plus souvent des steppes graminéennes à *Aristida pungens* et *Thymellaea microphyla* ou des steppes arbustives à *Retama retam* (Le Houérou 1969 ; Celles 1975 ; Djebaili 1978). Le recouvrement de la végétation de psammophytes couvre généralement plus de 30%, avec une production pastorale importante allant jusqu'à 150 à 200 UF/Ha/an (Bousmaha 2012). Cette production relativement élevée est principalement due à la prolifération des espèces annuelles dans ces parcours ensablé, ce qui rend une charge de 2 à 3 hectares par mouton.
- ✚ Les steppes à halophytes : ces steppes couvrent environ 1 million d'hectares. La nature des sels, leur concentration et leur variation spatiale vont créer une répartition particulière de la végétation halophile très appréciée autour des dépressions salées. Ces formations se forment sur des sols profonds (supérieur à 1mètre) riches en chlorure de sodium et en gypse (Nedjraoui 2001). Les espèces les plus répandues dans ces formations sont : *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, *Suaeda fruticosa*, *Frankenia thymifolia*, *Salsola sieberi* et *Salsola vermiculata*. Ce type de steppe est très recherché par les pasteurs et sa valeur pastorale est d'environ 300 UF/ha (Nedjraoui 2004).

## 8. Caractéristique socio-économique

### 8.1. La population humaine steppique

La population des steppes croît beaucoup plus rapidement que la population globale (Bedrani 1994). Au cours des dernières décennies, la steppe Algérienne a connu une évolution profonde. Sa population a triplé, passant de 4 millions d'habitants en 1977 à 12 millions en 2010 (ONS 2011) D'après (Nedjraoui et al. 2008) la population steppique est composée principalement de pasteurs-éleveurs, anciennement nomades pour la plupart, avec une forte tendance à la sédentarisation aujourd'hui.

## **8.2. Système d'élevage**

Un système d'élevage est un ensemble de relations entre trois pôles : éleveur, troupeau et territoire. Entre ces trois pôles, les relations sont définies comme suit : les pratiques entre éleveur et troupeaux, les flux de matières organiques entre territoire et troupeaux, l'organisation foncière, la gestion des pâturages et la stratégie de déplacement entre éleveur et territoire (Lhoste 1984). Selon Landais (1992), à l'échelle d'une région, un système d'élevage est considéré comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé par l'homme dans le but de valoriser les ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées (lait, viande, cuirs et peaux, travail, fumure, etc.).

## **8.3. Le pastoralisme**

Il existe de nombreuses définitions du pastoralisme ; Benlekhal (2004) définit le pastoralisme comme un système d'élevage dans lequel les pâturages occupent plus de 50% du temps d'alimentation des animaux.

Selon (Nori et al. 2008) est un mode de vie complexe qui s'efforce de maintenir un équilibre optimal entre les pâturages, le bétail et les populations dans un environnement variable et incertain. Alors que Guitton et al. (2008), ils définissent le pastoralisme comme « un élevage extensif de ruminants, caractérisé par une certaine forme de mobilité. Le pastoralisme se réfère bien souvent à l'élevage extensif de troupeaux de différentes espèces exigeant une migration périodique pour accéder aux pâturages ».

L'espace pastoral, support des activités d'élevage, ne peut être défini en pratique qu'en considérant les déplacements des animaux (seuls les espaces utilisés par les animaux sont véritablement "pastoraux"). En termes d'impacts sur le milieu naturel, le déplacement des troupeaux apparaît comme un élément essentiel de la gestion et de la conservation des ressources végétales (Carriere et Toutain 1995).

## **8.4. Le nomadisme**

Le nomadisme est la forme d'élevage la plus intensive, c'est une adaptation aux contraintes climatiques afin d'exploiter les ressources rares du milieu, les éleveurs nomades sans habitat fixe sont toujours à la recherche de parcours. Les troupeaux sont déplacés d'un pâturage à un autre, lorsque le niveau trophique du parcours est insuffisant pour assurer une alimentation satisfaisante des animaux ; le pâturage abandonné peut alors être régénéré, jusqu'à ce qu'il atteigne à nouveau, une production fourragère suffisamment élevée pour justifier le retour des animaux (Carriere et Toutain 1995).

D'après Hadeid et al. (2015), le nomadisme est une forme d'adaptation à des milieux ouverts et fragiles comme la steppe. Pour la population pastorale, il ne s'agit pas d'une simple activité,

ce schéma (modèle) d'organisation socio-spatiale marque toute la vie quotidienne, les règles et les traditions.

#### **8.4.1. Le semi-nomadisme**

Les effectifs de ce type d'élevage dépassent les 300 têtes, il est caractérisé par des mouvements du cheptel important d'où un espace d'exploitation des parcours steppiques plus immense et étendu, incluant le plus souvent les parcours steppiques des wilayas limitrophes et les parcours présahariens. Dans ce genre de système, l'alimentation est assurée pendant une bonne partie de l'année par des déplacements irréguliers à la recherche de l'herbe et de l'eau. A la différence du nomadisme les éleveurs possèdent un point d'attache ou le troupeau passent une partie de l'année (Serhani 2008).

#### **8.4.2. La transhumance**

Ce système d'exploitation pratiqué est basé sur les échanges entre régions, donc une société pastorale ne vit pas dans une économie fermée ; elle fait beaucoup d'échanges avec le Nord et le Sud. Cette relation avec ces deux régions a permis la soudure du calendrier fourrager des animaux et la régénération des parcours pastoraux. La mobilité a été un pilier important de la capacité des sociétés pastorales méditerranéennes à s'adapter aux contraintes environnementales (Nori 2017). Le pastoralisme ovin de la steppe Algérienne a traditionnellement été décrit par deux principaux mouvements pendulaires : un déplacement estival vers le tellien dans la steppe du Nord (Achaba) et un déplacement hivernal des troupeaux vers les régions présahariennes pour la recherche de températures plus clémentes et de pâturages (Azzaba) (Boukhobza 1982 ; Chellig 1992 ; Bourbouze 2006 ; Nedjraoui et Bédrani 2008). Ces mobilités ont pour but d'assurer au long des saisons des ressources pâturées pour le cheptel (Rondia 2006 ; Bencherif 2011), au plan de l'utilisation de l'espace par une diversité des surfaces fourragères utilisées, les parcours telliens, steppiques et présahariens.

#### **8.4.3. La sédentarisation**

L'élevage sédentaire est présent partout sur parcours, signifie que les troupeaux déplacent souvent de longues distances, mais il revient au village chaque soir. Ce mode est peut-être plus courant dans les systèmes agro-pastoraux que pastoraux, mais il est banal de rencontrer côte à côte dans un même village des éleveurs sédentaires, transhumants et semi nomades, ayants des droits d'un même territoire, mais l'utilisant chacun selon ses possibilités de déplacement. (Bourbouze 1999).

Les nomades apportaient au secteur agricole leur main-d'œuvre, leurs moyens de transport et de battage, la fumure des terres agricoles par la présence, durant parfois plus de cinq mois, du cheptel sur les terres.

**9. Conclusion**

La formation végétale steppique en Algérie, joue un rôle important en écologie et dans l'économie agricole du pays, qu'elle assure sur une grande région géographique que sont les Hauts Plateaux, la vocation de ces parcours est principalement l'élevage extensif d'ovins.

En Algérie, le déséquilibre de l'écosystème steppique est confronté depuis plusieurs décennies à un processus de dégradation devenant de plus en plus irréversible. C'est surtout l'effet combiné de facteurs anthropiques et naturels qui sont à l'origine de cette situation.

# Chapitre Deuxième

*Généralités sur la télédétection  
spatiale et les systèmes  
d'informations géographiques*



## **1. Introduction**

L'étude de suivi et la dynamique de changement spatio-temporelle et l'occupation du sol des écosystèmes est possible principalement par le recours vers l'application des techniques de détections des changements, offerte par l'utilisation de la télédétection spatiale et les systèmes d'informations géographiques qui sont aujourd'hui largement utilisée ; pour détecter, identifier et suivre les changements spatio-temporels d'occupation du sol.

## **2. La télédétection**

### **2.1. Définition**

Selon Golay (2007) la télédétection est l'art et la science de l'acquisition d'information (spectrale, spatiale et temporelle) sur des objets matériels, des lieux ou des phénomènes par l'analyse de données acquises par des capteurs distants sans contact matériel entre les objets, région ou phénomènes considérés. Il s'agit également de l'ensemble des méthodes de mesures d'informations à distance par l'intermédiaire du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffracté par les objets observés. D'après Girard et Girard (1999) la télédétection est définie comme l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. D'après C.C.T. (2015), c'est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

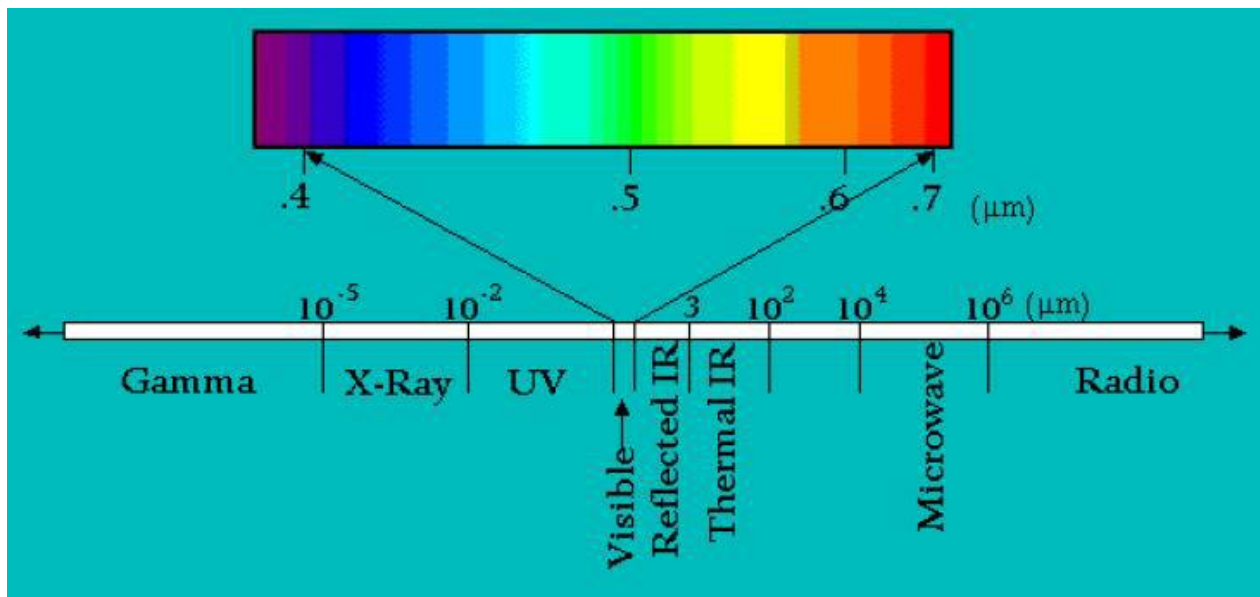
### **2.2. Principes de la télédétection**

Chaque élément de la surface de la terre peut absorber ou réfléchir les rayonnements envoyés par une source électromagnétique telle qu'un radar ou un corps céleste comme le soleil ; il peut émettre aussi ses propres rayonnements, en particulier dans l'infrarouge thermique. Mais la quantité de radiations réfléchies ou émises par un corps et pour chaque longueur d'onde dépend de la nature de ce corps.

### 2.2.1. Rayonnement électromagnétique

C'est une forme dynamique d'énergie qui ne se manifeste que dans son interaction avec la matière. Il se compose comme un champ de forces dont les variations affectent les propriétés électriques et magnétiques de la matière. Il se caractérise par une période, une fréquence, une vitesse de propagation, une longueur d'onde et une amplitude (Pouchin 2001).

Un rayonnement est une énergie transportée dans l'espace sous forme d'ondes ou de particules. En revanche, le rayonnement électromagnétique (REM) est le rayonnement qui se comporte comme un champ de force dont les variations affectent les propriétés électriques et magnétiques de la matière (Pouchin 2001).



**Figure 3 :** Spectre du rayonnement électromagnétique solaire (Soudani 2007)

### 2.2.2. Propriétés des ondes électromagnétiques

Il y a de nombreuses propriétés des ondes électromagnétiques, qui sont fondamentales pour les principes de base de la télédétection et qui sont :

#### 2.2.2.1. Emission

D'après Girard et Girard (1999) et Pouchin (2001), tout corps où la température thermodynamique est supérieure à 0 °K (-273 °C) émet un rayonnement électromagnétique. L'émetteur, appelé aussi source, (soleil, le satellite "RADAR") ou encore la cible (infrarouge thermique). Énergie rayonnée dans une longueur d'onde définie, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface d'un corps à une température déterminée.

#### **2.2.2.2. Absorption**

Le corps qui reçoit une quantité de REM, peut en absorber une partie, l'absorptance est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie incidente. Les zones du spectre électromagnétique, pour lesquelles l'absorption est faible sont appelées « fenêtres atmosphériques » ; elles déterminent les bandes spectrales utilisables en télédétection.

#### **2.2.2.3. Réflexion**

Tout corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchir une partie. On parle d'albédo lorsqu'il s'agit d'énergie solaire réfléchi par une portion d'espace terrestre, il s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchi. La réflexion peut être spéculaire lorsqu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions (Pouchin 2001).

#### **2.2.2.4. Diffusion**

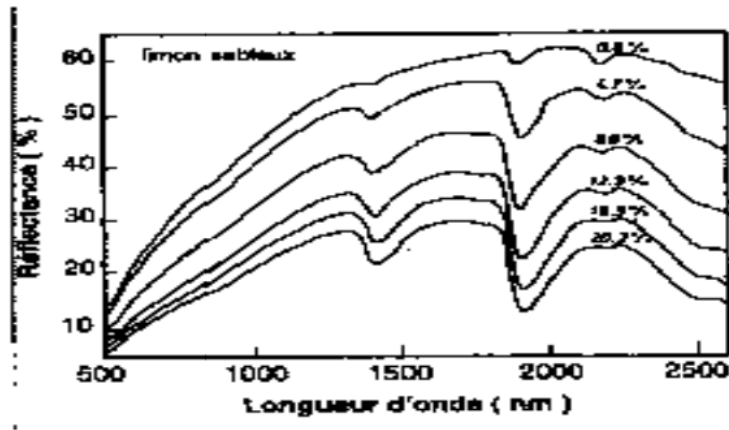
Girard et Girard (1999) et Bonn et Rochon (1996), notent que la diffusion correspond aux réflexions multiples du rayonnement qui frappe les molécules ou les particules (aérosols) de l'atmosphère dont la direction de propagation change. On distingue la diffusion de Rayleigh (résulte de l'interaction entre le rayonnement et les molécules gazeuses dont les dimensions sont très inférieures aux longueurs d'ondes du rayonnement solaire. C'est ce qui explique le couleur bleu du ciel et sa couleur rouge au coucher du soleil) et la diffusion de Mie qui est due aux aérosols en suspension dans l'aire – poussière, micro gouttelettes d'eau -qui concerne les aérosols.

#### **2.2.3. Signature spectrale des sols**

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleur (Bananari 1996). En effet chaque sol présente une signature spectrale précise en fonction des éléments qui le composent, à savoir : Dans sa phase solide, les éléments minéraux et organiques ; Dans sa phase liquide, l'eau sous ses différentes formes ; Dans sa phase gazeuse, l'oxygène, le gaz carbonique...etc.

Ces derniers ont une influence sur la réflexion du rayonnement solaire dans le visible et le proche infrarouge en particulier entre 0,5 et 2,5  $\mu\text{m}$ . La plupart des auteurs mettent l'accent sur l'intérêt de la bande rouge (0,6 - 0,7  $\mu\text{m}$ ). Pour l'étude des sols toutefois, l'interprétation de la réflectance doit tenir compte de la texture, de la structure et de l'humidité du sol (Fig. 4). Il est donc, à priori, possible d'identifier un objet à partir de son spectre électromagnétique (Guyot 1995). Mais la

signature spectrale d'un objet donné varie en fonction de son état et des conditions d'éclaircement (Mederbel 1983).



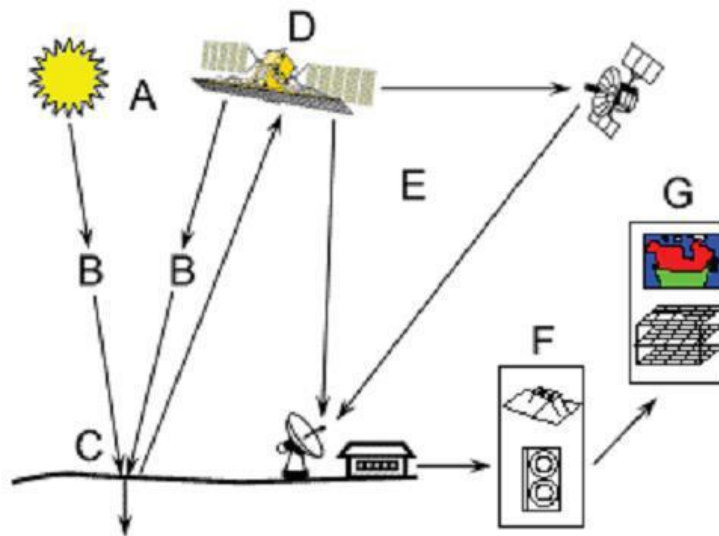
**Figure 4 :** Spectres de réflectance d'un limon sableux pour différentes humidités pondérales (Guyot 1995)

### 2.3. Processus de la télédétection

Le processus de la télédétection spatiale est expliqué par un schéma selon CCT (2015) (Figure 5).

- 2.3.1. Source d'énergie ou d'illumination (A) :** Elle est à l'origine de tout processus de télédétection, c'est une source d'énergie pour illuminer la cible. Souvent, cette source d'énergie est le soleil, mais le satellite lui-même peut être source d'énergie.
- 2.3.2. Rayonnement et atmosphère (B) :** Durant son parcours « aller » entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère, une seconde interaction se produit lors du trajet « retour » entre la cible et le capteur.
- 2.3.3. Interaction avec la cible (C) :** Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci, la nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique. Cette caractéristique s'appelle le « comportement spectral ». En télédétection, on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique, en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même.

- 2.3.4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) :** Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible mais embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion, pour être enfin enregistrée sous format numérique.
- 2.3.5. Transmission, réception et traitement (E) :** Cette information enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception située au sol, où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- 2.3.6. Interprétation et analyse (F) :** Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- 2.3.7. Application (G) :** La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour comprendre la cible, c'est-à-dire la portion d'espace étudiée pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.



**Figure 5 :** Processus de la télédétection (CCT 2015)

### 2.4. La détection passive et active

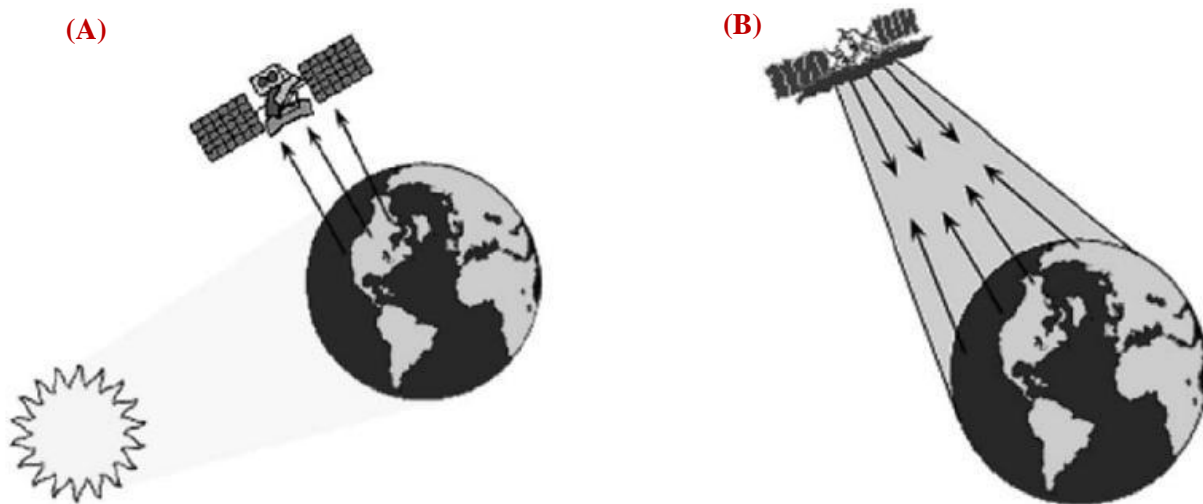
#### 2.4.1. La détection passive

L'énergie du Soleil (Source d'énergie ou de rayonnement pratique pour la télédétection), est soit réfléchi (La portion visible) ou absorbée et retransmise (infrarouge thermique) par la cible. Les dispositifs de télédétection qui mesurent l'énergie disponible naturellement sont des capteurs

passifs. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le Soleil illumine la terre (Fig. 6A). Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchie le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (L'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit. Un capteur actif produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur (Alexander 2005 ; Köhl et al. 2006).

#### 2.4.2. La détection active

Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Les capteurs actifs utilisent les longueurs d'onde qui ne sont pas produites en quantité suffisante par le Soleil telles que, les hyperfréquences ou pour mieux contrôler la façon dont une cible est illuminée (Fig. 6B). Par contre, les capteurs actifs doivent produire une énorme quantité d'énergie pour bien illuminer une cible. Le laser fluoromètre et le radar à synthèse d'ouverture (RSO) sont des exemples de capteurs actifs (Köhl et al. 2006).



**Figure 6 :** Détection passive (A) et active (B) (Köhl et al. 2006)

### 2.5. Résolutions

#### 2.5.1. Résolution spatiale

Correspond à la dimension et aux qualités d'observation du point élémentaire (pixel). La taille du pixel définit donc l'aptitude du capteur à distinguer deux objets proches sur la surface. Elle dépend de la fréquence d'échantillonnage du signal (Amour 2008).

### **2.5.2. Résolution temporelle**

La résolution temporelle d'un satellite traduit le temps que prend un satellite pour effectuer un cycle orbital complet (intervalle entre 2 passages au nadir d'un point de la surface terrestre). Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement le même point dans l'espace. La résolution temporelle absolue du système de télédétection est donc égale à cette période. Exemples : 16 jours pour Landsat TM, 3 jours pour SPOT (Golay 2007).

### **2.5.3. Résolution spectrale**

Selon (Chabira 2007), correspond à la capacité du capteur à distinguer des signaux de longueurs d'onde différentes. Elle dépend du dispositif de filtrage optique qui sépare les rayonnements incidents en bandes spectrales plus ou moins larges.

### **2.5.4. Résolution radiométrique**

Exprime l'aptitude du capteur, dans une bande spectrale considérée, à distinguer des signaux électromagnétiques d'énergies différentes. Sa limite est la plus petite variation d'énergie décelable (Maurel 2002).

## **2.6. Images satellitaires**

L'image satellitaire est un document numérique contenant diverses informations relatives à des objets tels que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est tel que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence.

### **2.6.1. Multi Spectral Scanner (MSS)**

Les images MSS sont les plus anciennes (1972) et de qualité la plus faible des trois capteurs Landsat. Le capteur MSS monté sur les satellites Landsat 1 à 5 collectes les images en seulement 4 bandes multispectrales (deux bandes visibles, deux proches infrarouges) (tableau 10), à une résolution spatiale de 80 mètres pour le Landsat (1-3) et de 82 mètres pour le Landsat (4-5), la scène couvre une surface de 180 x 172 km<sup>2</sup>, la prise des images MSS a cessé en 1982 à cause de l'utilisation des données TM qui a commencé avec Landsat 4 (CCT 2015).

**Tableau 1 : Les bandes du Capteur MSS**

Bandes		Longueur d'ondes (microns)
Landsat 1, 2, 3	Landsat 4, 5	
MISS 4	MISS 1	0,5 – 0,6 (vert)
MISS 5	MISS 2	0,6 – 0,7 (rouge)
MISS 6	MISS 3	0,7 – 0,8 (proche infrarouge)
MISS 7	MISS 4	0,8 – 1,1 (proche infrarouge)

### 2.6.2. LANDSAT TM 5

L'image est constituée de sept bandes spectrales avec une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes 1 à 5 et 7 (tableau 2).

**Tableau 2 : Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT TM 5**

Bandes	Domaine Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Résolution	Application
TM1	0,45 – 0,52 (bleu)	30m	Différenciation sol/végétaux zones côtières
TM2	0,52 – 0,60 (vert)	30m	Végétation
TM3	0,63 – 0,69 (rouge)	30m	Différenciation des espèces végétales
TM4	0,76 – 0,90 (proche IR)	30m	Biomasse
TM5	1,55 – 1,75 (MIR)	30m	Différenciation neige/nuage
TM6	10,4 – 12,5 (Thermique)	120m	Thermique
TM7	2,08 – 2,35 (SWIR2)	30m	Lithologie

### 2.6.3. Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+)

Le capteur ETM+ lancé avec le satellite Landsat 7 fournit la meilleure qualité des images Landsat. Similaire au capteur TM, le capteur ETM+ apporte les améliorations suivantes : Une bande supplémentaire qui est la bande panchromatique (bande 8) à une résolution spatiale de 15 mètres ; une amélioration de la résolution de la bande infrarouge thermique (bande 6) est subdivisée en une bande avec un gain élevé et une bande à faible gain rendu à 60 mètres (Kerbanji 2013).

### 2.6.4. LANDSAT 8 OLI

Il offre une image de neuf bandes spectrales avec une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes de 1 à 7 et 9, la bande 8 (panchromatique) à une résolution spatiale de 15 mètres (tableau 3). Deux nouvelles bandes sont offertes par le capteur OLI, la bande 1 (ultra -bleu) utile pour les études des aérosols et la cartographie côtière. Et la bande 09 utile pour les études des cirrus et des nuages.

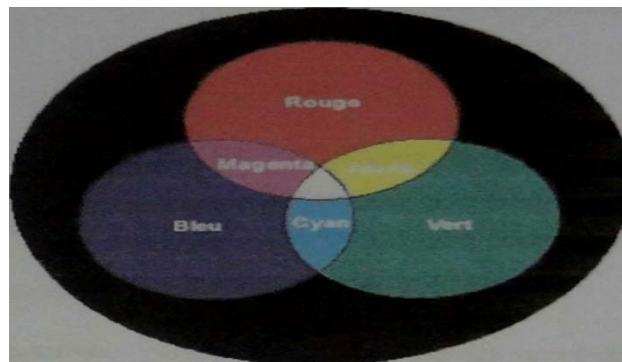


**Tableau 3 :** Caractéristiques des bandes spectrales de LANDSAT 8 OLI

Bandes	Domaine Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Résolution	Application
1	0,433 – 0,453	30m	Aérosols, zones côtières
2	0,45 – 0,515 (bleu)	30m	Pigment, Différenciation sol/ végétaux, zones côtières
3	0,525 – 0,600(vert)	30m	Pigment, zones côtières
4	0,630 – 0,680(rouge)	30m	Pigment, zones côtières
5	0,845 – 0,885 (proche IR)	30m	Feuillages, zones côtières
6	1,560 – 1,660	30m	Feuillages
7	2,100 – 2,300	30m	Minéral, lithologie
8	0,500 -0,680	15m	Panchromatique
9	1,360 – 1,390	30m	Cirrus et nuages
10	10,6 – 11,2	100m	Thermique
11	11,5 – 12,5	100m	Thermique

### 2.7. La composition colorée

Toutes les couleurs sont formées par l'addition de la lumière des trois couleurs primaires additives rouge, vert et bleu. En partant du noir, c'est à dire l'absence de lumière, on va ajouter des quantités variables de lumières rouge, verte et bleu pour afficher la couleur désirée. Chaque couleur est donc une combinaison singulière des trois couleurs primaires, la couleur blanche étant l'addition des trois couleurs primaires à intensité maximale, ce procédé est appelé « synthèse tri chromique additive » (Fig. 7).



**Figure 7 :** Les couleurs fondamentales de la composition colorée (CCT 2015)

Le tableau 4, montre les différentes combinaisons des bandes TM pour la composition colorée selon le domaine d'étude. Tandis que le tableau 5, montre les différentes couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat.

**Tableau 4 :** La composition colorée selon le domaine d'étude

Domaine d'étude	Système de couleur RVB		
	Rouge	Vert	Bleu
Couverture végétale	TM-4	TM-3	TM-2
Incendie de forêts	TM-7	TM-4	TM-2
Plans d'eau	TM-5	TM-2	TM-1
Sols et métaux	TM-7	TM-3	TM-2
Études urbaines	TM-6	TM-4	TM-7
Études urbaines	TM-3	TM-2	TM-1
Études des eaux	TM-3	TM-2	TM-1

**Tableau 5 :** Couleurs obtenues par la combinaison de différents canaux Landsat

Cible	Couleur	
	R : 4 V :3 B :2	R : 7 V :4 B :3
Végétation verte	Rouge	Vert
Eau profonde et pure	Noire	Bleu face, noire
Eau non profond pure	Bleu Claire	Bleu Claire
Neige ou nuage	Blanche	Blanche
Villes et bâti	Bleu	Violet, gris
Sable	Blanche	Blanche
Piste	Blanche	Marron
Ombre	Noire	Noire
Cibles rouges	Jaune	Violet
Cible noires	Noire	Rouge

### 2.8. La chaîne de traitement des images satellitaires

Avant que les images ne soient prêtes à l'interprétation, il faudrait qu'elles passent par une chaîne de traitement visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes. Le but est de classer les objets en ensembles homogènes suivant un ou plusieurs critères tels que la couleur, la forme et la texture. Cette chaîne de traitement comporte deux grandes étapes :

#### 2.8.1. Les prétraitements

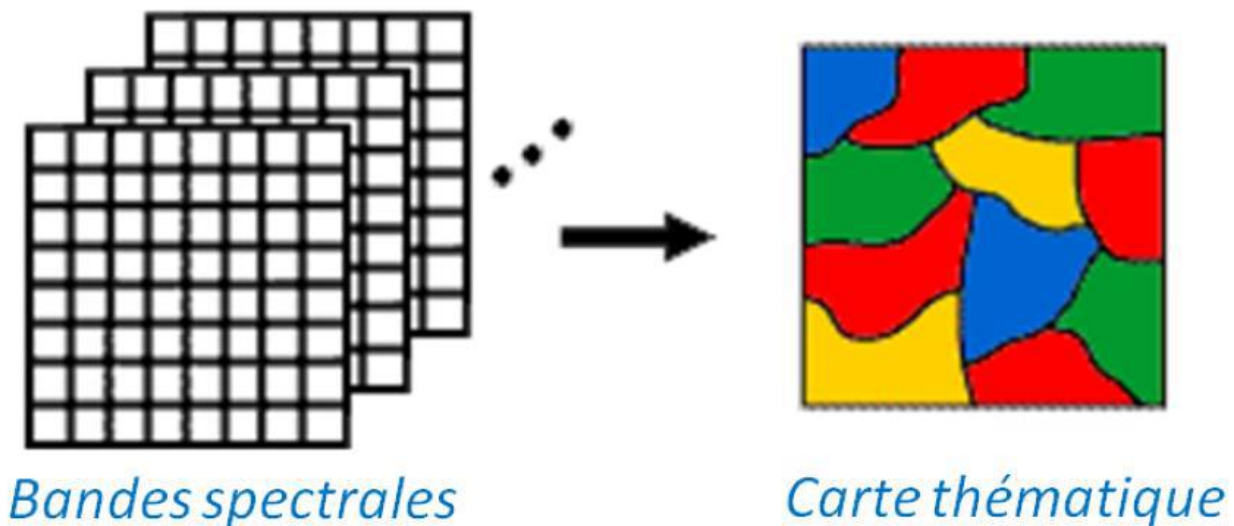
Les prétraitements sont des opérations effectuées sur les images de façon à les corriger ou les améliorer géométriquement et thématiquement. Il existe trois types de prétraitements : les corrections radiométriques, les corrections géométriques et les corrections atmosphériques : Les corrections géométriques sont appliquées sur les images pour réduire les déformations géométriques intervenues lors de l'enregistrement de la scène, les distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre, variation d'altitude au sol, réfraction atmosphérique...). Les distorsions dues aux erreurs des systèmes de mesure. Les distorsions provenant des mouvements de la plate-forme (roulis, tangage, lacet...).

Les corrections atmosphériques : Le principe est de convertir les valeurs numériques (en niveau de gris) de la scène en valeur de luminance et par la suite éliminer les effets perturbateurs atmosphériques qui donnent une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée.

Les corrections radiométriques : Permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc.).

### 2.8.2. Classifications

L'étude de la dynamique des éléments de l'espace est axée sur la bonne représentation des unités principales sur une image. Leur variation hétérogène spatiale, spectrale et temporelle exige de les présenter de façon homogène, pour mieux interpréter les objets d'une image. Cette représentation dite « classification » est utilisée pour la production de cartes thématiques (Fig. 8), où elle offre une analyse plus détaillée de l'image. Elle peut être effectuée sur un ou plusieurs canaux d'une image pour séparer les divers éléments d'une image en fonction de leurs caractéristiques spectrales (Ducrot 2005).



**Figure 8** : Principe de classification (Francisco et al. 2013)

#### 2.8.2.1. Classification non-supervisée

Les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans aucune information a priori sur la nature des objets à classer. Le principe de la classification non-supervisée est d'attribuer automatiquement chaque pixel à une classe suivant sa signature spectrale. L'algorithme le plus utilisé est le cluster ISODATA qui utilise de multiples itérations (répétitions). Après la

classification, une interprétation visuelle est requise pour assigner à chaque cluster une description cohérente, et éventuellement regrouper manuellement les classes superflues (Girard et Girard 1989).

### **2.8.2.2. Classification supervisée**

Les données sont classées vis à vis d'objets de référence qui sont choisis par l'utilisateur. Ces objets (classes) peuvent être soit définis à partir de comptes numériques sur un histogramme à plusieurs dimensions (méthode hyper cube, cross-plots en anglais), soit à partir de polygones d'entraînement repérés géographiquement sur l'image (zones-test, zones d'apprentissage) (Girard et Girard 1999).

## **2.9. Indices de végétation**

En télédétection, les indices font partie des méthodes de traitement que l'on appelle « les transformations multi spectrales ». Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, ainsi que pour estimer certains paramètres biophysiques des couverts végétaux (la biomasse, l'indice de surface foliaire) (Abdelbaki 2012).

### **2.9.1. Principe de calcul des indices de végétation**

Le calcul des indices s'appuie essentiellement sur les écarts de réflectance constatés dans les différentes bandes spectrales, ainsi que sur la variabilité des réflectances au sein de la même bande spectrale, qui traduisent des surfaces de nature différente. Par conséquent, on utilise principalement les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge. Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), tandis que celles dans le rouge diminuent (pic d'absorption de la chlorophylle).

### **2.9.2. Principaux indices de végétation**

De nombreux indices de végétation ont été développés et utilisés depuis une quarantaine d'années. Le tableau 6 résume les indices de végétation les plus utilisés (Girard et Girard 1999).

**Tableau 6 :** Indices de végétation définis à partir de données de télédétection

Les indices simples	
$DVI = \rho_{FIR} - \rho_R$	Bacour <i>et al.</i> (2006)
$RVI = \frac{\rho_{FIR}}{\rho_R}$	Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969)
$NDVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R}$	Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)
Les indices de stress hydrique	
$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{FIR}}$	Hunt and Rock (1989)
$NDWI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{FIR} + \rho_{MIR}}$	Gao (1996)
Les indices prenant en compte l'influence des sols	
$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)$	Richardson and Wiegand (1977)
$SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Huete (1988)
$TSAVI = \frac{a(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
$MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$	Qi <i>et al.</i> (1994)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{rb}}{\rho_{FIR} + \rho_{rb}}$	Kaufman and Tanré (1992)
$GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$	Pinty et Verstraete (1992)
Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère	
$EVI = G \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$	Huete <i>et al.</i> (1999)
Les indices prenant en compte les températures de surface	
$TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$	Sandholt <i>et al.</i> (2002)

### 2.10. Domaine d'utilisation de la télédétection

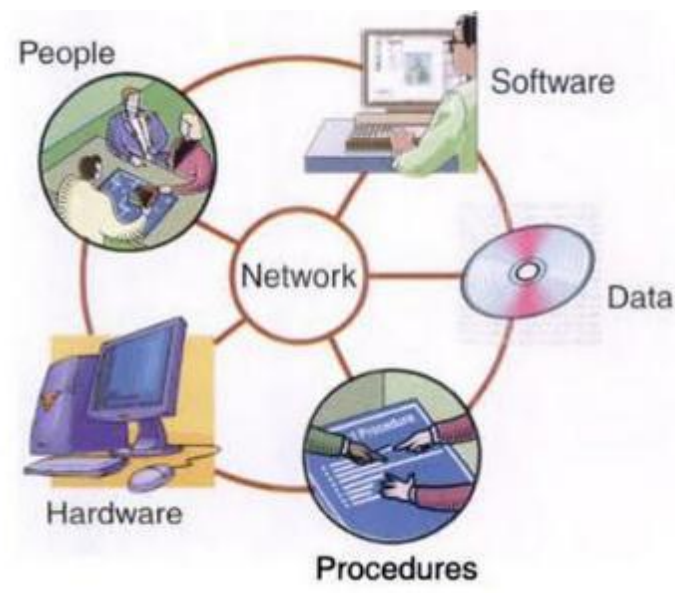
La télédétection est présente dans plusieurs domaines de recherches tels que la cartographie des zones humides (Roshier et Rumbachs 2004), l'analyse d'habitat naturel (Hyde et al. 2006), les

études sur la biodiversité (Tuner et al. 2003 ; Duro et al. 2007), les inventaires forestiers (Ardö 1982 ; West 1995 ; Cohen et al. 2001 ; Franco-Lopez et al. 2001 ; Foody et al. 2003 ; McRoberts et Tomppo 2007 ; Gasparri et al. 2010 ; Powel et al. 2010 ; Mouissa 2014), la gestion des incendies et l'évaluation de leurs effets (Chuviéco et Kasischke 2007) et enfin la cartographie de la végétation et les types de couverture végétale dans le monde entier (Cherrill et al. 1994 ; Muldavin et al. 2001).

### 3. Systèmes d'informations géographiques

#### 3.1. Définition

Les SIG sont des environnements de traitement de l'information à référence spatiale (Claude 2004). Il s'agit d'après Berry et Miellel (1999) d'un système d'information (SI) dont l'objectif est de décrire un territoire de façon à améliorer sa connaissance et à permettre la description et l'analyse des phénomènes naturels ou humains qui s'y produisent (Fig. 9).



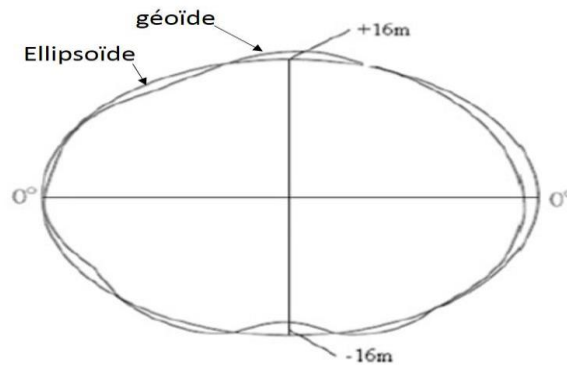
**Figure 9** : Conception de SIG (Longley et al. 2005)

#### 3.2. Les données géographiques

##### 3.2.1. Les coordonnées terrestres

Selon Lu et al. (2014), la terre est une sphère, mais une sphère imparfaite, le géoïde est la forme théorique qui se rapproche le plus de la surface réelle de la terre c'est-à-dire le niveau moyen des mers. Il sert de référence pour déterminer les altitudes.

L'ellipsoïde est la surface mathématique qui se rapproche le plus de la forme du géoïde (Fig. 10) et grâce à ce dernier, les coordonnées géographiques en Longitude et en Latitude sont facilement calculables (Lu et al. 2014).



**Figure 10 :** L'ellipsoïde (Lu et al. 2014)

Le procédé mathématique qui permet le passage de l'ellipsoïde au plan se nomme : système de représentation plane ou système de projection ou projection Un Daum (ellipsoïde local) est créé sur l'ellipsoïde sélectionné et peut incorporer des variations locales d'altitude. Le datum et l'ellipsoïde sous-jacents par rapport auquel les coordonnées d'un jeu de données sont référencées peuvent changer les valeurs de coordonnées. On peut sélectionner un ellipsoïde particulier à utiliser dans une zone géographique spécifique, s'il imite particulièrement bien le géoïde de cette partie du monde (Lu et al. 2014).

### 3.2.2. Le système des coordonnées

D'après Steinberg (2002), le système des coordonnées est une structure de référence fixe superposée sur la surface d'une zone permettant d'y désigner la position d'un point. La base géographique est accordée à un système de coordonnées terrestres, généralement les méridiens et les parallèles, dans le cadre d'une projection cartographique donnée c'est le géoreférencement ; tout point de la base et par conséquent tout objet intégré au SGBD sont identifiés spatialement en X et en Y avec précision. Le système de coordonnées cartésiennes et le système de coordonnées géographiques utilisés sur la surface de la terre sont des exemples courants de systèmes de coordonnées.

### **3.3. Types de modèles géographiques**

#### **3.3.1. Le modèle vecteur**

Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées x, y. Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont eux représentés par une succession de coordonnées x,y. Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée. Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes.

#### **3.3.2. Le modèle raster**

Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol... Chacun de ces deux modèles de données dispose de ses avantages. Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément les données raster et vectoriel de représentation.

### **3.4. La projection de la carte**

La projection de la carte est le composant le plus intrigant du système de coordonnées mettant en référence parce qu'il offre un niveau élevé de flexibilité (Galatia 2006). En Algérie, on distingue deux types de projections ; 1) La projection conique Conforme de Lambert ; 2) La projection Universal Transverse Mercator (UTM).

### **3.5. L'échelle**

L'échelle est le rapport entre une distance mesurée sur la carte et la même distance mesurée sur le terrain, dans les mêmes unités (Legrois 1996). Cette notion d'échelle est identique dans les SIG lors d'une représentation graphique des éléments de l'espace géographique soit à l'écran, soit sur support papier (Caloz et Collet 2011). Une grande échelle est l'échelle dont le rapport 1/x est élevé, ce qui veut dire x petit. La grande échelle n'intéresse que des territoires restreints. À l'inverse, une petite échelle correspond en général à des surfaces considérables (Legrois 1996).



### 3.5.1. L'échelle numérique

L'échelle  $e$  d'une carte est le rapport entre une distance  $d$  sur la carte et la distance correspondante réelle  $D$  sur le terrain (Vergely 2010).

### 3.5.2. L'échelle graphique

L'échelle d'une carte, d'une coupe, d'une figure, d'un dessin ou autre document peut aussi être donnée sous forme graphique : on trace un segment gradué, subdivisé en kilomètres, en hectomètres, ou moins encore pour une figure d'affleurement sur le terrain. Cette échelle graphique est recommandée pour les coupes géologiques car elle visualise immédiatement les dimensions (Vergely 2010).

## 3.6. Les modèles de stockage de données

On distingue deux modèles de stockage, de gestion et de structuration des données géographiques qui déterminent le type de système d'information géographique : les SIG « raster » et les SIG « vecteur », l'un et l'autre mode de stockage et de gestion des données intégrant les données.

Raster ; les images satellites numériques, les photos aériennes, les ombrages de pentes et les modèles numériques de terrain.

Vecteur ; le point (carte routière), la ligne (réseau hydrographiques, d'assainissement) et la surface (une forêt, un lac, une zone bâtie).

Chacun des deux systèmes de stockage de l'information géographique, produit, présente et gère les données numérisées sous la forme de pixels (Pictures éléments), le mode « raster », soit sous l'aspect de formes géométriques (segment de droite, point, etc.) rapportées à un plan vectoriel ( $x$ ,  $y$ ) ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  lorsque l'on intègre la troisième dimension) (Yeung et Hall 2007). L'information spatiale dans le SIG peut permettre le passage d'un mode vecteur à un mode raster et vice-versa (Verbyla 2003).

## 3.7. Les domaines d'application de SIG

Le SIG touche pratiquement la plupart des domaines (urbanisme, études économiques et socio-économiques, tourisme, géomarketing, télécoms, réseaux de communication, réseaux de transport, protection civile, hydrologie, forêts, agriculture, science de la terre et biologie) et résout des problématiques de plus en plus complexes.

**4. Conclusion**

La télédétection permet d'exploiter l'information spectrale à des fins d'analyse, d'interprétation et de gestion de l'environnement. L'objectif du traitement numérique d'images satellitaires est d'en extraire le maximum d'informations, et d'évacuer tout ce qui est superflu. La télédétection et les SIG peuvent être des outils très complémentaires avec les méthodes conventionnelles utilisées dans l'évaluation, le suivi, la prévention et la gestion des écosystèmes.

# Chapitre Troisième

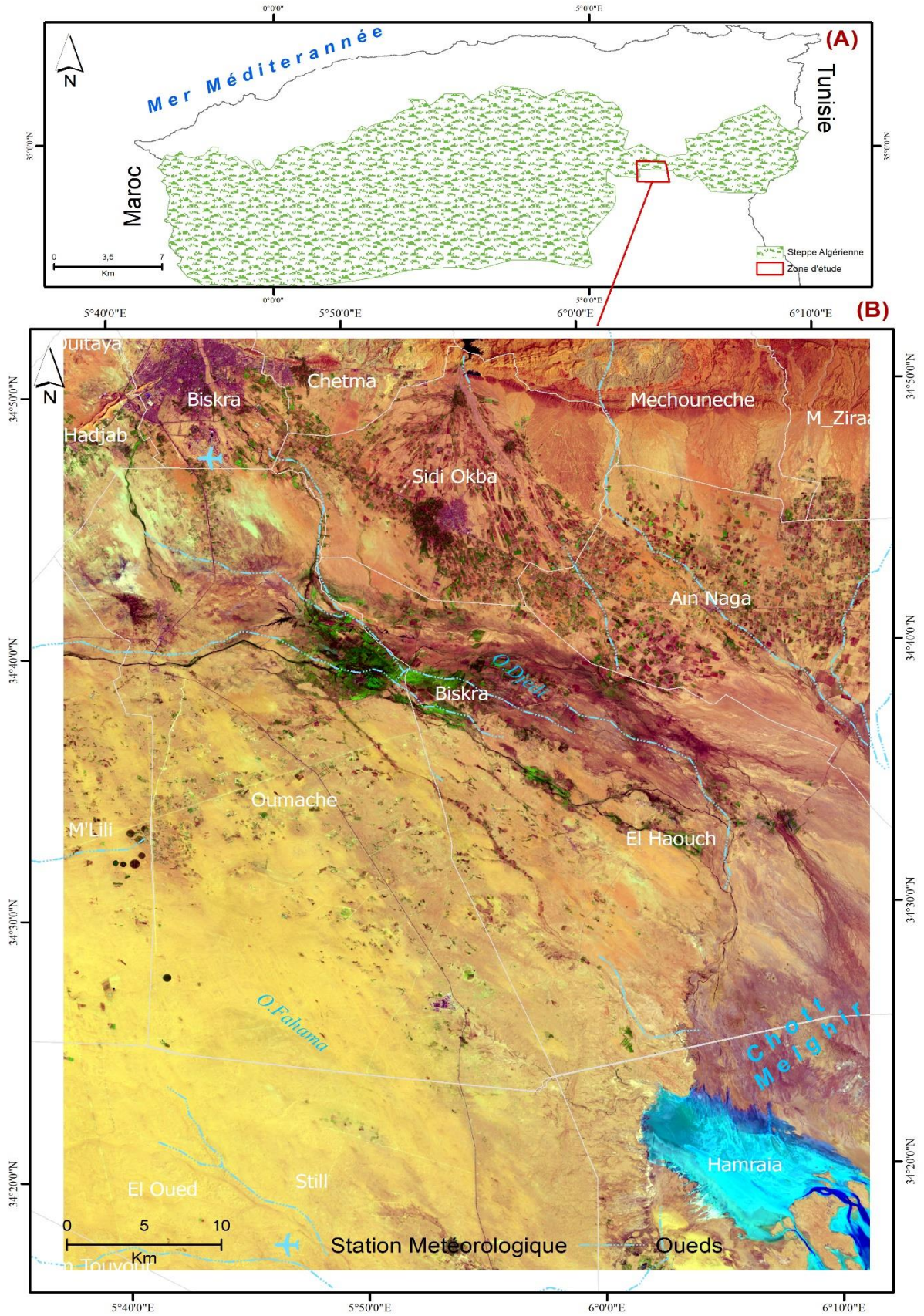
*Présentation de la région d'étude :  
parcours présaharien de Biskra*

### **1. Introduction**

Ce chapitre consiste à analyser et à évaluer la situation du milieu physique du parcours présaharien de Biskra et identifier ses différentes composantes (Topographie, Géographie, Géologie, Hydrogéologie, Pédologie et Climat), afin de déterminer ses aptitudes physiques et agro-pastorales ainsi sa classification en région fonctionnelles en fonction de la vocation socio-économique principale.

### **2. Géo-localisation**

La région de Biskra (34° 48' Nord et 05° 44' Est) est située au pied du versant sud du massif des Aurès. Elle est considérée comme une zone charnière et un passage obligé entre le tel et le grand Sahara. Cette région constitue l'une des zones de transition les plus nettes entre les domaines montagneux et plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara septentrional au Sud (Chebbah 2007). La zone d'étude couvre une superficie de 3,444.74 km<sup>2</sup>, comprend 13 municipalités situées au Sud-Biskra et certaines parties sont situées dans les zones nord du gouvernorat d'El-Oued (El-Hadjab, Biskra, Chetma, Mechouneche, M'ziraa, Sidi-Okba, M'lili, Oumache, El-Haouch, Ain Naga, Oum Tiour, Still et Hamraia) (Fig. 11).



**Figure 11 :** (A) Localisation de la zone d'étude dans la steppe Algérienne ; (B) Localisation de la zone d'étude basée sur Landsat 8 OLI (2019)

### 3. Le relief

Dans la région sud, la plaine saharienne est un piémont sans relief marqué qui relie par une pente douce les montagnes de l'Atlas aux étendues sahariennes proprement dites (Fig. 12). Elle est formée par une série de glacis d'érosion façonnés par l'écoulement, où sont situées les Oasis (Chebbah 2007 ; Sedrati 2011). En surface, les dépôts grossiers se trouvent à la base des montagnes et se transforment en dépôts d'argile et de sable, vers le sud. D'une manière générale, la topographie est caractérisée par le développement d'une vaste plaine coupée par des lits d'Oued qui s'écoulent depuis les montagnes de l'Atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée de Chott Melghir (Sedrati 2011).

D'après le tableau 7, l'altitude  $\leq 100$  m, représente 93 %, de la superficie totale de la zone d'étude.

**Tableau 7 :** Répartition des surfaces en fonction des classes d'altitude au Sud-Biskra

Les classes d'altitudes (m)	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface (%)
< 0	1,026	30
0 - 100	2,191	64
100 - 200	181	5
200 - 300	38	1
300 - 400	6	0
> 400	2	0
$\leq 100$	3,217	93
Plus de 100	228	7

De plus, on trouve au sud de la dépression le plus profond point de l'Algérie (chott Melghir) où le quaternaire est répandu et forme de grandes unités qui sont les aquifères alluviaux de siège de moyenne profondeur (Ouerdachi et al. 2012). Il est caractérisé par une surface plane à pendage Sud-Est qui atteint des valeurs d'élévation négatives correspondant au bassin endoréique de Chott Melghir (-70 m) (Ghiglieri et al. 2020).

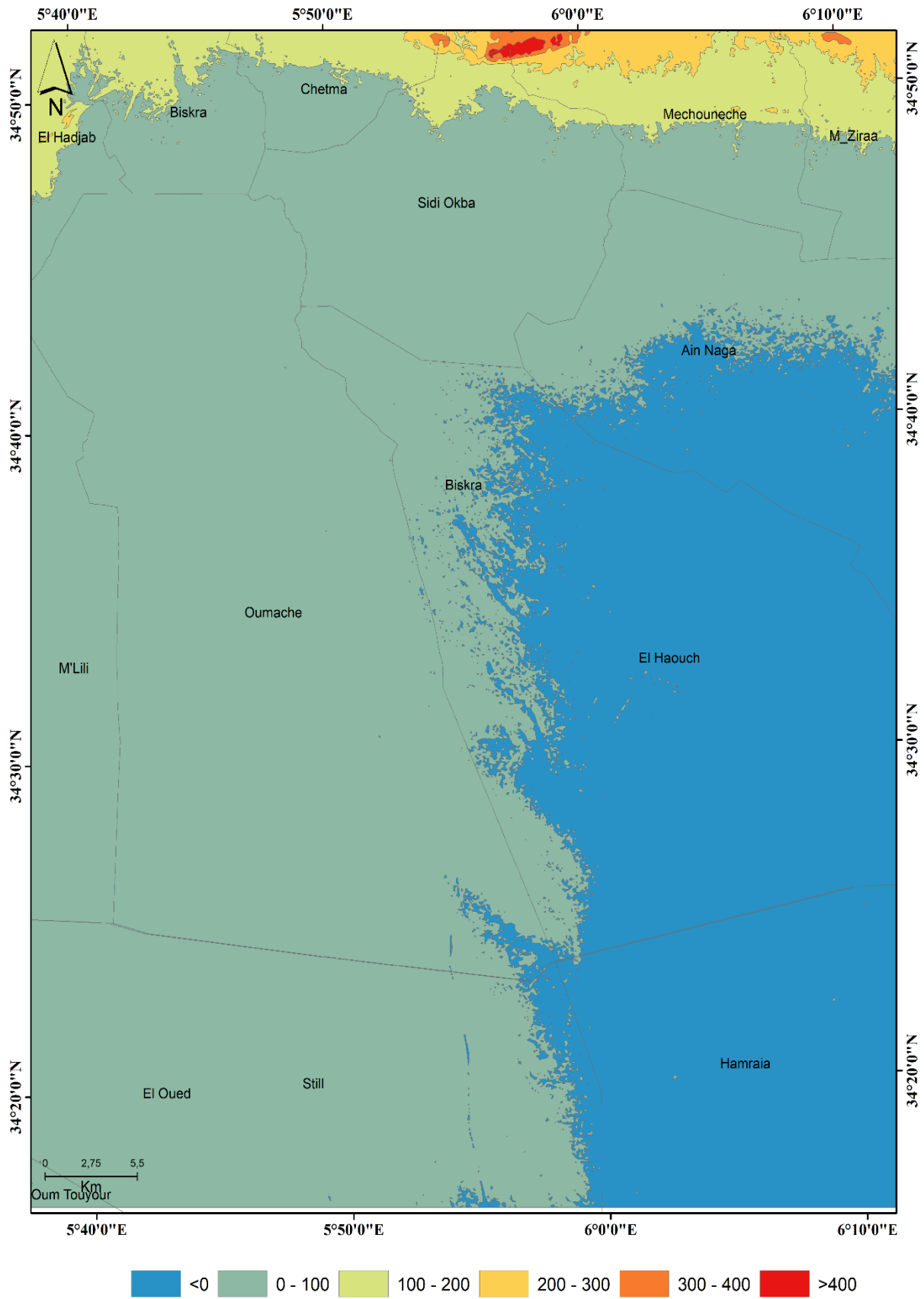


Figure 12 : Carte d'altitude de Sud-Biskra

#### 4. Classes des pentes

Selon Boulghobra (2006), la pente topographique exprime l'inclinaison des versants par rapport à l'horizontal. C'est un facteur essentiel de l'écoulement de surface, car en effet ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence des fortes pentes et dénivelées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive. Dans notre région d'étude, on a pu faire ressortir cinq classes de pente (tableau 8). Les pentes très faibles (moins de 5 %) : fréquentes et couvrent presque la moitié de notre zone d'étude (1,485 Km<sup>2</sup>, 43%). C'est une zone de réception et de cumul hydrologique (Fig. 13).

Les pentes faible (5 – 15 %) : coïncident avec une surface importante (1,381 Km<sup>2</sup>).

Les pentes moyennes (15 – 30 %) : couvrent une superficie de 496 Km<sup>2</sup>.

Les pentes fortes (30 – 45 %) : occupent la partie Nord et présentent en général un piedmont.

Les pentes très fortes (plus de 45 %) : correspondent aux montagnes des Aurès Némamcha plus ou moins enlevées. Se situent au Nord-Est de la région d'étude (Mechouneche, M'ziraa).

**Tableau 8** : Répartition des surfaces en fonction des classes de pentes au Sud-Biskra

Classes de pentes	Surfaces (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
Très faible (<5)	1,485	43
Faible (5<P< 15)	1,381	40
Moyenne (15<P< 30)	496	14
Forte (30<P< 45)	66	2
Très forte (>45)	7	0



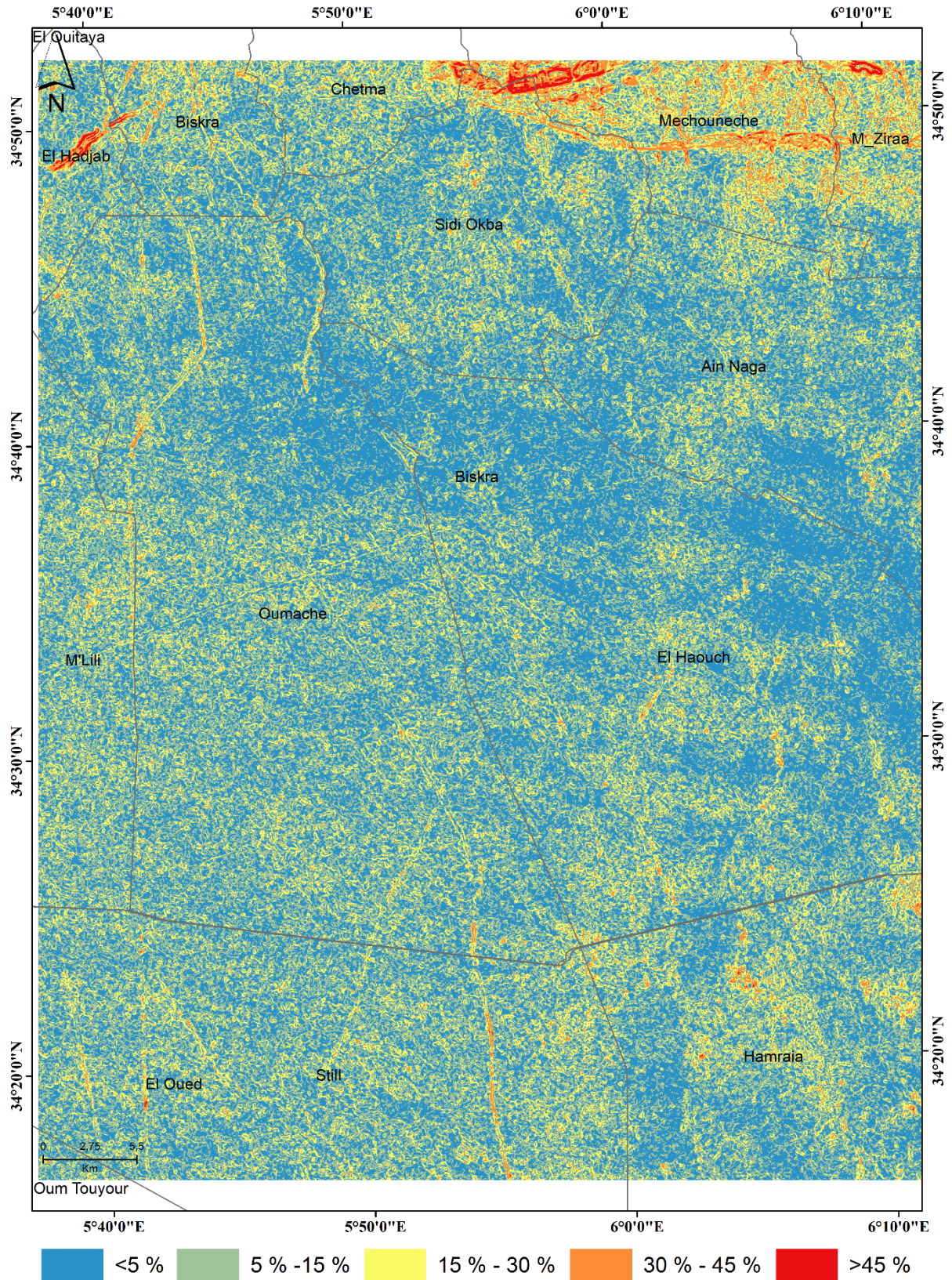


Figure 13 : Carte de pentes de Sud-Biskra

**5. Topographie**

D'après la figure 14, Le relief de la région de Sud-Biskra est topographiquement correspond à un piémont qui décroît progressivement du nord (Aures Nemamcha) jusqu'à la dépression de Chott Melghir au sud, marqué par des pentes modérées à faibles, occupés une grande superficie de notre zone d'étude essentiellement composées d'argile fine et d'alluvions, conduisant au développement d'importantes activités agricoles et des parcours steppiques.

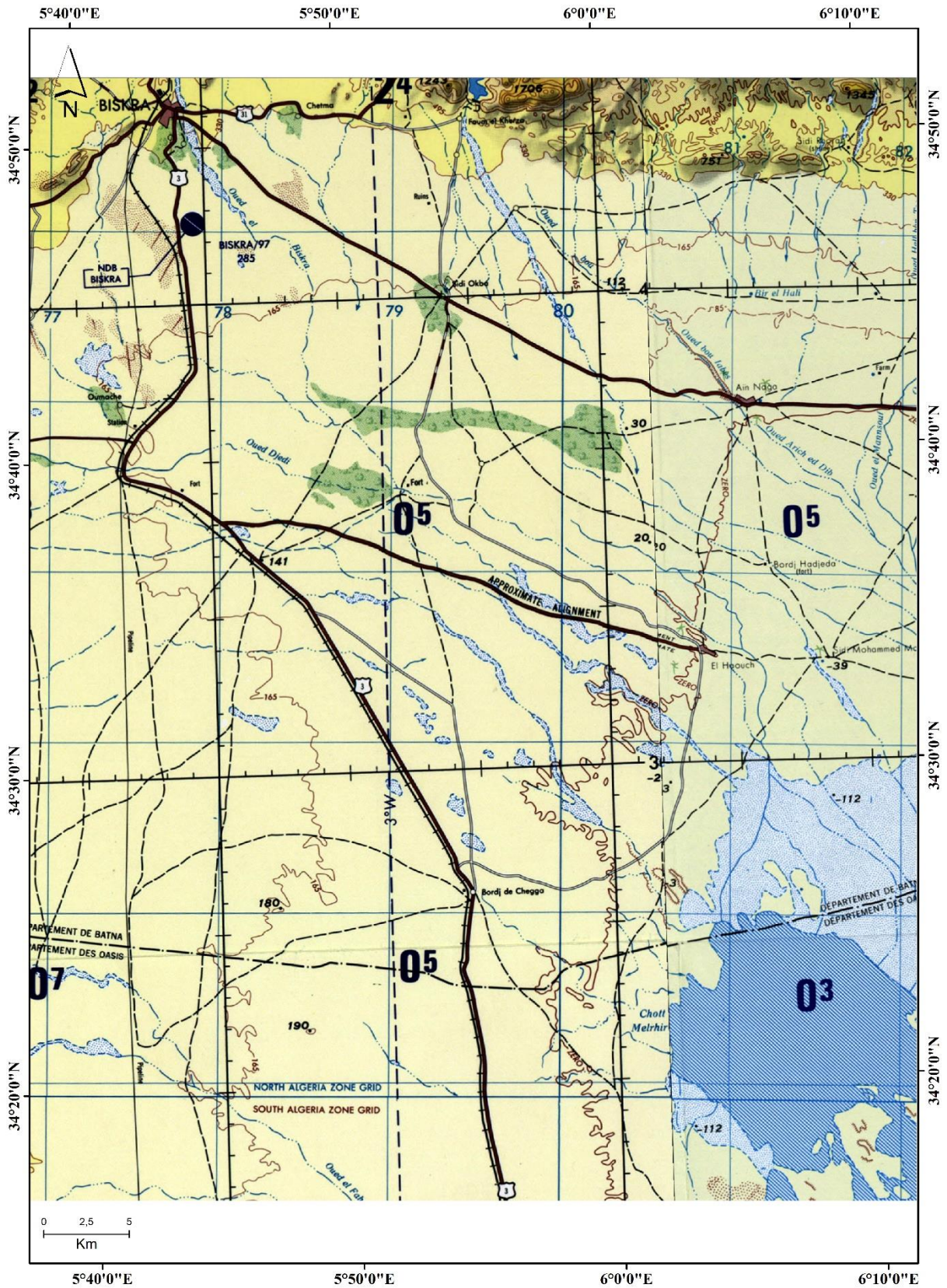


Figure 14 : Carte topographique de Sud-Biskra à une échelle de 1/250.000

### 6. Aspect géologique

En se référant à la carte géologique d'Est Algérien Deleau et Laffitte (1951), il s'avère que les affleurements géologiques dans notre zone d'étude s'échelonnent depuis l'alluvion actuelles jusqu'au faciès marins normaux (tableau 9).

La région de Biskra est située dans la zone de transition entre le domaine plissé de l'Atlas dans la partie nord de la région et le domaine désertique et plat du Sahara, dans le sud.

La région est caractérisée par la superposition de plusieurs plissements survenus entre l'Éocène moyen et le Pléistocène, qui influencent fortement la géométrie des principaux aquifères (Buttau et al. 2013 ; MdH 1980 ; Arras et al. 2017).

D'après Afrasinei et al. (2015), la stratigraphie lithologique est composée principalement d'alternances d'argile et de sable (Quaternaire et Mio-Pliocène), d'argiles gypseuses et de dépôts évaporitiques (Eocène moyen), de calcaire (Eocène inférieur). Calcaires, argiles à gypse et halite (Sénonien), calcaires et dolomies dolomitiques (Turonien) et argiles, marne et gypse appartenant au Cénomaniens.

Le Quaternaire continental est une formation calcaire-gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseurs, elle occupe des alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'Oued Djedi (Tir 2007), la figure 15 montre une claire dominance de ce stade géologique avec 2,581 Km<sup>2</sup> (56 %). Le Pliocène continental est représenté par des poudings, des bancs de grés et d'argiles sableuses à proximités des massifs (Chetma) passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Aussi il est représenté par la croute calcaire-gypseuse, englobant souvent des masses des poudings, des sables et des graviers dans le Sud d'Oued Djedi (811 Km<sup>2</sup>).

**Tableau 9 :** Répartition spatiale et superficies de différentes formations lithologiques au Sud-Biskra

Les formations lithologiques	Symboles	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
Alluvions actuelles	a	533	12
Dunes récentes	d	30	1
Quaternaire continental	qt	2,581	56
Pliocène continental	pc	811	18
Pontien	mp	168	4
Miocène continental antépontien	mc	203	4
Aquitaniens continental	oa	3	0
Eocène moyen marin	em	2	0
Eocène inférieur marin	ei	12	0
Crétacé supérieur marin	cs	180	4
Crétacé moyen	cn	40	1
Faciès marins normaux	ci	13	0

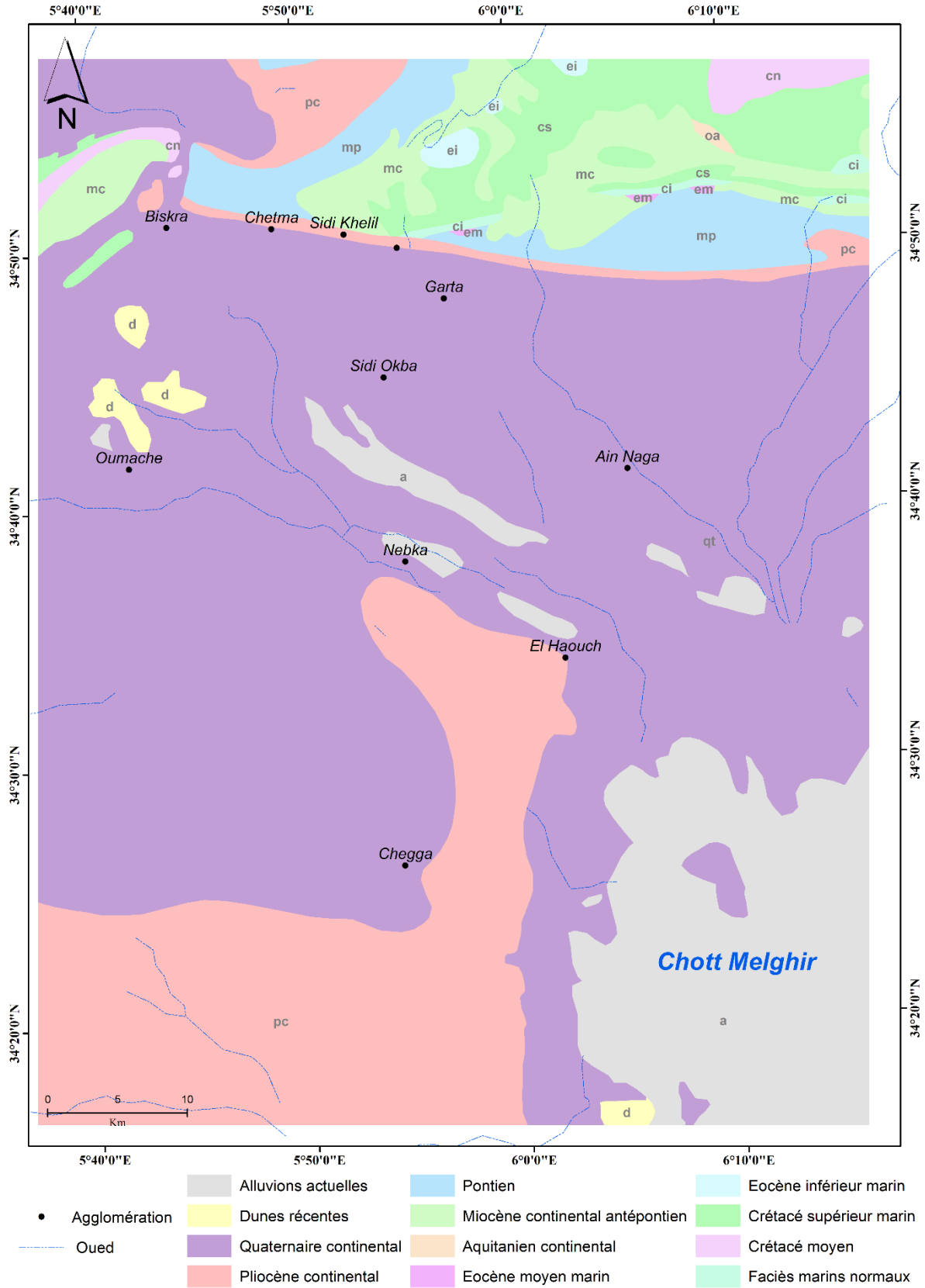


Figure 15 : Carte géologique de Sud-Biskra à une échelle de 1/500.000, digitalisée après Deleau et Laffitte (1951). Système de projection Transverse Universelle de Mercator, zone 31

### **7. Réseau hydrographique**

La région de Biskra est traversée par de nombreux Oueds, qui forment un réseau hydrographique simple et sec le long de l'année, sauf lors des précipitations exceptionnelles et qui font partie du grand bassin versant saharien du Chott Melghir (Boudibi 2021). Ce dernier est alimenté principalement par Oueds Djedi, Biskra, El Arab, El Abiod (Benkhaled et al. 2008). Les Oueds qui fournissent les volumes d'eau les plus importants proviennent de l'Atlas Saharien depuis les Monts des Ksour, à l'ouest par Oued Djedi, jusqu'aux Némencha, à l'est Oued El Arab. Ce sont principalement les Aurès qui alimentent les principaux cours d'eau. Oued Djedi est le plus important oued de la région, il présente une superficie de drainage de 9130 km<sup>2</sup>. Il constitue un collecteur des eaux de ruissellement d'une zone importante du versant sud de l'Atlas saharien (Ballais 2010).

Le bassin versant de l'Oued Biskra, fait partie du grand bassin du Chott Melghir, qui couvre une superficie de 68,751 km<sup>2</sup> et comprend de trente sous-bassins versants. Le bassin versant de l'Oued Biskra est allongé dans la direction (SO.NE), les principaux Oueds drainant ce dernier sont : Oued El Hai qui forme une confluence avec l'Oued Djemoura formant l'Oued Biskra. Les formations alluviales de l'Oued Biskra reposent sur les formations argileuses miocènes pratiquement imperméables. Elles sont les produits de l'érosion des reliefs amont qui ont subi un transport conséquent depuis le nord, leur nature est généralement calcaire et argileuse (Boumessenagh et al. 2022). Par la suite, l'Oued Biskra s'écoule dans le bassin du Chott Melghir, recevant l'apport d'autres affluents comme l'Oued Djedi, l'Oued Boulabes, l'Oued El Mansouf et l'Oued Fahama (Fig. 16).

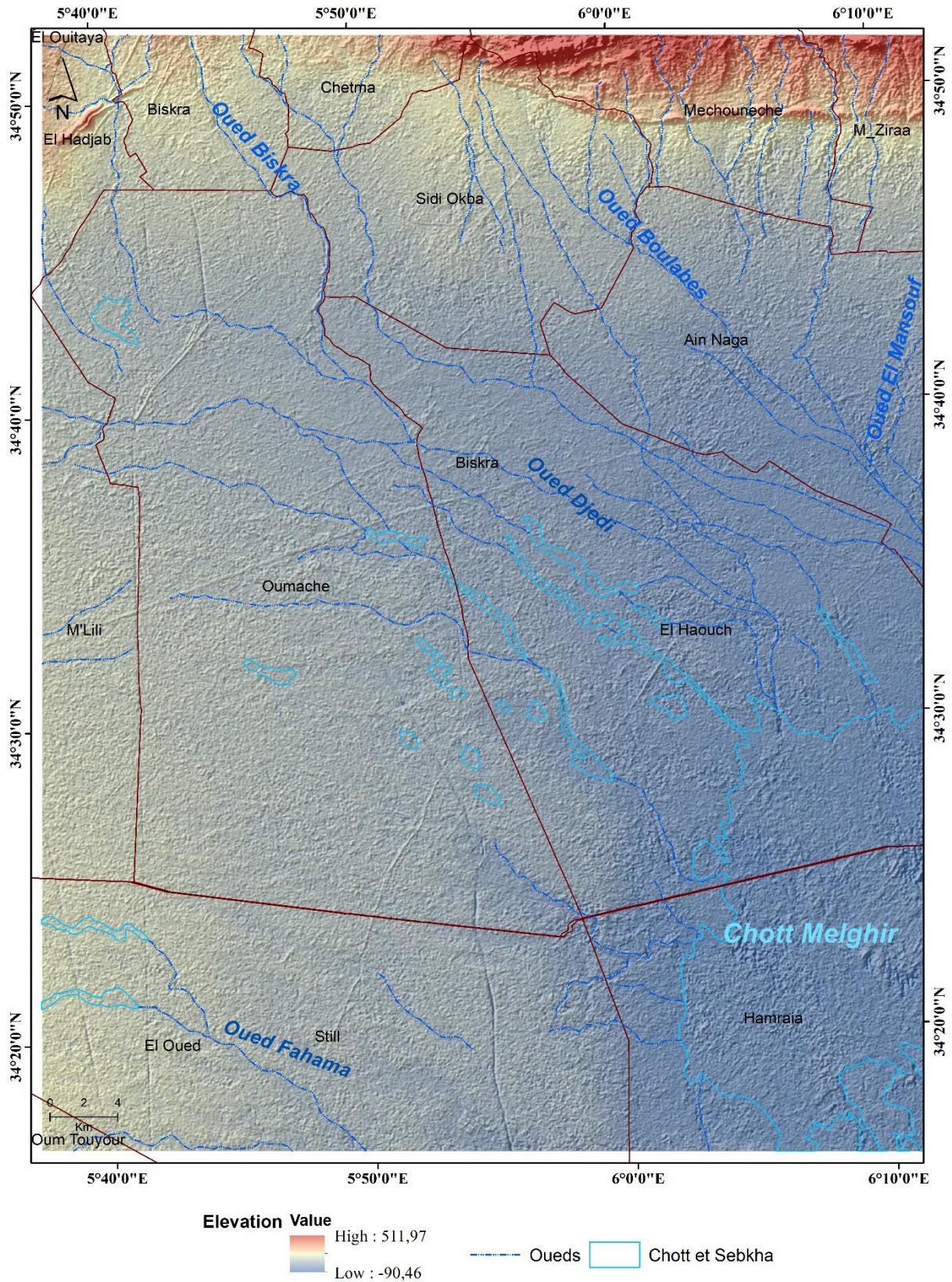


Figure 16 : Réseau hydrographique de la région de Sud-Biskra

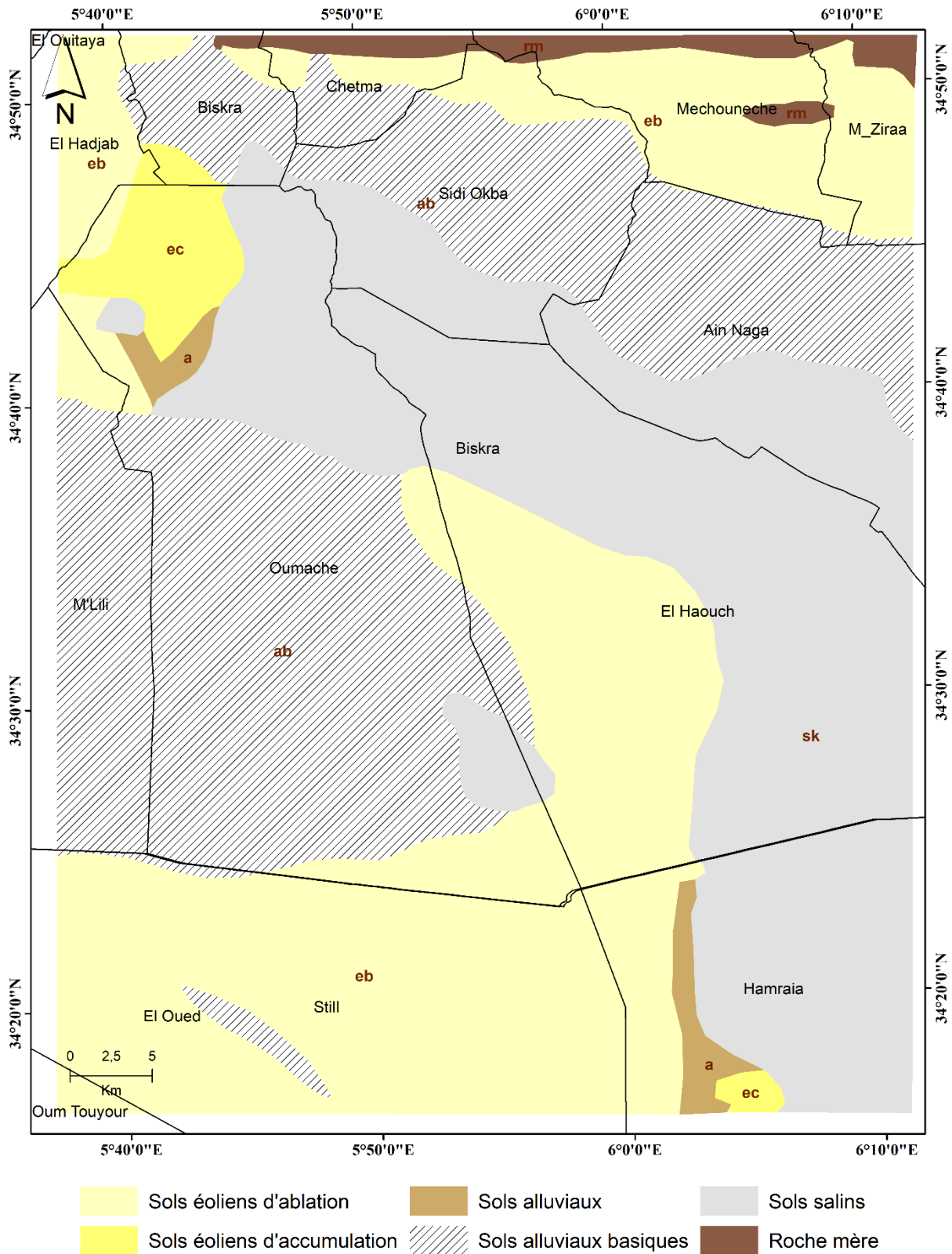
### 8. Aspect pédologique

D'après la carte pédologique de l'Algérie, Biskra (Fig. 17), réalisée par Durand et Barbut (1938), le Nord et Sud-Ouest de la région d'étude est caractérisée par les sols éoliens d'ablations avec 1,145 Km<sup>2</sup> (33 %) (tableau 10). Le régime général des vents détermine aussi l'accumulation du sable dans des régions entièrement occupées par des dunes au Nord d'Oumache avec des formations sableuses fixées par la végétation. Les sols alluviaux basiques situés dans les lits d'oueds, présents dans des grandes surfaces au Sud de Biskra (1,073 Km<sup>2</sup> ; 31%) au Nord Sidi-Okba, Ain Naga et Sud Oumache, tandis que les sols alluviaux occupent des petites parties d'Oumache et au Sud-Ouest de Chott Melghir. Les sols salins occupent la dépression de Chott Melghir et la partie centrale de notre région d'étude (1,041 Km<sup>2</sup> ; 30 %). Selon Sedrati (2011) Les sols sont généralement pauvres et peu profonds, ce sont des sols éoliens d'ablation et des sols basiques. Ces principaux types des sols identifiées permettent d'appréhender la distribution spatiale des espaces et de leur vocation. Les palmiers dattiers sont cultivés avec succès dans plusieurs types de sol (sols sablonneux, sableux argileux, argileux et lourds), mais nécessitent un bon drainage du sol et l'aération (Khierallah et al. 2015 ; Bekheet et El-Sharabasy 2015). L'activités agricoles au Sud-Biskra s'établissent dans les glacis et les lits d'Oued (sol alluviaux basiques). Les parcours steppiques aride au Sud-Biskra sont adaptés avec nombreuses types de sol (sols alluviaux, sols alluviaux basiques, les sols éoliens et sols salins).

**Tableau 10 :** Distribution spatiale de différents types des sols au Sud-Biskra

Types des sols	Symboles	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
Sols éoliens d'ablation	eb	1,145	33
Sols éoliens d'accumulation	ec	86	2
Sol alluviaux basique	ab	1,073	31
Sol alluviaux	a	39	1
Sol salins	sk	1,041	30
Roche mère	rm	58	2





**Figure 17** : Carte pédologique de Sud-Biskra à une échelle de 1/500.000, digitalisée après Durand et Barbut (1938). Système de projection Transverse Universelle de Mercator, zone 31

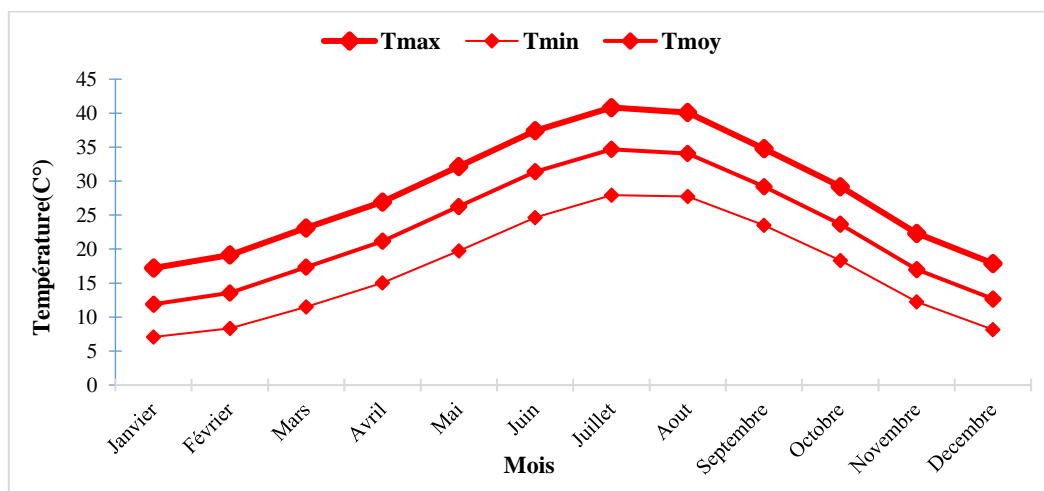
### 9. Climat

La détermination des caractéristiques climatiques de notre région se base sur les données climatiques concernant une période allant de 1987 à 2019 (33 ans), issues de la station météorologie de Biskra (Longitude 5.738 ; Latitude 34.793 ; Altitude 88m) ; cette station aéroportuaire appartient au réseau de l'Office Algérien de Météorologie.

#### 9.1. La température

La température est un facteur écologique capital agissant sur la répartition géographique des espèces. De même (Ramade 1984) confirme à son tour que la température apparaît comme un facteur limitant sur le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition des espèces et de tous les êtres vivants dans la biosphère.

Le régime thermique de la région de Biskra est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures maximales sont supérieures à 17 °C tout au long de l'année (Fig. 18), sont régulièrement en dessus de 41 °C en juillet et août et une minimale moyenne peuvent atteindre 28°C en été. Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 12 °C et une minimale moyenne de 7 °C et peuvent atteindre 28°C en été.



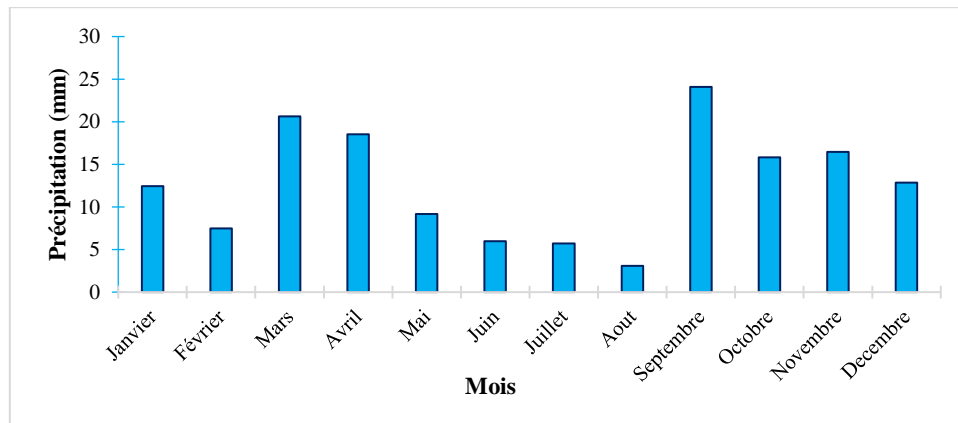
**Figure 18 :** Températures moyennes mensuelles (maximales, moyenne et minimales) enregistrés pour la période 1987-2019

#### 9.2. Les précipitations

Les précipitations est la source principale d'eau indispensable pour une production de la biomasse, caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon le jour, les mois et aussi selon les années (Guyot 1997).

L'analyse du cumule annuelle des précipitations calculées à la station pluviométrique de Biskra pour la période 1987 à 2019, montre que le mois de septembre est le mois le plus pluvieux

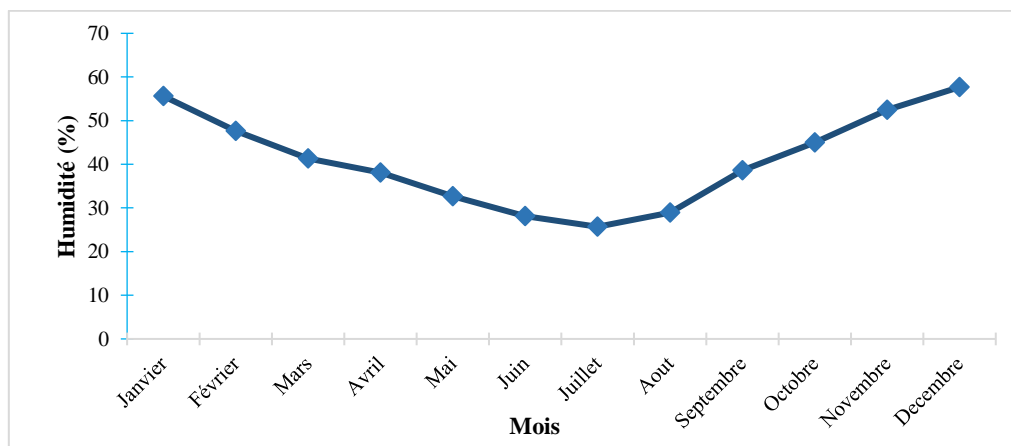
(24.09 mm) (Fig. 19). La faible pluviosité est enregistrée durant le mois d'août avec une pluviométrie égale à 3.06 mm. Durant cette période les précipitations sont faibles et irrégulières, allant de 49 mm en 2017 à 343 mm en 1994 ; la moyenne pour toute la période est de 152.26 mm.



**Figure 19** : Précipitations moyennes mensuelles enregistrés pour la période 1987-2019

### 9.3. Humidité relative

D'après la figure 20, on montre qu'il y a une variation du taux d'humidité en fonction des mois. L'humidité relative maximale sont enregistrés au mois de décembre 57.68 %, alors que juillet est le mois le plus sec (25.70 %).

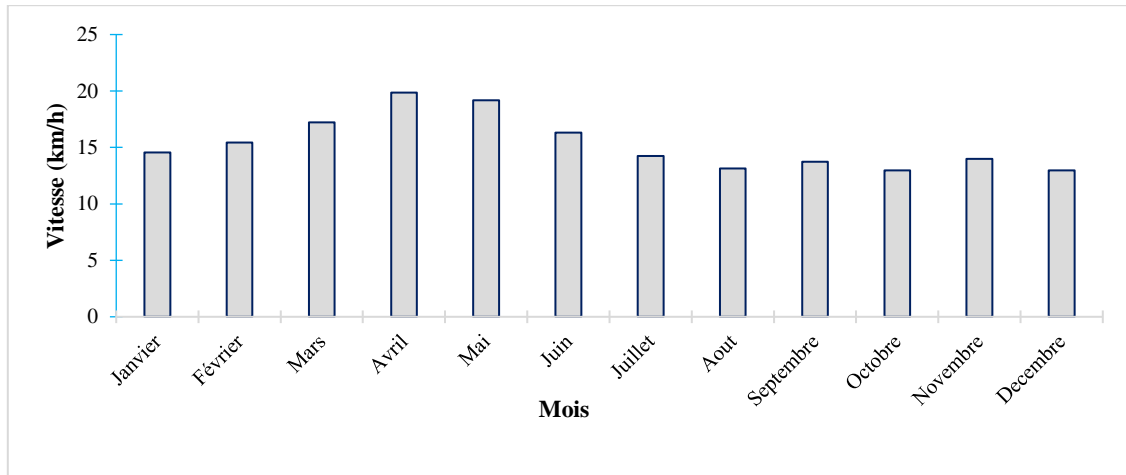


**Figure 20** : Variations mensuelles d'humidité de la période (1987-2019)

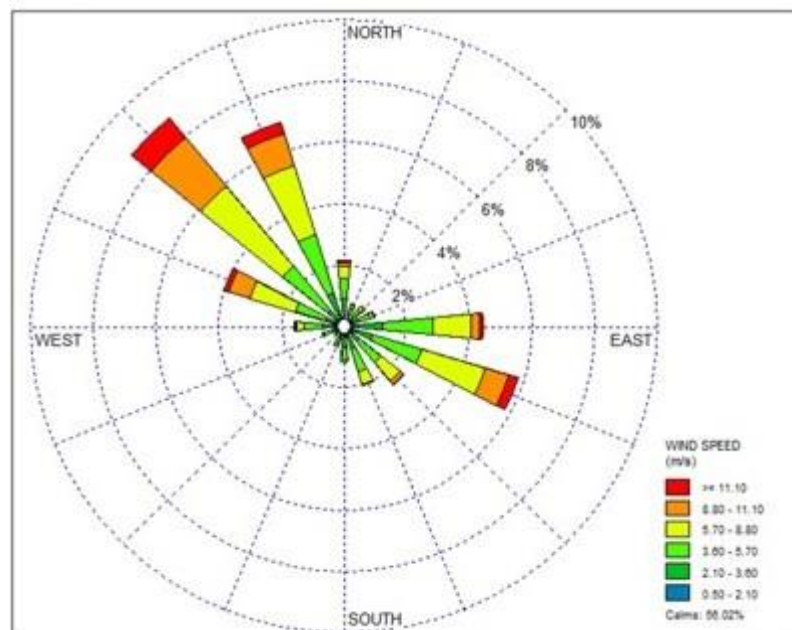
### 9.4. Le vent

La vitesse maximale des vents est enregistrée au mois d'Avril (19.86 km/h) (Fig. 21), tandis que, la vitesse la plus faible est enregistrée en décembre (12.96 km/h). Les vents les plus dominants dans la région de Biskra sont ceux venant du nord-ouest en hiver (Larafa 2004).

D'après la rose des vents de Biskra (Fig. 22) durant 2005 à 2014, la vitesse moyenne du vent est d'environ 3.8 m/s avec deux directions dominantes : Nord-ouest (8.8 %) et Nord-nord-ouest (6.9 % du temps). Le vent du Sirocco ou "Chihili" apparait pendant le printemps et l'été, il se manifeste par des vitesses élevées.



**Figure 21 :** Variation de la vitesse moyenne du vent entre 1987-2019



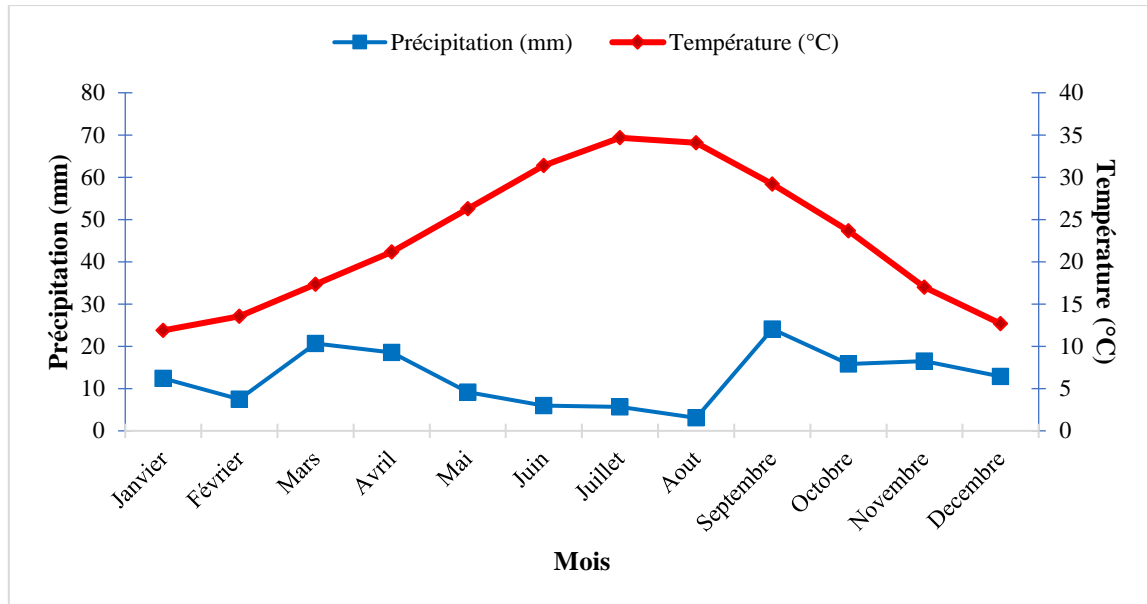
**Figure 22 :** Rose des vents dans la station de l'aéroport de Biskra montrant la variabilité directionnelle du vent au cours de la période 2005-2014

### 9.5. Bioclimat

#### 9.5.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1954)

Pour déterminer les périodes sèches et humides au cours de l'année, de sorte que lorsque la courbe de précipitation passe au-dessus de la courbe de température, la période est humide. Au

contraire, lorsque la courbe de température passe au-dessous de la courbe de précipitation ( $P \leq 2T$ ), c'est une période sèche. Les données de la période allant de 1987 à 2019, ont mis en évidence que la période sèche s'étale sur la totalité de l'année, avec une forte chaleur en juin, juillet et août (Fig. 23).



**Figure 23 :** Diagramme Ombrothermique de Gausson de la région de Biskra (1987-2019)

### 9.5.2. Le climagramme pluviothermique d'Emberger

Quotient pluviométrique d'Emberger (Q2) spécifique au climat méditerranéen permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Pour déterminer ce quotient, nous avons utilisé la formule de Stewart (1968), adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = \frac{3.43 \times P}{(M - m)} \quad (1)$$

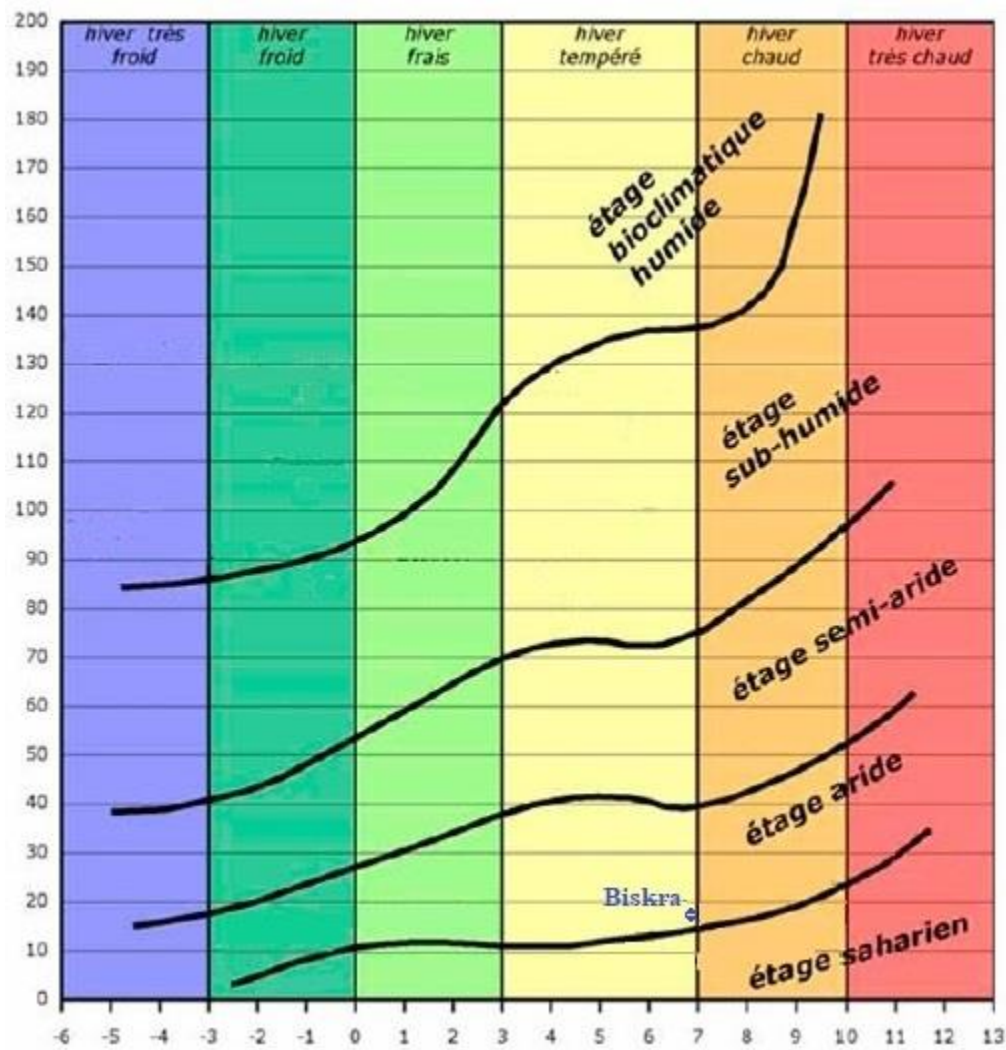
Où :

P : Pluviométrie annuelle (mm)

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C)

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid (°C)

D'après les données climatiques de la région de Biskra pour la période de 1987 à 2019 avec  $P = 152.26$  mm,  $M = 40.83$  °C,  $m = 7.07$  °C, la valeur de  $Q_2 = 15,46$  estimée a permis de situer la région de Biskra dans l'étage bioclimatique aride à hiver tempéré (Fig. 24).



**Figure 24 :** Situation de la région de Biskra dans le climagramme d'Emberger selon les données de la période 1987-2019

### 9.5.3. Indice d'aridité de E. De. Martonne

Le degré d'aridité d'une région peut être défini par l'indice d'aridité suggéré par E. De Martonne (1926) faisant intervenir la pluie et la température, par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (2)$$

Avec :

P : Précipitations annuelles moyennes (mm)

T : Températures annuelles moyennes (C°)

Selon E. De Martonne (1926), un climat peut être classé en fonction de la valeur de son indice d'aridité I comme suit (tableau 11).

**Tableau 11** : Types de climat en fonction de l'indice d'aridité de E. De. Martonne (1926)

Valeur de I	Type de climat
$20 < I < 30$	Climat tempéré
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$7.5 < I < 10$	Climat steppique
$5 < I < 7.5$	Climat désertique
$< 5$	Climat hyper aride

L'application pour la région de Biskra durant la période 1987–2019 donne le résultat suivant : **I= 4.65**, ce qui correspond à un climat hyper aride.

La région de Biskra est caractérisée par des conditions rigoureuses tel que ; précipitations très faibles, irrégulières et une forte évaporation. Ces conditions très sévères, ont permis d'une part les une faible évolution des sols, leur structure est généralement faible, les éléments minéraux sont très dégradés, les éléments solubles sont à la surface concentrés et accumulés à un niveau ou à un autre du profil, ce qui aboutit à la formation d'une croûte de gypse calcaire appelée deb deb (Aidaoui 1994). Et d'autre part des formations végétales basses et ouvertes (Wael et al. 2009).

### 10. Milieu naturel et activité agropastorale

L'analyse de l'occupation du sol révèle qu'elle est fortement corrélée aux conditions du milieu naturel. Cette occupation s'individualise en deux types d'espaces ; la région Nord et la région Sud, où Oued Djedi constitue la limite entre les deux espaces (Fig. 25).

#### 10.1. Espace agricole

Au nord, l'occupation du sol est essentiellement composée par deux systèmes de production :

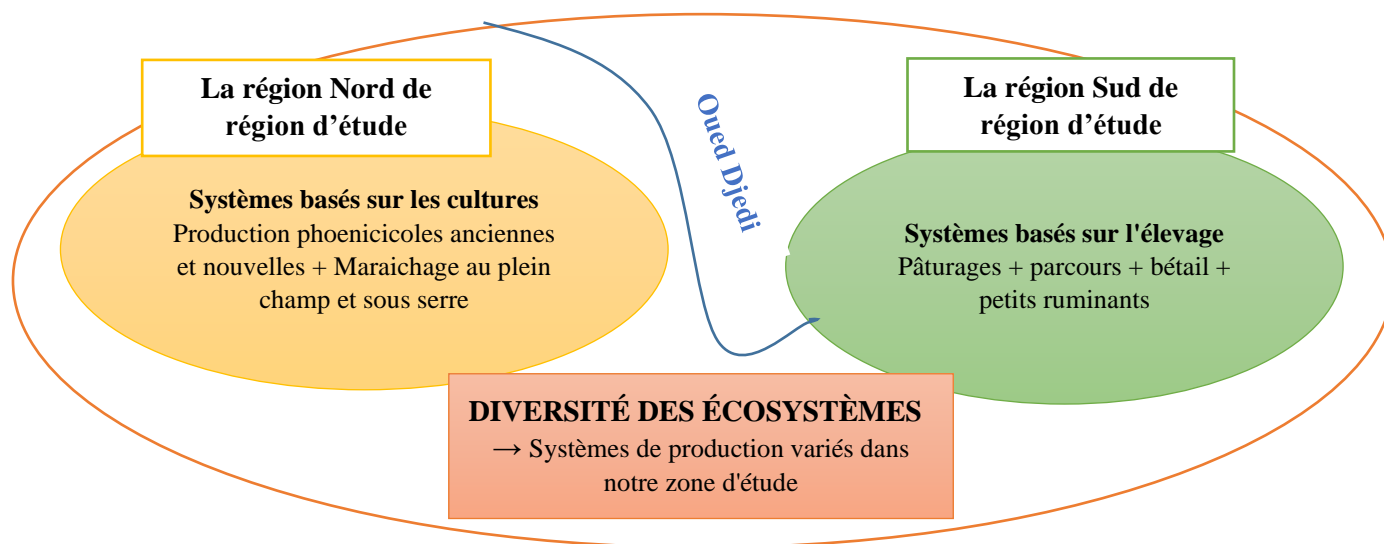
- 1) Exploitations phoenicoles anciennes et nouvelles : les exploitations phoenicoles anciennes caractérisées par une forte densité de plantation, une disposition non alignée des palmiers, un vieillissement des palmiers, une diversité variétale plus importante, les exploitations phoenicoles nouvelles : Les palmiers sont alignés permettant un travail mécanique, l'espacement entre les palmiers est régulier. La densité est moins importante et la variété dominante est Deglet Nour. Au nord d'Oued Djedi, en l'année 1996, le nombre de palmier était de 670,211 palmiers avec une production de 210 366 Qx, en 2019 ce potentiel a connu une augmentation de 792,865 palmiers dont la production a atteint 1 127 094 Qx (DPAT 2021).

- 2) Système de production maraîchère : le maraîchage sous serre (la tomate, poivron, piment, melon, aubergine, courgette et concombre) et le maraîchage de plein champ (cultures le chou-fleur d'hiver, carotte, fèves vertes et pastèques). A El Hadjab, Biskra, Chetma, Mechouneche,

M'ziraa, Sidi Okba, Ain Naga, la superficie agricole en 1996 a été estimée à 9,226 ha, avec une production d'environ 582,802 Qx et de 16,544 ha et une production atteinte 4,659,435 Qx en 2019 (DPAT 2021).

### 10.2. Espace pastorale

Au sud, le paysage est caractérisé par de vastes cônes alluviaux et une plaine modelée par les cours de l'Oued Djedi, dont la zone de source se trouve dans l'Atlas et qui finissent par se fondre dans la grande dépression du grand bassin versant du Chott Melghir, atteignant en moyenne -70 m au-dessous du niveau de la mer. A Oumache, El Haouch, Oum Tiour, Still et Hamraia, le nombre de cheptel est passé de 26,484 têtes en 1996 à 123,274 têtes en 2019 (DPAT 2021). Compte tenu des composantes disponibles, l'activité pastorale est considérée comme une activité principale dans la partie sud de notre zone d'étude, et qui se concentre sur les parcours pour l'alimentation, où les pasteurs nourrissent leur bétail librement sur les parcours.



**Figure 25 :** Schéma explicatif de la division dans notre zone d'étude

## 11. Conclusion

La région de Biskra est caractérisée par un climat aride à hiver tempéré, où la saison sèche s'étale sur toute l'année. La température moyenne est de l'ordre de 23°C. Les précipitations sont faibles et irrégulières (152 mm). L'humidité est relativement faible avec une moyenne annuelle de 41 %. La vitesse moyenne du vent est de 15 km/h avec deux directions dominantes : Nord-ouest et Nord-Nord-Ouest. L'Oued Djedi est le principal cours d'eau intermittent de la région de Sud-Biskra et divise la zone d'étude en deux régions distinctes et contrastées (agricole et pastorale).



***PARTIE II :***

***APPROCHE***

***PHYTOECOLOGIQUE***

***ET GEOMATIQUE***

# Chapitre Premier

*Diversité botanique des steppes  
arides du Sud-Est d'Algérie  
(Biskra)*

## 1. Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, les parcours sont des zones importantes pour la conservation de la biodiversité en termes d'espèces et d'habitats (Kideghesho et al. 2013), et sont des sources de subsistance pour les communautés ; elles fournissent de la nourriture pour le cheptel et la faune, des plantes médicinales et d'autres services écosystémiques divers (Abule et al. 2007 ; Selemani 2020). Les parcours Algérien couvrent plus de 8,4 % de la superficie du pays (Neffar et al. 2018). Cette zone de transition est située entre les isohyètes 400 mm au Nord et 100 mm au Sud (Aidoud et al. 2006).

Dans les parcours steppiques arides, les conditions climatiques sévères ont favorisé l'existence d'une communauté végétale spécialisée (Quezel et Santa 1963 ; Slimani et al. 2010 ; Fatmi et al. 2020 ; Merdas et al. 2021).

La végétation de la steppe Algérienne, occupe une superficie de 15 M ha. Cette végétation est dominée par *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba*, *Lygeum spartum* et *Atriplex halimus* (Le Houérou 2001). Les communautés végétales comprenant *Aristida pungens*, *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium*, *Atractylis serratuloides*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, *Retama retam*, *Salsola vermiculata* et *Thymelaea microphylla* sont des espèces qui tolèrent des conditions environnementales difficiles (Nedjraoui et Bedrani 2008 ; Boughani et al. 2009 ; Boughani 2014 ; Lahmar-Zemiti et Aidoud 2016 ; Belala et al. 2018 ; Senoussi et al. 2021). Selon Hubert (1994), la diversité spécifique de la végétation steppique est une opportunité pour le pâturage du cheptel.

Au cours des trois dernières décennies, les parcours steppiques ont subi une dégradation rapide (Slimani et al. 2010) par des facteurs climatiques (Bensmira et al. 2015) et des activités humaines telles que le surpâturage. L'impact du surpâturage se traduit par la raréfaction voire la disparition de certaines espèces végétales utiles à haute valeur fourragère, l'abondance voire la dominance de certaines espèces moins palatables et le développement d'espèces non palatables (Ghiloufi et al. 2015). Cependant, la superficie des parcours de pâturage a diminué au détriment des cultures marginales (Demnati et al. 2017).

Les parcours steppiques de la région de Biskra possèdent des ressources naturelles et des bénéfiques très divers. En effet, malgré son importance, peu d'études telles que Haoumel (2018) et Chaouch Khaoune (2018), ont été menées dans cette région. Par ailleurs, l'agropastoralisme dans la région d'El-Haouch reste la principale activité au niveau local et régional, il a été

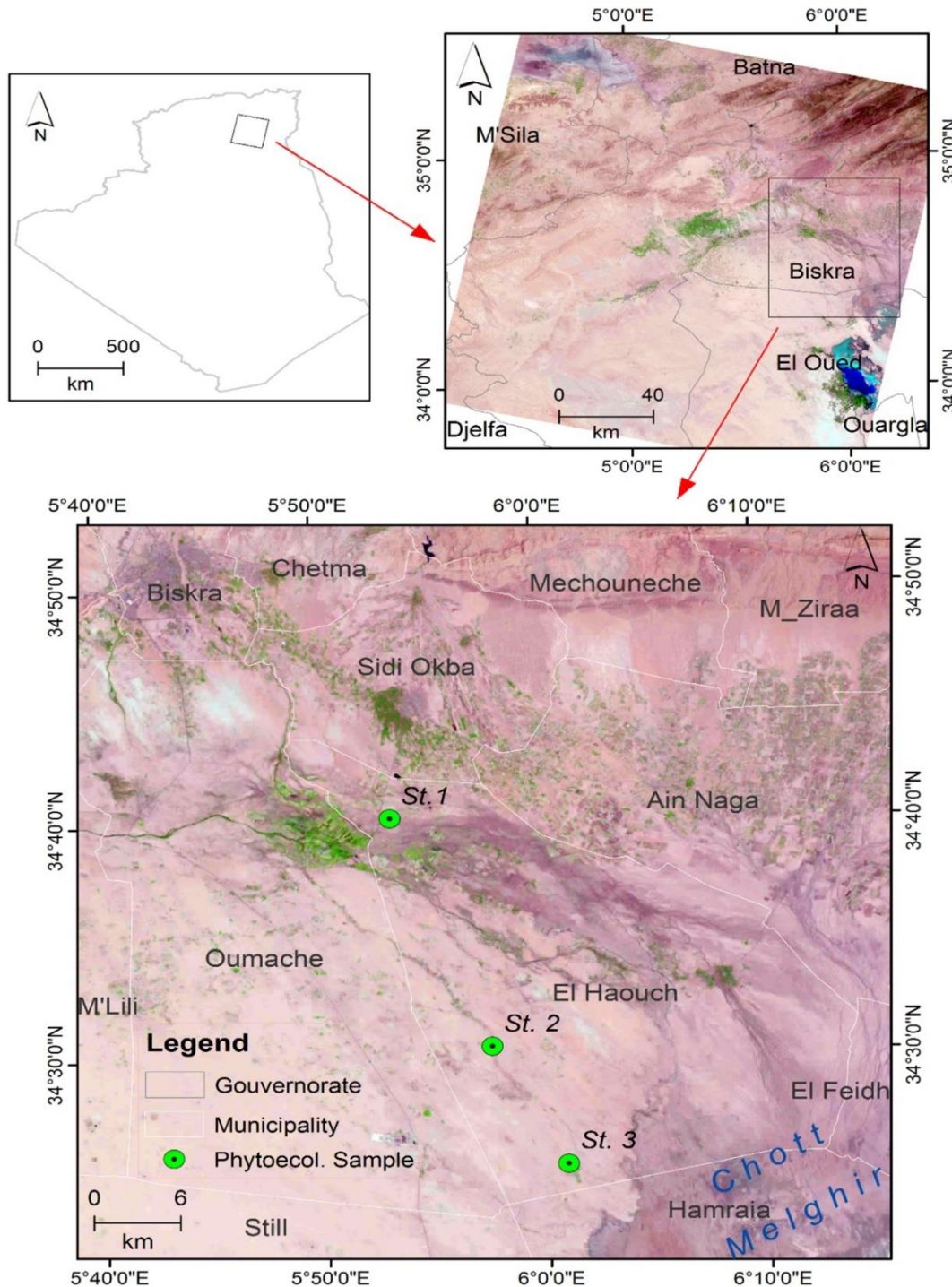
constaté que le nombre d'ovins est passé de 20,475 têtes en 1996 à 52,143 en 2019 (DPAT 2021).

Cette étude a pour objectif de diagnostiquer la diversité botanique dans la région d'El-Haouch (Biskra), avec l'établissement de groupes phytoécologiques et l'analyse de la composition des espèces végétales, outre l'évaluation de la diversité botanique par l'estimation de la richesse (plantes annuelles et pérennes), des formes de vie, de la diversité (alpha et bêta-diversité) et de l'indice de perturbation.

## **2. Zone d'étude**

La région d'El-Haouch (34°33'43" N, 06°03'05" E) est située dans le Sud de Biskra (Sud-Est de Algérien) (Fig. 26). Le climat est aride. Durant la période 1987-2019, les précipitations ont été marquées par de faibles quantités (152 mm) et une grande irrégularité (49 mm en 2017 à 343 mm en 1994), les températures maximales sont supérieures à 26°C tout au long de l'année, atteignant 40°C en juillet et août, les températures minimales peuvent atteindre 7°C en hiver et 28°C en été, l'humidité relative annuelle se situe autour de 41%, avec une longue période de sécheresse (Fig. 23).

Les sites d'échantillonnage phytoécologiques ont été sélectionnés en fonction de l'altitude, de la géomorphologie du paysage et de l'homogénéité des conditions écologiques (Fig. 26).



**Figure 26 :** Carte de géolocalisation montrant les sites d'échantillonnage phytoécologique dans le Sud-Est Algérien (Biskra)

### 3. Matériel et méthodes

L'étude menée consiste à réaliser un suivi à court terme dans les parcours steppiques arides du Sud-Est Algérien, trois sites (Fig. 26) ont été sélectionnés ; site 1 (altitude = 17 m), site 2 (altitude = 11 m) et site 3 (altitude = -18 m). L'échantillonnage phytoécologique a été réalisé,

un échantillon par mois durant 2017 et 2018, suivant un échantillonnage subjectif le plus simple, 216 échantillons ont été collectés sur des zones floristiquement homogènes et représentatives, avec une surface minimale de 100 m<sup>2</sup> (10m x 10m) selon (Djebaili 1984 ; Chalane 2012 ; Yahiaoui 2011 ; Arabi et al. 2015 ; Amrani 2021).

Pour chaque échantillon et espèce, son indice d'abondance-dominance a été noté de + à 5 selon l'échelle de Braun-Blanquet et al (1952). L'identification des espèces existantes a été déterminée en se référant à plusieurs auteurs Quézel et Santa (1962-1963) et Ozenda (1977), ainsi qu'à des ressources en ligne ([www.telabotanica.org](http://www.telabotanica.org)).

### **3.1. Individualisation des groupes phytoécologiques**

Sur la base de la classification hiérarchique agglomérative (CAH), les données d'abondance-dominance pour chaque espèce végétale étudiée dans les 216 échantillons ont été utilisées pour établir des groupes phytoécologiques homogènes (Bouallala et al. 2020). L'AHC prend en compte les similarités entre les relevés au sein d'un même groupe pour discriminer les sous-groupes de relevés très similaires (Mecheroum et al. 2021).

### **3.2. Structure taxonomique**

La structure taxonomique de chaque groupe phytoécologique a été calculée en utilisant les rapports entre la richesse des familles et la richesse des espèces (F/S) pour chaque échantillon. La structure taxonomique des différents groupes phytoécologiques dépend des conditions environnementales. Cependant, la relation entre les relations taxonomiques et les variables écologiques de cet environnement a été examinée à l'aide de tests de corrélation de Pearson.

### **3.3. Cycle de vie**

La détermination des types morphologiques, espèces annuelles et pérennes, a été basée sur les travaux de Quézel et Santa (1962 ; 1963) et d'Ozenda (2004).

### **3.4. Forme de vie (Types biologiques)**

Selon la classification de Raunkiaer (révisée par Ellenberg et Mueller-Dombois 1967), les plantes peuvent être classées en fonction de leur forme biologique "forme de vie" déterminée par l'état phénologique de l'espèce qui reflète l'expression de son adaptation à son environnement, qui est liée à la protection du méristème de la surface du sol pendant la saison défavorable. Les principales formes de vie suivantes ont été considérées : Chamaephytes, Hémicryptophytes, Phanerophytes et Thérophytes.

### **3.5. Diversité alpha**

Richesse en espèces (S) : nombre total d'espèces présentes dans un site échantillon donné (Magurran 2004).

Indice de diversité de Shannon ( $H'$ )  $S$  : la richesse spécifique dans le site échantillonné,  $n_i$  : nombre d'individus de l'espèce  $i$  dans le site échantillonné,  $N$  = nombre total d'individus de l'espèce  $S$ .

$$H' = -\sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right) \quad (3)$$

L'indice de régularité "E" : a été calculé comme le rapport entre l'indice de diversité de Shannon, où  $S$  est la richesse spécifique du site échantillonné et la diversité maximale théorique.

$$E = H' / \log_2 S \quad (4)$$

$$H'_{\max} = \log_2 S \quad (5)$$

### 3.6. Diversité bêta

La similarité spatiale entre les différents groupes phytoécologiques a été évaluée par le diagramme de Ven et qualitativement par les indices de Jaccard ( $J$ ) et de Sørensen ( $S$ ).

$$J = a / (a + b + c) \quad (6)$$

Où :  $a$  est le nombre total d'espèces présentes sur les deux sites,  $b$  est le nombre d'espèces présentes uniquement sur le premier site, et  $c$  est le nombre d'espèces présentes uniquement sur le second site (Benkhetto et al. 2022).

$$S = 2c / (2c + a + b) \quad (7)$$

Où :  $a$  est le nombre d'espèces uniques dans le site 2,  $c$  est le nombre d'espèces uniques dans le site 1 et  $b$  est le nombre d'espèces communes aux sites 1 et 2 (Sorensen 1948 ; Wolda 1981 ; Rahman et al. 2019).

### 3.7. Indice de perturbation

L'indice de perturbation a été calculé pour mesurer le taux de thérophytisation dans les différents groupes phytoécologiques (Loisel et Gamila 1993).

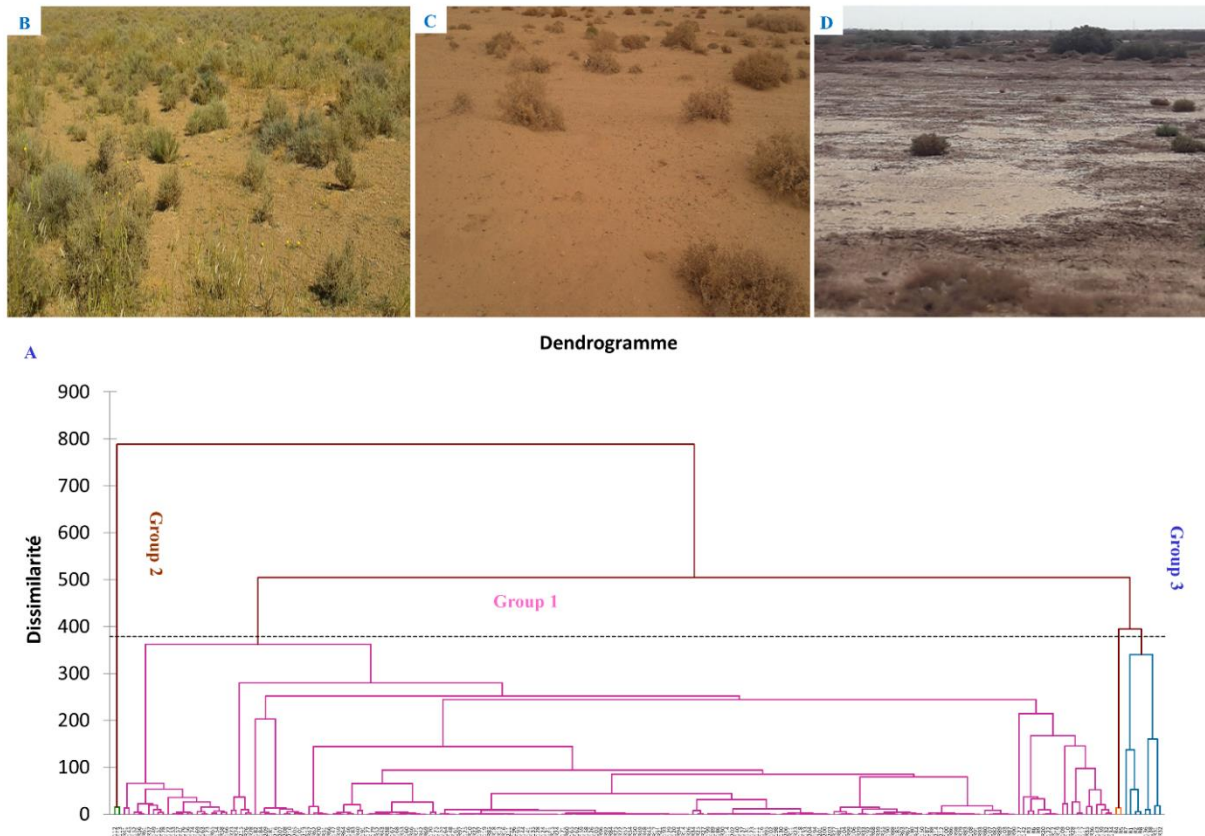
$$IP(\%) = \frac{Th + Ch}{S} \quad (8)$$

Où :  $Th$  est le nombre de thérophytes,  $Ch$  est le nombre de chamaephytes et  $S$  est la richesse en espèces.

## 4. Résultats

### 4.1. Les groupes phytoécologiques

Le regroupement hiérarchique agglomératif (Fig. 27) a permis d'individualiser trois groupes différentes : le groupe (G1) ,représente un parcours établi sur des lits d'oueds, Il comprenait (15 ;17 ) espèces appartenant à 10 familles où *Atriplex halimus* et *Tamarix gallica* dominant ; groupe (G2), est un sol sableux , le nombre d'espèces enregistrées est de (6 ;8) espèces en année 2017,2018 respectivement, appartenant à (4 ;6) familles avec *Retama retam* et *Thymelaea microphylla* comme espèces caractéristiques de la végétation, ce sont des psammophytes sur des formations éoliennes ; groupe (G3), proche de chott Melghir caractérisé par des accumulations salées dominés par *Atriplex halimus* et *Suaeda vermiculata* où (7 ;9) espèces et 4 familles ont été rapportées.



**Figure 27 :** Groupement hiérarchique agglomératif montrant les groupements phytoécologiques dans la zone d'étude (A). B : steppe à *Atriplex halimus* et *Tamarix gallica* (Groupe 1), C : steppe à *Retama retam* et *Thymelaea microphylla* (Groupe 2), D : steppe à *Atriplex halimus* et *Suaeda vermiculata* (Groupe 3)



#### 4.2. Composition floristique

Pendant de la période d'étude, un total de 985 individus appartenant à 27 espèces, 27 genres et 14 familles ont été enregistrés dans les parcours steppiques aride de la région d'El-Haouch (tableau 12). Les communautés végétales sont particulièrement dominées par les Chénopodiacées (29.03 %) dont six espèces végétales *Anabasis articulata*, *Atriplex halimus*, *Salsola tetrandra*, *Spinacia oleracea*, *Suaeda vermiculata*, *Traganum nudatum*, suivies des Astéracées (14.52 %) représentée par cinq espèces *Artemisia campestris*, *Atractylis aristata*, *Centaurea pungens*, *Echinops spinosus*, *Rhantherium suaveolens.*, des Fabacées (14.52%) et Poaceae (9.68 %) par trois espèces. Les Amaranthaceae, Boraginaceae, Euphorbiaceae, Globulariaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Rhamnaceae, Tamaricaceae, Thymeliaceae, Zygophyllaceae représentées par une espèce (1.61%) (tableau 13).

D'ailleurs, sur la base des fréquences relatives des familles botaniques, dans les trois groupements phytoécologiques, il y avait trois familles dominantes dans ces parcours arides, où les Chénopodiacées ont la fréquence la plus élevée (57.14% ;2017 et 55.56% ;2018) dans les parcours d'accumulation salée (G3). Les communautés végétales des parcours établis sur le lit d'oueds (G1) sont particulièrement dominées par les Chénopodiacées et Asteraceae 20% (2017) et par les Asteraceae 23.53% en année 2018. Les parcours des formations éoliennes (G2) dominées par les Fabacées 33.33% (2017) et par les Chénopodiacées 25% (2018).

En termes d'abondances relatives, les espèces végétales présentant les abondances relative (AR) la plus élevée étaient : 1) Au parcours de lit des oueds, *Atriplex halimus* (37.79% ;2017 et 46.49% ;2018) et *Tamarix gallica* (30.14% ;2017 et 35.52% ; 2018). 2) Parcours des formations éoliennes, *Thymelaea microphylla* (39.60%, 33.68%), *Retama retam* (29.70%, 31.01%) *Aristida pungens* (4.95%,27.27%) en 2017 ;2018 respectivement. 3) Parcours des accumulations salées, *Suaeda vermiculata* (43.75% ;2017) et *Atriplex halimus* (26.04% ; 2017 et 40.85% ;2018).

**Tableau 12 :** Diversité taxonomique (familles, genres, cycle de vie et espèces végétales) identifiées dans la zone d'étude (P : Vivace, A : Annuelle, + : Présence, - : Absence)

Familles	Genre	Espèces	Cycle de vie	2017			2018		
				Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Amaranthaceae	<b>Arthrocnemum</b>	<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Moric.) K. Koch	P	-	-	+	-	-	+
	<b>Artemisia</b>	<i>Artemisia campestris</i> L.	P	+	-	-	+	-	-
Asteraceae	<b>Atractylis</b>	<i>Atractylis aristata</i> Batt.	P	+	-	-	+	-	-
	<b>Centaurea</b>	<i>Centaurea pungens</i> Pomel	A	-	-	-	+	-	-
	<b>Echinops</b>	<i>Echinops spinosus</i> L.	A	-	+	-	-	+	-
	<b>Rhanterium</b>	<i>Rhantherium suaveolens</i> Desf.	P	+	-	-	+	-	-
Boraginaceae	<b>Echium</b>	<i>Echium vulgare</i> L.	A	-	-	-	+	-	-
	<b>Anabasis</b>	<i>Anabasis articulata</i> Forssk.	P	+	+	+	+	++	+
	<b>Atriplex</b>	<i>Atriplex halimus</i> L.	P	+++	-	+	+++	+	++
Chenopodiaceae	<b>Salsola</b>	<i>Salsola tetrandra</i> Forssk.	P	-	-	+	-	-	+
	<b>Spinacia</b>	<i>Spinacia oleracea</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
	<b>Suaeda</b>	<i>Suaeda vermiculata</i> Forssk	P	-	-	++	-	-	+
	<b>Traganum</b>	<i>Traganum nudatum</i> Delile	P	-	-	-	-	-	+
Euphorbiaceae	<b>Euphorbia</b>	<i>Euphorbia cornuta</i> Forssk	A	+	-	-	-	-	-
	<b>Astragalus</b>	<i>Astragalus armatus</i> Willd	P	+	+	-	+	+	+
Fabaceae	<b>Cassia</b>	<i>Cassia italica</i> Mill	P	-	-	-	+	-	-
	<b>Retama</b>	<i>Retama retam</i> (Forssk.) Webb	P	-	++	-	-	+	+
Globulariaceae	<b>Globularia</b>	<i>Globularia alypum</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
Lamiaceae	<b>Ballota</b>	<i>Ballota hirsuta</i> (Willd.)	A	+	-	-	-	-	-
Malvaceae	<b>Malva</b>	<i>Malva aegyptiaca</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
	<b>Aristida</b>	<i>Aristida pungens</i> Desf.	P	-	+	-	-	+	-
Poaceae	<b>Cynodon</b>	<i>Cynodon dactylon</i> L.Pers.	A	+	-	-	+	-	-
	<b>Lolium</b>	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	A	+	-	-	+	-	-
Rhamnaceae	<b>Zizyphus</b>	<i>Zizyphus lotus</i> (L). Lam.	P	-	-	-	+	-	-
Tamaricaceae	<b>Tamarix</b>	<i>Tamarix gallica</i> L.	P	++	-	+	+++	+	+
Thymeliaceae	<b>Thymelaea</b>	<i>Thymelaea microphylla</i> Coss. & Durieu ex Meisn.	P	-	++	-	-	++	-
Zygophyllaceae	<b>Peganum</b>	<i>Peganum harmala</i> L.	P	+	-	+	+	-	-

**Tableau 13 :** Répartition des Fréquences des familles végétales (%) en fonction des groupements phytoécologiques dans la zone d'étude

Familles	Lit d'Oued			Formation éolienne -Dunes-			Accumulation salées - Dépression-		
	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale
Amaranthaceae	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	14.29	11.11	12.70 ± 2.24
Asteraceae	20.00	23.53	21.76 ± 2.50	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Boraginaceae	0.00	5.88	2.94 ± 4.16	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Chénopodiaceae	20.00	17.65	18.82 ± 1.66	16.67	25.00	20.83 ± 5.89	57.14	55.56	56.35 ± 1.12
Euphorbiaceae	6.67	0.00	3.33 ± 4.71	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Fabaceae	6.67	11.76	9.22 ± 3.60	33.33	25.00	29.17 ± 5.89	0.00	22.22	11.11 ± 15.71

Globulariaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Lamiaceae	6.67	0.00	3.33 ± 4.71	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Malvaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Poaceae	13.33	11.76	12.55 ± 1.11	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Rhamnaceae	0.00	5.88	2.94 ± 4.16	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Tamaricaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	12.50	6.25 ± 8.84	14.29	11.11	12.70 ± 2.24
Thymeliaceae	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Zygophyllaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	14.29	0.00	7.14 ± 10.10

### 4.3. Structure taxonomique et effet des processus écologiques

Le rapport (F/S enregistré est de  $0.76 \pm 0.35$  (2017) et  $0.91 \pm 0.22$  (2018). Le test de corrélation de Pearson a indiqué que les variations de la ratio F/S (Famille/Espèce) sont liées aux conditions environmental locales. Le rapport Famille/Espèce est positivement corrélé aux différents groupes phytoécologiques (tableau 14).

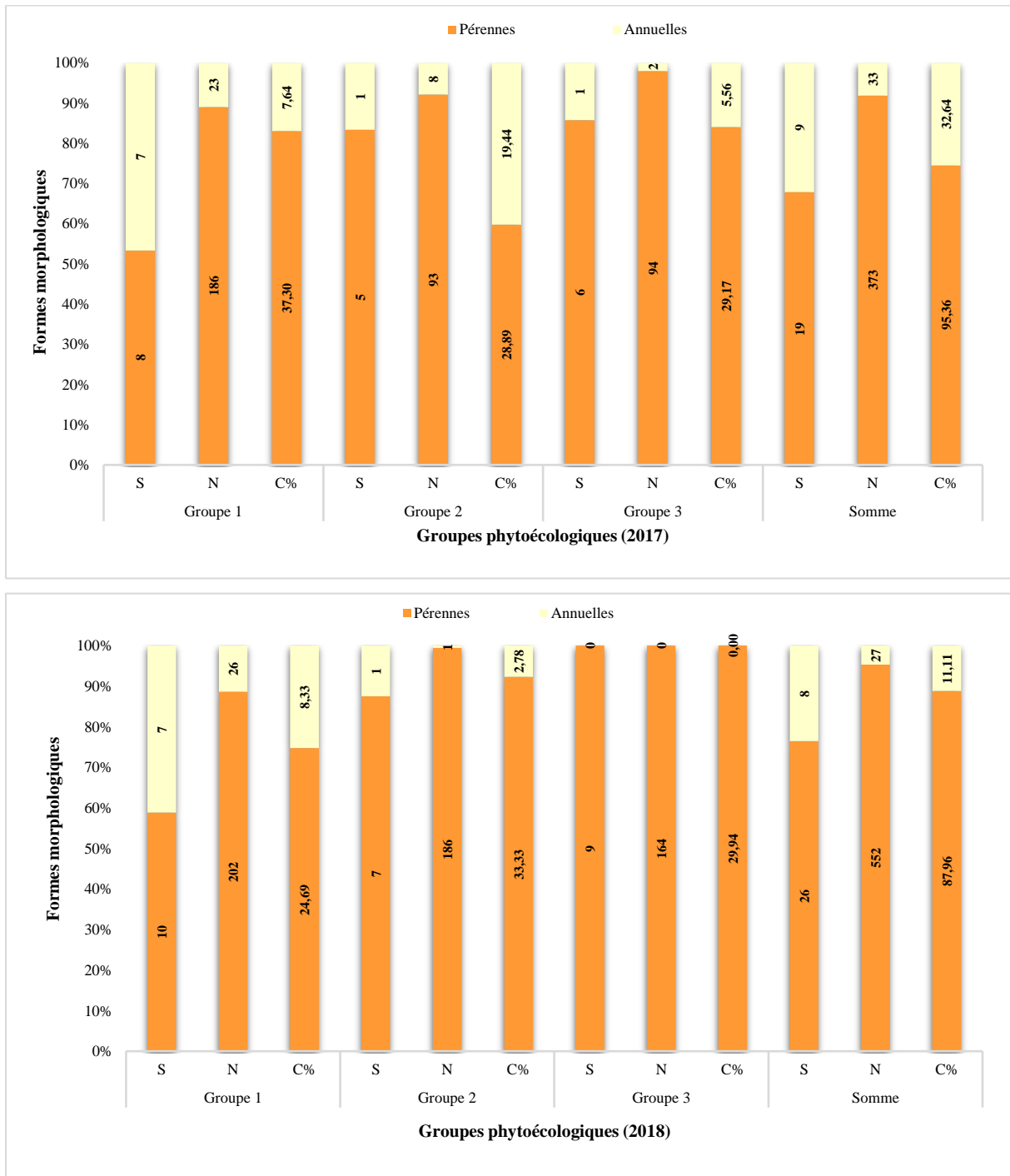
**Tableau 14 :** Statistiques descriptives de la richesse familiale à la richesse spécifique (F/S) et tests de corrélation de Pearson ( $r$  : coefficient de corrélation,  $P$  : P-value) entre le ratio taxonomique (F/S) et les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude

Variables	Famille/Espèce (F/S) ratio (2017)				Famille/Espèce (F/S) ratio (2018)				
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Totale	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Totale	
Moyenne	0.856	0.784	0.635	0.758	0.952	0.896	0.873	0.907	
Écart-type	0.287	0.500	0.555	0.447	0.184	0.311	0.190	0.228	
3ème Quartile	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Minimum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.167	
Maximum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
<b>Test de corrélation de Pearson</b>									
Groupe 1	$r$	<b>1</b>	0.012	0.001	0.338	<b>1</b>	0.240	0.009	0.416
	$p$	<b>0</b>	0.522	0.830	0.451	<b>0</b>	<b>0.002</b>	0.589	0.197
Groupe 2	$r$	0.012	<b>1</b>	0.047	0.353	0.240	<b>1</b>	0.031	0.424
	$p$	0.522	<b>0</b>	0.203	0.242	<b>0.002</b>	<b>0</b>	0.308	0.103
Groupe 3	$r$	0.001	0.047	<b>1</b>	0.350	0.009	0.031	<b>1</b>	0.346
	$p$	0.830	0.203	<b>0</b>	0.344	0.589	0.308	<b>0</b>	0.299

### 4.4. Cycle de vie

D'après l'abondance, les espèces pérennes qui dominent dans les différents groupes phytoécologiques ; sont respectivement le groupe 1 (88.99% ; 88.59%), le groupe 2 (92.07 ; 99.46%) et le groupe 3(97.91 ;100%) en 2017 et 2018. De même pour les formes du cycle de vie avec la fréquence d'occurrence (Fig. 28). Les pérennes demeurent les plus représentatives

respectivement dans le groupe 1 (37.30% ; 24.69), dans le groupe 2 (28.89% ; 33.33%) et le groupe 3 (29.17% ; 29.94) en 2017 et 2018.



**Figure 28 :** Richesse en espèces (S), nombre d'individus (N) et fréquence d'occurrence (C%) des différents types de cycle de vie pour les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude

#### 4.5. Forme de vie (Type biologique)

D'après le tableau 15, à l'exception des parcours établis sur les lits d'Oueds, les espèces chaméphytes ont les valeurs les plus élevées dans les spectres biologiques des formes de vie

dans les parcours des formations éolienne (G2) et les parcours d'accumulation salées (G3) avec une moyenne de  $50 \pm 0$  ;  $74.60 \pm 4.49$ ). Les thérophytes ( $34.71 \pm 7.49$ ) sont dominants dans les parcours de lits d'Oueds (G1), les géophytes sont présentes que dans ces parcours avec 13.33 % et 17.65 % en année 2017,2018, respectivement. Cependant les phanérophytes sont représentés par (*Tamarix gallica*, *Zizyphus lotus* et *Retama retam*), survenus aux différents groupes phytoécologiques. Les hémicryptophytes ( $29.17 \pm 5.89$ ) sont bien représenté aux parcours de formation éolienne (G2) tandis qu'aux parcours de lits d'Oueds (G1) sont peu existant présent ( $6.27 \pm 0.55$ ).

**Tableau 15 :** Valeur de la biodiversité selon les formes de vie (%) des plantes dans la zone d'étude (Biskra)

	Lit d'Oued			Formation éolienne -Dunes-			Accumulation salées - Dépression-		
	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale
Chaméphytes	33.33	35.29	$34.31 \pm 1.39$	50	50	$50 \pm 0$	71.43	77.78	$74.60 \pm 4.49$
Phanérophytes	6.67	11.76	$9.22 \pm 3.60$	16.67	25	$20.83 \pm 5.89$	14.29	22.22	$18.25 \pm 5.61$
Thérophytes	40	29.41	$34.71 \pm 7.49$	0	0	$0.00 \pm 0.00$	14.29	0	$7.14 \pm 10.10$
Géophytes	13.33	17.65	$15.49 \pm 3.05$	0	0	$0.00 \pm 0.00$	0	0	$0.00 \pm 0.00$
Hémicryptophytes	6.67	5.88	$6.27 \pm 0.55$	33.33	25	$29.17 \pm 5.89$	0	0	$0.00 \pm 0.00$

#### 4.6. Diversité alpha

La figure 29, illustre pour l'ensemble de la région d'étude, la richesse spécifique selon les groupes phytoécologiques, pour l'année 2017 : on a enregistré une moyenne est de  $3.11 \pm 0.99$  (G1 ;),  $1.30 \pm 1.61$  (G2) et  $1.5 \pm 1.59$  (G3) alors que pour l'année 2018 une richesse moyenne sont respectivement de ( $2.77 \pm 2.37$ ), ( $2.13 \pm 1.45$ ) et ( $2.61 \pm 1.29$ ) pour G1, G2 et G3, respectivement. Le nombre des individus, par ordre décroissant, a enregistré des valeurs de  $6.33 \pm 5.41$  ;  $5.80 \pm 5.32$  ;  $5.19 \pm 4.04$  ;  $4.55 \pm 2.15$  ;  $2.80 \pm 2.94$  et  $2.66 \pm 2.49$  pour (G1 ; 2018), (G1 ;2017), (G2 ;2018), (G3 ;2018), (G2 ;2017) et (G3 ;2017), respectivement. Cependant l'indice de Shannon est de  $1.25 \pm 0.87$  ;  $1.11 \pm 0.73$  pour le groupe 1 en 2017 ;2018. Le groupe 2 en 2017, 2018 avec des valeurs variées de  $0.61 \pm 0.74$  ;  $1.02 \pm 0.69$  et  $0.67 \pm 0.73$  (G3 ;2017) ;  $1.22 \pm 0.58$  (G3 ;2018). Les valeurs de l'indice de Shannon en 2017, représentent une différence significative entre les groupes phytoécologiques. Alors que le H' montrant des valeurs plus élevées dans G1 et G3 par rapport à G2, ( $P < 0.001$ ), ces valeurs de H' enregistré pour les deux années de travail demeurent non significatives, en 2018, ( $P = 0.434 (>0.001)$ ) pour tous les groupes phytoécologiques, de même pour l'année 2017 (:  $F = 7.516$ ,  $P < 0.001$ ).

Les valeurs les plus élevées de la diversité maximale ont été notées dans le groupe G1 ; 2017 ( $1.41 \pm 0.99$ ) et G3 ; 2018 ( $1.31 \pm 0.59$ ), alors qu'il était en moyenne de ( $0.64 \pm 0.78$ ) et ( $0.74$

± 0.76) dans le (G2, G3 ; 2017). La régularité a montré des valeurs élevées allant de 0.79 ± 0.32 (G1 ; 2018) et 0.85 ± 0.29 (G3 ; 2018) (Fig. 29).

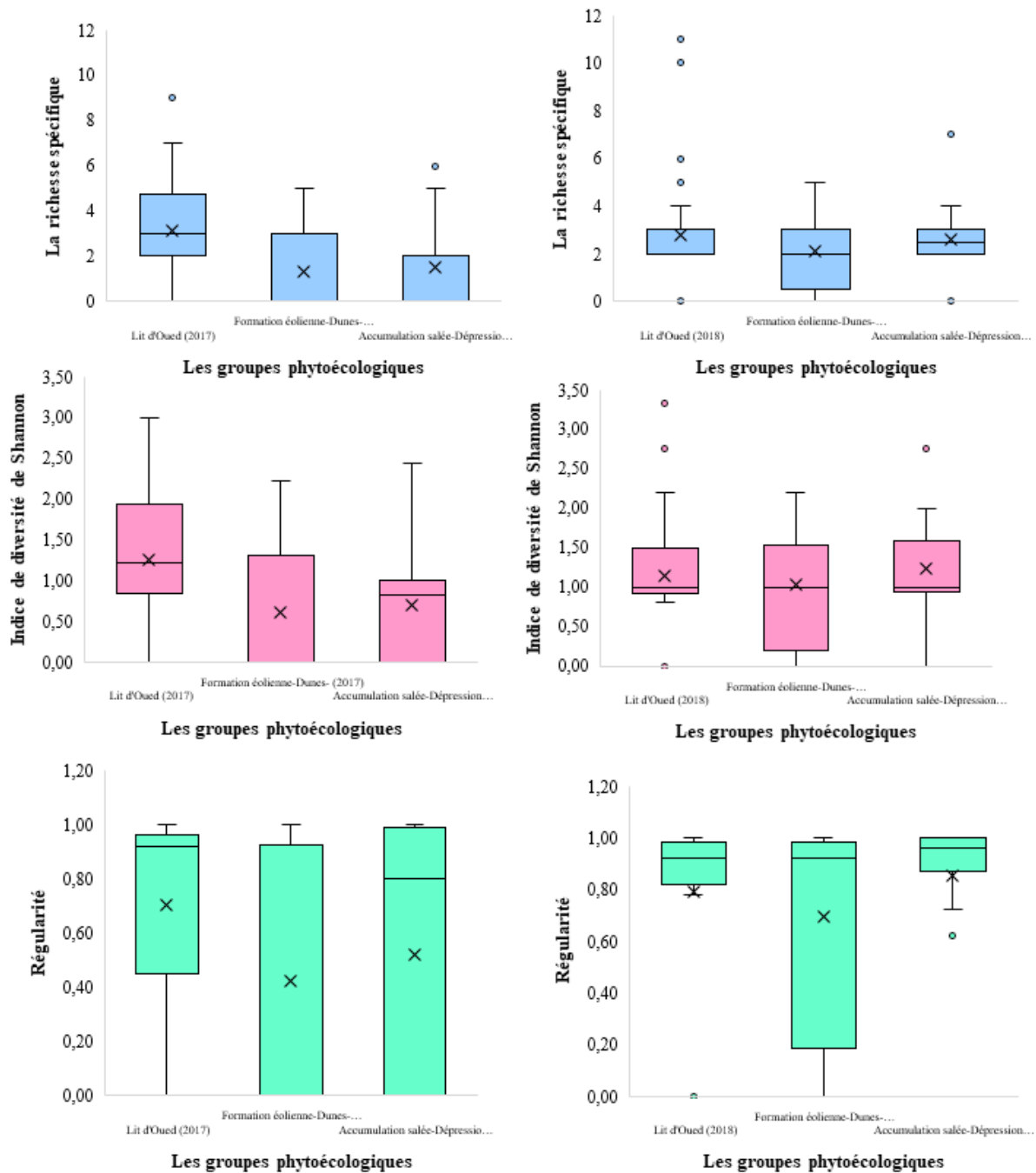
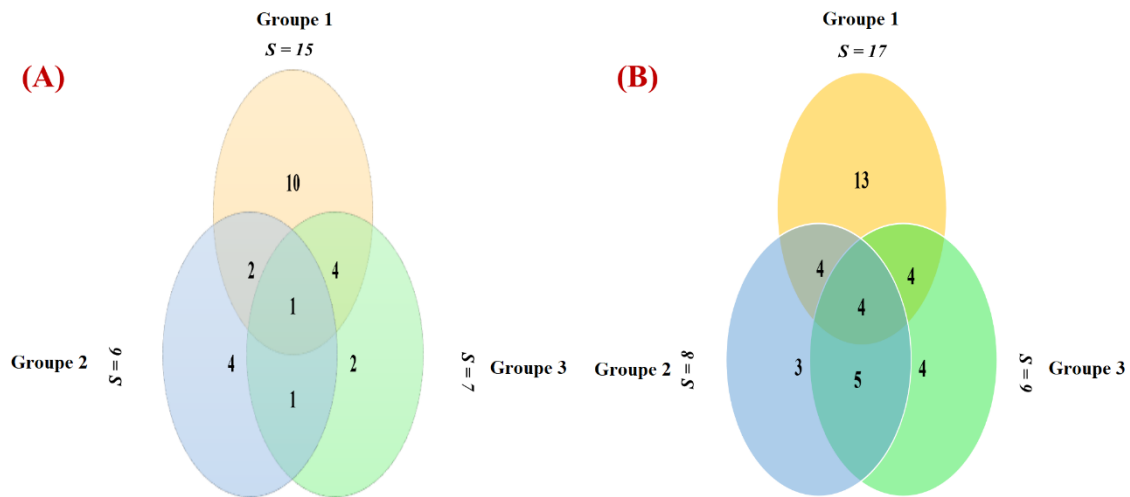


Figure 29 : Diversité alpha pour les groupes phytoécologiques dans la zone d'étude

#### 4.7. Analyse de similarité entre groupes phytoécologiques

Le diagramme de Venn (Fig. 30) a montré que les espèces végétales (1 ; 4) sont communes dans tous les groupes phytoécologiques respectivement en 2017 et 2018. Tandis que en 2017

on a noté quatre espèces communes entre les groupes G1 et G2 en 2018, et cinq espèces communes aux groupes G2 et G3 en 2018. Sur les 27 espèces végétales recensées dans l'étude menée, 4 espèces sont exclusivement présentes dans le deuxième groupe en 2017, 10 espèces dans le premier groupe en 2017 et 4 espèces dans le troisième groupe en 2018.



**Figure 30 :** Diagramme de Venn illustrant la richesse spécifique des plantes (S) enregistrée au niveau de divers groupes phytoécologiques de la végétation associée à la zone d'étude (A) : 2017, (B) : 2018

#### 4.8. Diversité bêta

L'analyse de similarité a montré la présence d'une seule espèce commune entre les trois groupes phytoécologiques en année 2017 (*Anabasis articulata* Forssk.), et quatre espèces *Anabasis articulata* Forssk, *Atriplex halimus* L, *Astragalus armatus* Willd et *Tamarix gallica* L, en année 2018 dans des trois groupes phytoécologiques.

Sur les 27 espèces signalées dans les parcours steppiques aride de la région d'El-Haouch, treize sont exclusives pour G1 (*Artemisia campestris* L, *Atractylis aristata* Batt, *Rhantherium suaveolens* Desf, *Echium vulgare* L, *Spinacia oleracea* L, *Euphorbia cornuta* Forssk, *Cassia italica* Mill, *Globularia alypum* L, *Ballota hirsuta* Willd, *Malva aegyptiaca* L, *Cynodon dactylon* L., *Lolium multiflorum* Lam et *Zizyphus lotus* L), Trois pour G2 (*Echinops spinosus* L, *Aristida pungens* Desf et *Thymelaea microphylla* Coss) et quatre espèces pour G3 (*Arthrocnemum glaucum* Moric, *Salsola tetrandra* Forssk, *Suaeda vermiculata* Forssk et *Traganum nudatum* Delile).

L'analyse de similarité (biodiversité bêta) entre les trois groupes phytoécologiques pris deux à deux a montré des valeurs d'indice de jaccard allant de 0.08 à 0.42. Outre la faible similarité observée entre G2 et G3 en 2017. Les valeurs d'indice de sørensen comprise entre 0.40 à 0.81, entre G2 et G3 en 2018, G1 et G2 en 2017, respectivement (tableau 16).

**Tableau 16 :** Indices de similarité entre groupes phytoécologiques dans la zone d'étude

Comparaisons de paires	Groupe 1 Groupe 2		Groupe 1 Groupe 3		Groupe 2 Groupe 3	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Indice de Jaccard	0,11	0,19	0,22	0,18	0,08	0,42
Indice de Sørensen	0,81	0,76	0,76	0,74	0,59	0,40

#### 4.9. Indice de perturbation

L'indice de perturbation devient important lorsque la zone est de plus en plus dégradée. En effet, durant les deux années, soit 2017 et 2018, les valeurs de cet indice sont de 64.02% dans les parcours des lits d'oued (2018) et de 50% dans les parcours des formations éoliennes modérément dégradées et de 73.33% dans les parcours des lits d'oued (2017) et (85.71% ; 2017) (77.78 % ; 2018) dans les parcours d'accumulation salés qui sont gravement dégradés (tableau 17).

**Tableau 17 :** Valeur de l'indice de perturbation (%) évalué dans la zone d'étude

	Lit d'Oued			Formation éolienne-Dunes-			Accumulation salées- Dépression-		
	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale	2017	2018	Totale
Indice de perturbation (%)	73.33	64.71	69.02 ± 6.10	50	50	50 ± 0	85.71	77.78	81.75 ± 5.61

## 5. Discussion

Sur la base des résultats obtenus à partir de l'analyse de 216 échantillons floristiques et suite à l'individualisation trois groupes phytoécologiques sont déterminés, la flore est dominée par les familles des Chenopodiaceae, Asteraceae, Fabaceae et Poaceae. Néanmoins, le nombre de 27 espèces reste relativement réduit par rapport aux résultats trouvés par Mechroum et al. (2021) dans les parcours steppiques semi-arides du nord-est algérien, alors que Bouallala et al. (2022) ont identifié 19 espèces végétales classées en 18 genres et 13 familles, les Asteraceae et Poaceae étant les familles les plus importantes dans les parcours sahariens de Ghardaia.

Fatmi et al, 2020 ont constaté que des parcours extensifs principalement représentés par *Atriplex halimus* et d'autres espèces de Chenopodiaceae existent sur des sols salins dans la région de Tebessa. Dans cette étude, parmi les 14 familles, (32.25%) sont présentées par une seule espèce



par famille, les valeurs élevées de ce coefficient reflètent les caractéristiques essentielles d'une flore désertique à faible diversité. Cependant, il est un indicateur d'une forte adaptation des espèces aux conditions xériques (Chenchouni 2012 ; Abd El-Khalik et al. 2017 ; Azizi et al. 2021 ; Mechroum et al. 2021 ; Bouallala et al. 2022).

Dans les régions arides, la plupart des familles de plantes ne sont représentées que par un ou deux genres et la plupart des genres par une ou deux espèces seulement (Boughani 2014 ; Kouba et al. 2021 ; Mechroum et al. 2021 ; Azizi et al. 2021). Les tests de corrélation montrent que les différences de structure taxonomique peuvent varier significativement d'une communauté végétale à une autre en fonction de ses conditions environnementales (Fan et al. 2017). Les résultats obtenus démontrent que les ratios taxonomiques F/S augmentent dans les steppes dans des bonnes conditions écologiques (parcours de lits d'oueds et parcours de formations éoliennes).

Les plantes pérennes sont caractérisées par des stratégies adaptatives morphologiques et anatomiques qui consistent principalement en une augmentation du système absorbant et une réduction de la surface évaporante, permettant de survivre plus ou moins longtemps, selon le degré de perturbation (Ozenda 1991). Dans les parcours arides du Sud Tunisien, les espèces pérennes sont la composante essentielle de ces parcours (Gamoun et al. 2010). Une perturbation anthropique forte et chronique peut diminuer la richesse floristique et induire le remplacement des espèces ligneuses par des espèces pérennes dont la composition floristique reste fortement liée à l'effet de cette perturbation sur les propriétés du sol (Mcintyre et al. 1995 ; Rodriguez et al. 2005 ; Salemkour et al. 2017). Le pâturage favorise le développement des espèces annuelles (Pfeiffer et al. 2019 ; Senoussi et al. 2021). Selon Le Floc'h (2000), les espèces annuelles ne germent qu'immédiatement après la pluie, ce sont des espèces opportunistes et éphémères, capables de croître et de fleurir rapidement, Leur absence durant la période d'échantillonnage est due à la sécheresse (Gamoun et al. 2010). Ghiloufi et al. (2015) ont prouvé que le surpâturage a été la principale cause de cette grave dégradation en réduisant le couvert végétal pérenne et par conséquent une augmentation de l'érosion, et une diminution le nombre d'espèces palatables, qui peuvent être remplacées par des unités végétales non palatables résultant d'une dégradation dynamique à faible performance fonctionnelle comme *Atractylis serratuloides* et *Astragalus armatus*.

Les formes de vie basées sur la richesse en espèces montrent un niveau élevé de chamaephytes dans les formations éoliennes et les parcours d'accumulations salées, indiquant leur adaptation à l'aridité du climat saharien (Chenchouni 2012 ; Bouallala 2013 ; Bradai et al. 2015 ; Gamoun et al. 2012 ; 2018). La prédominance des thérophytes dans le premier groupe phytoécologique

est un indicateur critique du climat chaud et sec, de l'interférence humaine et animale (Abdel Khalil et al. 2017). Dans les zones arides et semi-arides, la chaméphytisation et la thérophytisation sont des stratégies d'adaptation des formations végétales steppiques dégradées vis-à-vis des pressions anthropiques et climatiques (Taibaoui et al. 2020).

Les hémicryptophytes sont représentés par une espèce de la famille des Poaceae, une espèce d'Euphorbiaceae, une espèce d'Asteraceae et une espèce de Boraginaceae. Bouallala (2013) a confirmé que la présence des hémicryptophytes dans les sols sableux et les dunes sont représentée par les psammophytes. L'absence de géophytes dans les formations éoliennes et les parcours d'accumulations salées, confirment leur régression dans les prairies et les zones steppiques (Barbero et al. 1989 ; Henni et al. 2012). L'absence de ce type biologique dans les parcours de formation éolienne et d'accumulations salées est liée au gradient climatique favorisant le développement des espèces à courte durée de vie (Aidoud 1983 ; Hachemi et al. 2015). Les phanérophytes sont localisés dans les habitats mésiques recevant de l'eau d'irrigation, tels que les lits d'oueds et les canaux d'irrigation (Bouallala 2013 ; Bradai et al. 2015 ; Bouallala et al. 2020).

Ces très faibles valeurs de diversité alpha altèrent la capacité des écosystèmes à réagir aux perturbations, traduisant ainsi une raréfaction voire une disparition de certaines espèces, notamment celles à bonne valeur pastorale (Gamoun et al. 2010). De même, Aïdoud (1989) a mesuré un indice de diversité de Shannon de 2,69 et une équitabilité de 0,5 dans les steppes du Sud de l'Oranais. Cette réduction s'explique par un système homogène plus fragile dans ses contributions écologiques (N'zala 1997). Selon Dajoz (1982), un indice de diversité alpha faible traduit des conditions de vie défavorables. De faibles valeurs de l'indice de Jaccard indiquent une forte dissimilarité dans la composition floristique des différents groupes phytoécologiques (Neffar et al. 2018). Les taux d'indice de perturbation enregistrés (50 % à 85.71 %) montrent une forte pression anthropozoologique (Bekkouche et al. 2019 ; Zemmar et al. 2020).

## **6. Conclusion**

Le diagnostic de la diversité botanique peut expliquer les relations entre la distribution des espèces et les facteurs environnementaux. Cette étude a montré que la composition végétale est principalement marquée par la dominance des familles Chenopodiaceae et Asteraceae, et la co-dominance des Chamaephytes et Thérophytes, dans les différents groupes phytoécologiques ; cette situation particulière favorise l'installation de la Chamaephytisation et les phénomènes de Thérophytisation.

Les paramètres de diversité alpha des différents groupes phytoécologiques présentent des valeurs faibles, qui traduisent un écosystème homogène plus fragile, des conditions de vie

défavorables et l'absence de certaines espèces à haute valeur pastorale. La forte dissimilarité observée entre les groupes phytoécologiques reflète un état de dégradation de ce parcours steppique aride. Les études sur la biodiversité permettent une compréhension plus complète de la végétation des steppes arides et de son fonctionnement dans l'écosystème, en analysant les composantes et les motifs végétaux à plusieurs échelles spatiales et temporelles. La région d'El-Haouch reste un maillon fort de l'économie agropastorale de l'Algérie, pour préserver cet écosystème fragile, il est nécessaire d'envisager des programmes de gestion rationnelle pour restaurer et améliorer le couvert végétal steppique.

# Chapitre deuxième

*Influence des paramètres édaphiques  
sur la répartition de la végétation  
steppique dans des conditions arides*

## **1. Introduction**

La compréhension de l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution de la végétation permet aux gestionnaires de l'environnement de planifier des problèmes telles que le changement climatique, la restauration écologique et l'intensification de l'utilisation des sols (Ashcroft 2006). Les facteurs biotiques et abiotiques sont considérés comme efficaces dans la distribution des communautés végétales (Zhang et al. 2005). Cependant, la topographie, le climat et le sol sont trois importants facteurs abiotiques environnementaux importants qui contrôlent la composition de la végétation dans les parcours (Jafari et al. 2004). Le changement des composants existants d'un écosystème, en particulier les végétaux et le sol, entraîne des variations graduellement dans la forme, la composition et la structure de ces communautés. Par conséquent, l'étude de l'interrelation entre les différentes communautés végétales en réponse aux facteurs environnementaux sont nécessaires (Jafari et al. 2003 ; Youssef et al. 2009). Les propriétés du sol peuvent fortement influencer la croissance des végétaux en raison du fait que le sol en fonction du climat, de la topographie, du matériau parental et du temps (Hoveizeh 1997 ; Jafari et al. 2004). Brosofske et al. (2000) ont étudié la relation entre les facteurs environnementaux de la végétation, la gestion de l'écosystème et ont montré que la connaissance des différents effets des facteurs environnementaux sur la végétation aide à améliorer et développer la capacité de prédire les perturbations humaines. Par conséquent, la compréhension des relations entre variables écologiques dans un écosystème donné nous aide à appliquer ces résultats à la gestion, à l'amélioration et au développement des régions (Jafari et al. 2004).

En régions arides, le changement climatique, la désertification et l'érosion de la biodiversité ont de graves implications écologiques et sociales, notamment en Afrique où environ 43 % de la surface du continent est classée sous la menace de la désertification (Ouma et Ogallo 2007). En Algérie, plusieurs études ont mis en évidence une dégradation progressive du sol et de la couverture végétale des parcours au cours des quatre dernières décennies (Neffar et al. 2018 ; Boudjabi et Chenchouni 2022) entraînant une désertification des écosystèmes steppiques (Amghar et al. 2016). Le sol constituait une masse presque totalement inerte dans laquelle les végétaux vivent et trouvent tous les matériaux nécessaires à leur développement (Anderson-Teixera et al. 2009 ; Alcàntara et al. 2016). L'analyse des paramètres édaphiques est un outil permettant de comprendre l'écosystème steppique, sa valeur écologique et pédologique et son exigence de conservation et de réhabilitation face à l'aridité.

Dans notre cas, l'étude des relations entre les facteurs édaphiques avec les espèces végétales dans les sites étudiés permettra de faire ressortir les relations réciproques entre les paramètres édaphique et la répartition du couvert végétation steppique au Sud-Biskra particulièrement dans la région d'El-Haouch.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Région d'étude**

La région d'étude (El-Haouch) est située au sud de Biskra (Sud-Est Algérien), entre 34°33'43" en latitude nord et 06°03'05" de longitude est (Fig. 31).

L'altitude maximum et l'altitude minimum sont de 17 m et -18 m, avec une altitude moyenne de 11 m, respectivement au site 1 ,3 et 2. Cette région est reconnue comme une zone aride (Belhadj et al. 2023). Les précipitations faibles et irrégulières (152 mm) et une longue période de sécheresse. Les températures minimales peuvent atteindre 7°C en hiver, été très chaud (40°C en juillet et août). La région d'étude est caractérisée par une pente moyenne entre < 5 à 30 %.

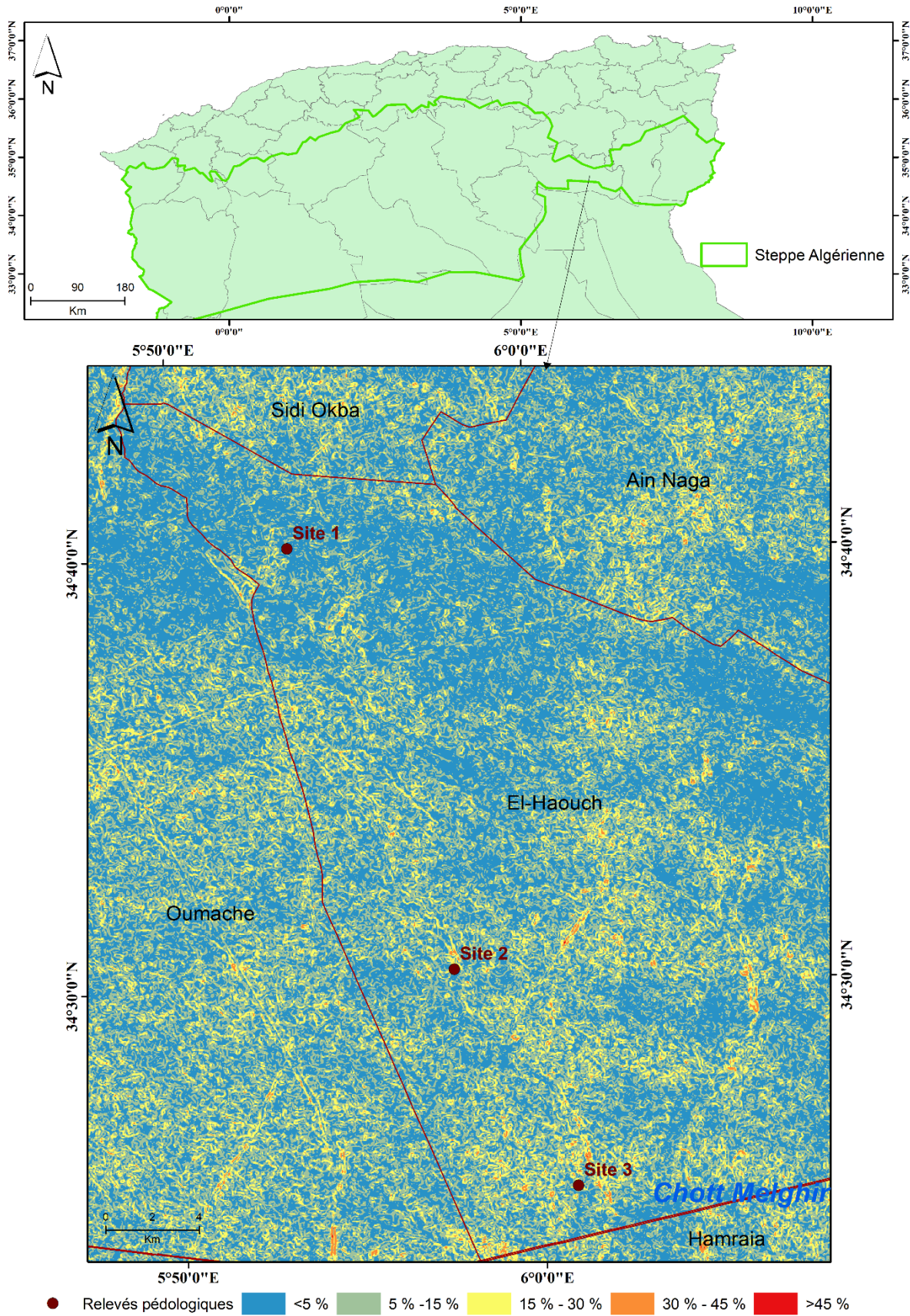


Figure 31 : Géolocalisation des relevés pédologiques dans le Sud-Est Algérien (Biskra)

## **2.2. Relevés pédologiques**

Dans chacune de ces trois sites de la zone d'étude d'El-Haouch (Fig. 31), des échantillons de sol ont été collectés au pied des trois sites ; les parcours de lit d'Oueds, les parcours des formations éoliennes – Dunes – et les parcours des accumulations salées –Dépression –. Les échantillons de sol ont été prélevés dans tous les horizons d'un profil pédologique creusé à l'aide d'une pioche en acier jusqu'à une profondeur de 30 cm.

## **2.3. Analyse physique**

Pour classer les sols, nous avons procédé à l'analyse granulométrique (500 à < 2  $\mu\text{m}$ ) du sol (Aubert 1978), qui consiste à classer les éléments constitutifs du sol selon leur taille et la détermination du pourcentage respectif de chacun d'eux (sables, limons, argiles).

## **2.4. Analyse chimique**

Nous avons mesuré le pH eau du sol par électrométrie à l'aide d'un pH – mètre sur une suspension du sol dans l'eau distillée le rapport sol/ eau est 1/5. La conductivité électrique, mesurée par le conductimètre avec le rapport sol/ eau est de 1/5 à 25°C. Pour le calcaire total la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard. En décomposant les carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique, et mesurant le volume de CO<sub>2</sub> dégagé, de même nous avons mesuré la matière organique.

## **3. Résultat**

Cette analyse a mis en évidence les relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et la distribution spatiale de couvertures végétales des parcours dans un écosystème steppique aride.

### **3.1. Paramètres physico-chimiques**

Pour les limons, la moyenne obtenue se situe entre 22.06 et 39.37% pour les trois différents parcours. La moyenne obtenue pour les sables fins est modérée à l'intérieur des parcours d'accumulation salées – Dépression – (27.03 %), cependant les parcours de formation éoliennes – Dunes –, présentent une quantité réduite de 33.25%. Les textures obtenues expliquent la nature du type de végétation associée, un sol sableux dominés par *Retama retam* et *Thymelaea microphylla*. Les parcours d'accumulations salées – Dépression – est fortement liée à la texture des zones basses sur un substrat de calcaire.

La conductivité électrique du sol (1/5 à 25°C), les parcours étudiés ont enregistré des valeurs de 1.40  $\pm$  0.1 mS/cm ; 4.80  $\pm$  0.24 mS/cm ; 4.80  $\pm$  0.23 mS/cm pour les parcours de lit d'Oueds,

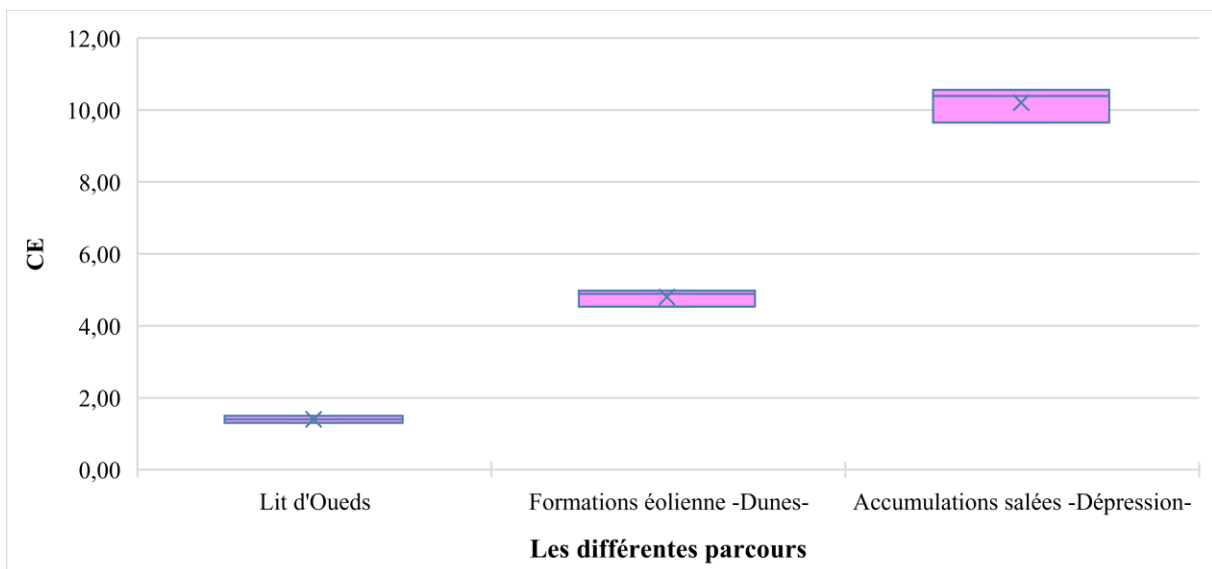


les parcours de formation éoliennes – Dunes – et les parcours d’accumulation salées – Dépression –, respectivement (Fig. 32). Les parcours d’accumulation salée – Dépression – sont caractérisé par un sol très salin ( $10.20 \pm 0.48$  mS/cm). Tandis que les valeurs de CE, sont très significatif (ANOVA à un facteur :  $P > 0.0001$ ) entres les différents types de parcours.

Pour les différents parcours, le pH est de  $8.49 \pm 0.23$  (parcours de lit d’Oueds),  $7.42 \pm 0.22$  (parcours de formation éoliennes – Dunes –) et  $7.56 \pm 0.21$  (parcours d’accumulation salées – Dépression –), tandis qu’il est classé comme alcalin dans ces derniers parcours (Fig. 33). Les valeurs de pH différent significativement entre les différents parcours, pH montrant des valeurs plus élevées au parcours de lits d’Oueds par rapport aux autres parcours ( $F = 23.55$ ,  $P = 0.003 < 0.005$ ).

Le sol analysé dans les trois parcours steppiques arides de la région d’El-Haouch est modérément calcaire, car la teneur totale en  $\text{CaCO}_3$  a montré des valeurs élevées allant de  $22,01 \pm 2,68$  % (parcours d’accumulation salées – Dépression –) et  $32.75 \pm 1.40$  % (parcours de formation éoliennes – Dunes –) (Fig. 34).

Les valeurs les plus élevées de la matière organique ont été notées dans les parcours de lit d’Oueds ( $1.76 \pm 0.06$  %), alors qu’il est en moyenne ( $0.33 \pm 0.05$  %) dans les parcours de formation éolienne – Dunes – et des valeurs faibles dans parcours dominés par d’accumulation salées – Dépression – ( $0.25 \pm 0.03$  %) (Fig. 35). Statistiquement la différence de PH entre les différents parcours est très significative ( $P < 0.0001$ ).



**Figure 32 :** Boîtes à moustaches montrant la variation des CE (mS/cm) du sol dans la zone d'étude

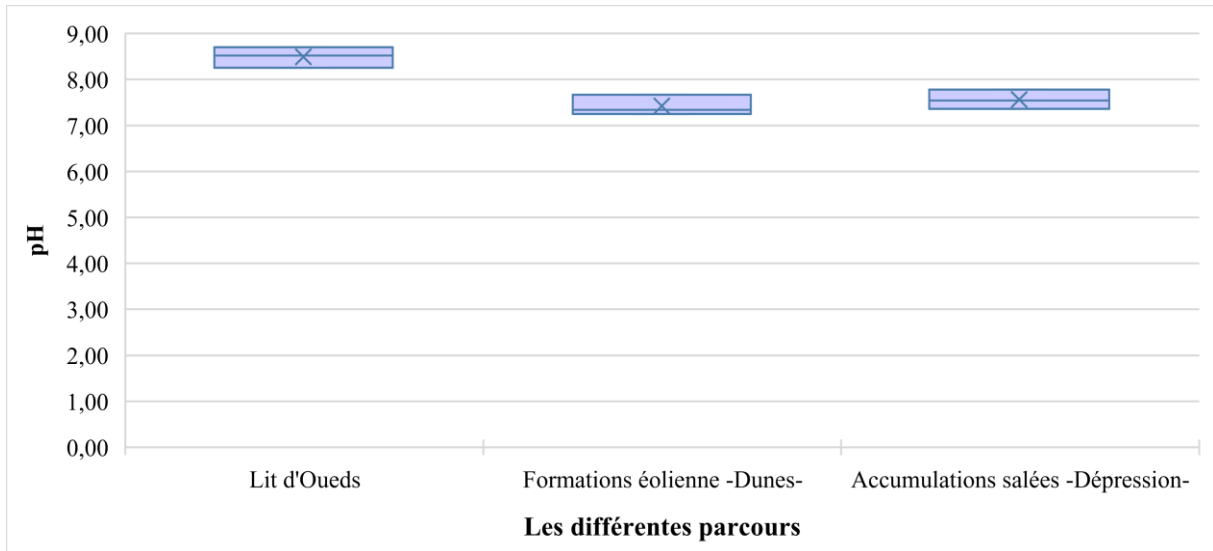


Figure 33 : Boîtes à moustaches montrant la variation des pH du sol dans la zone d'étude

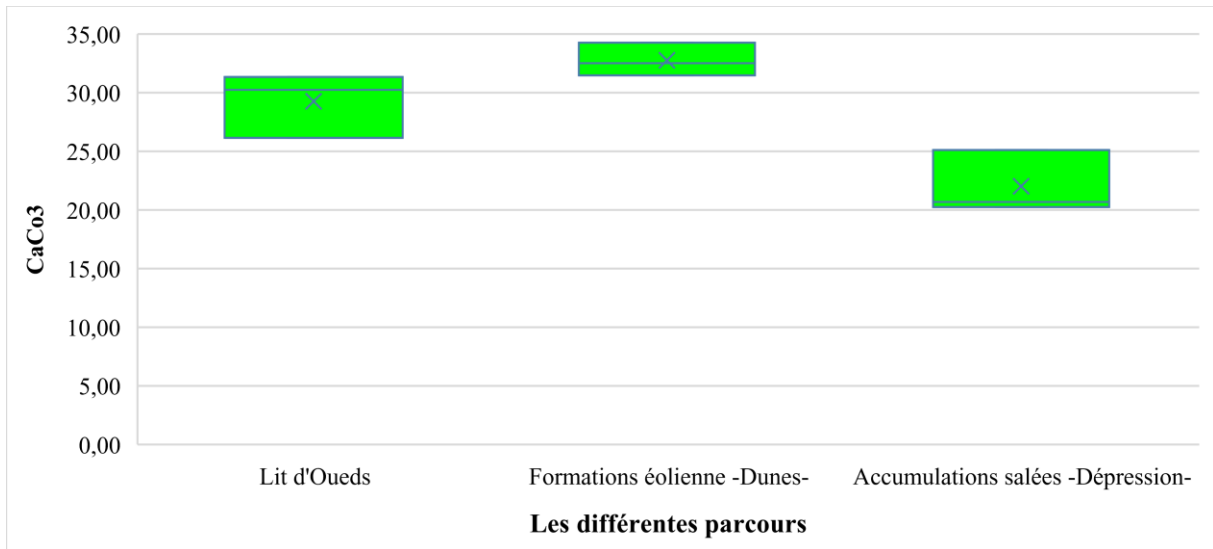


Figure 34 : Boîtes à moustaches montrant la variation des CaCO3(%) du sol dans la zone d'étude

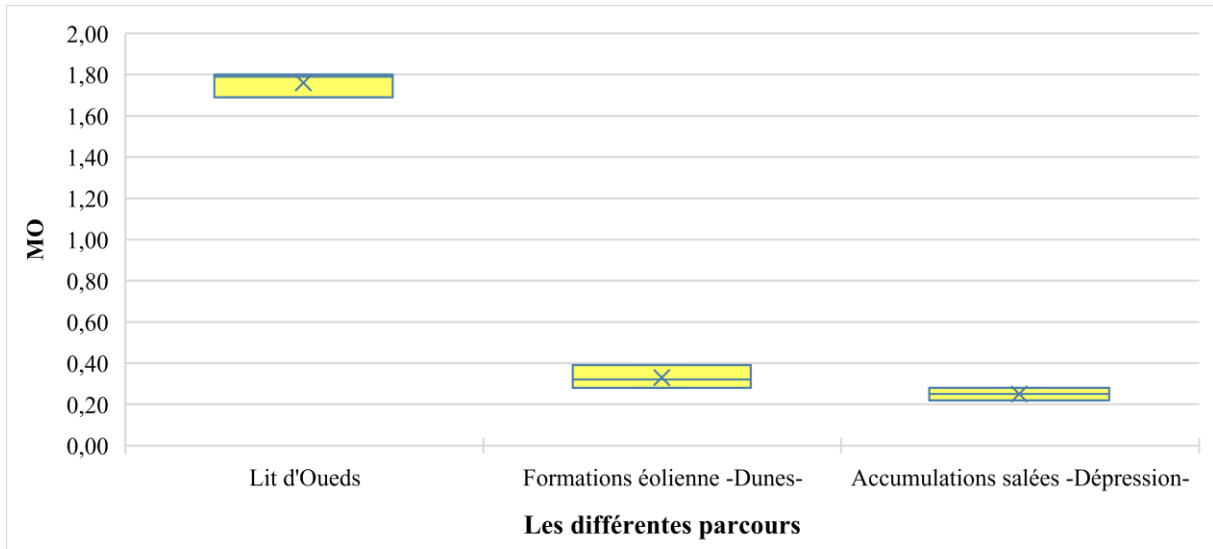


Figure 35 : Boîtes à moustaches montrant la variation des MO (%) du sol dans la zone d'étude

### 3.2. Effet des variables édaphiques sur la répartition de végétation steppique en utilisant l'Analyse de Composante Principale (ACP)

L'effet des facteurs édaphiques sur distribution des communautés végétales steppiques a été étudié à l'aide de méthode d'analyse des composantes principales ACP. La figure 36 montre résultats de l'ordination ACP.

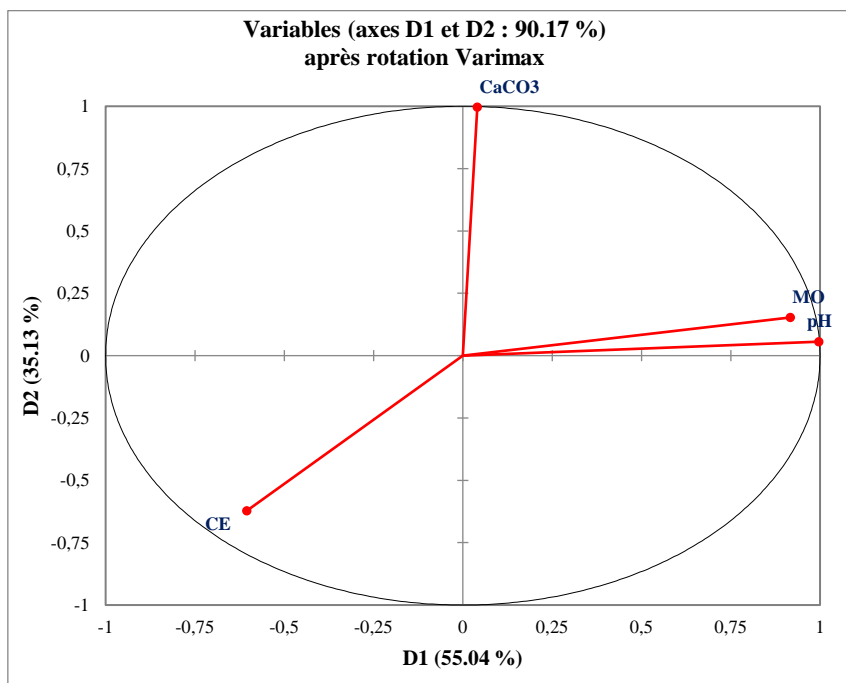


Figure 36 : Cercle de corrélation des variables par rapport de l'axe D1 et D2

D'après la figure 36, le pH et MO sont corrélés positivement entre eux et statistiquement sont indépendants totalement par rapport au  $\text{CaCO}_3$ . La conductivité électrique (CE) et  $\text{CaCO}_3$  sont en corrélation négative entre eux (CE = -0.622 pour l'axe D2)

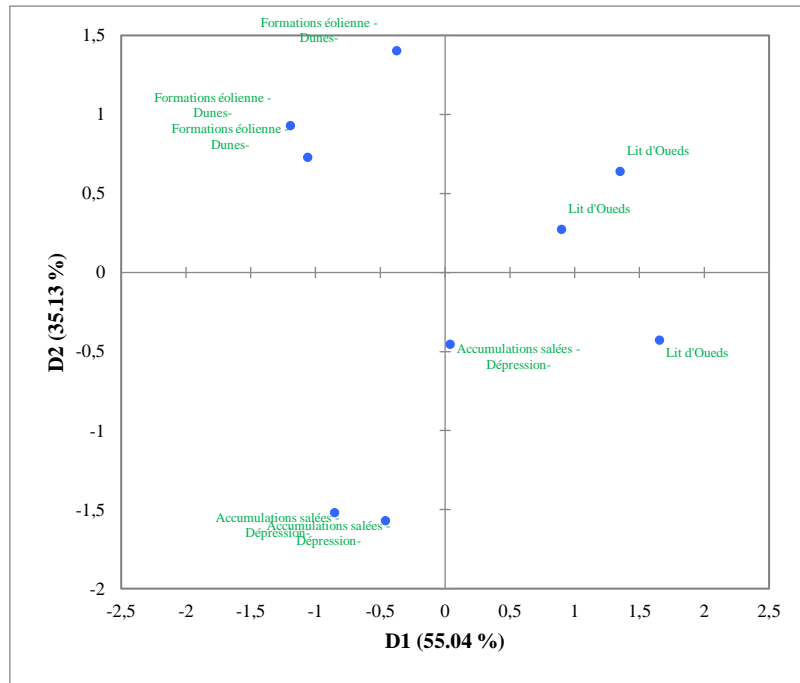
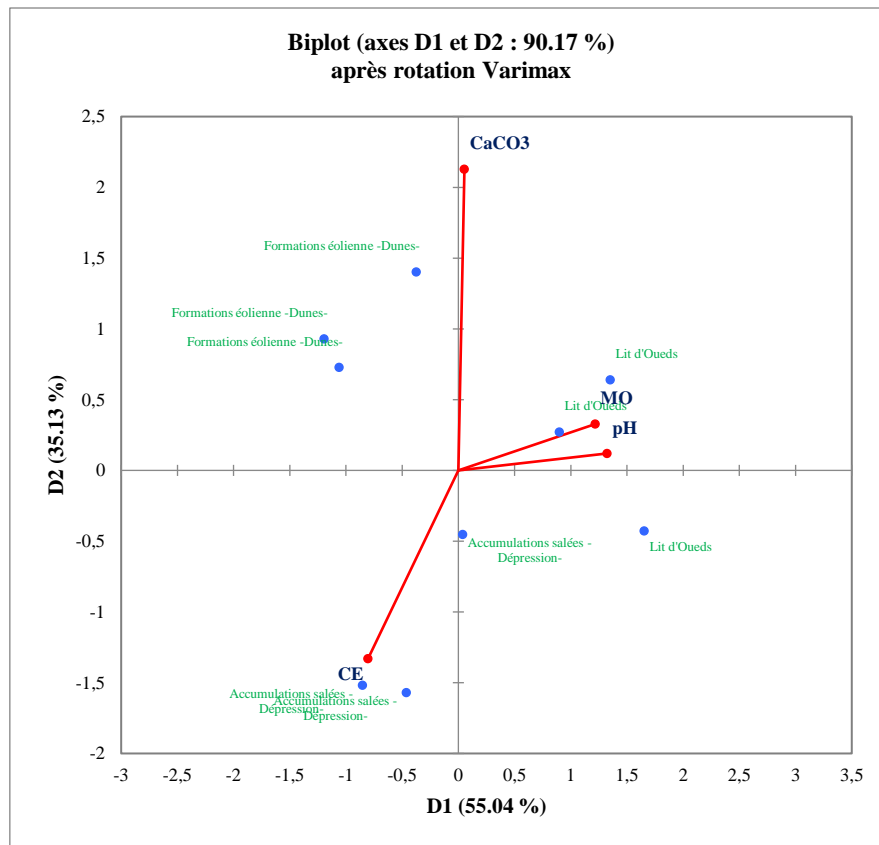


Figure 37 : Projection des groupes phytoécologiques sur les axes D1, D2

A travers de la figure 37, la répartition des différents groupes phytoécologiques sur le plan de projection est une preuve de leur distribution spatiale dans notre zone d'étude. De ce fait, les parcours d'accumulations salées – Dépressions –, qui sont dominés par *Suaeda vermiculata* et *Atriplex halimus*, sont corrélés avec l'axe 3, ils sont situés dans l'extrémité de l'axe D2 et s'opposent les parcours de lit d'Oueds qui sont corrélés négativement entre eux (-0.617).



**Figure 38 :** Projection des variables et des groupes phytoécologiques sur les axes D1, D2

En regroupant l'ensemble des variables (pH, MO, CaCO<sub>3</sub> et CE) et les différents groupes phytoécologiques (les parcours de lit d'Oueds qui sont dominés par *Atriplex halimus*, *Tamarix gallica*, *Artemisia campestris* et *Atractylis aristata*, les parcours de formations éoliennes - Dunes- et les parcours d'accumulations salées). La corrélation s'exprime sur l'axe D1 (55.04%) et l'axe D2 (35.13%) ; les informations sur les deux axes principaux ont montré l'effet des variables édaphiques sur la répartition spatiale des végétations des parcours arides. L'axe 1 apparaît dans deux variables – pH et MO – en position positive. L'axe 2 en position négative trouve CaCO<sub>3</sub> et CE, et d'après la figure 38, les parcours de lit d'Oueds possèdent les valeurs les plus importantes des variables qui sont le pH et la matière organique, ces derniers contribuent à la formation du premier axe (D1), le cosinus carré des observations après rotation Varimax = 0.812. Les parcours d'accumulations salées possèdent de variable de CE pris en considération.

Sur la base de la corrélation entre les variables du composante principale, pH et la matière organique montrent une relation positive (corrélation) avec la distribution spatiale de la végétation steppique aride dans les parcours de lit d'Oueds. Selon l'axe 2 (D2), il est clair que la corrélation entre CE et la répartition des végétations (- 0.013) est négatif. Par conséquent, les

paramètres édaphiques mentionnés contrôlent principalement la distribution spatiale de végétation steppique aride dans la région d'El-Haouch.

#### **4. Discussion**

Sur la base des résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques du sol des différents parcours steppiques de la région d'El-Haouch, l'ensemble des échantillons de sol analysés sont caractérisés par des pourcentages appréciables de limons grossier, sables fins et sables grossiers. Ceci rejoint les travaux de Hassani (2003) qui ont révélé des pourcentages appréciables de sables dans les sols steppiques du sud-Algérois.

Les textures obtenues expliquent la nature du type de végétation associée aux parcours, les parcours de lit d'Oueds occupe la texture la plus riches avec la présence des alluviaux (Kaabeche 2005).

La conductivité électrique du sol est un bon indicateur de la teneur en sels hydrolisables des sols (Bouaroudj et al. 2019 ; Guemmaz et al. 2020). Les résultats obtenus ont indiqué que les parcours d'accumulations salées – Dépression – ont une CE plus élevée par rapport aux autres parcours, ce qui se traduit par une forte accumulation de sels dans le sol sous-jacent à cette végétation, mettant en évidence un sol très salin de ces milieux (Mathieu et Pieltain 2003 ; Neffar et al. 2016). Cette observation s'explique par le fait que l'*Atriplex halimus* transporte et accumule une grande quantité de sels de sodium dans ses feuilles, qu'elle libère ensuite dans le sol après l'abscission des feuilles. Ainsi, le sodium libéré rend le sol plus basique (Al-Muwayhi, 2020 ; Guo et al. 2020) dans ce contexte Rabhi et al. (2009) rapportent également un effet alcalinisant des plantes halophiles sur le sol.

D'après Capot-Rey (1955), dans des conditions arides, la solubilité des minéraux diminue créant des carences en nutriments dans les sols. Par ailleurs Bonneau et al. (1979), indiquent si le pH est  $> 7$ , les sols sont riches en carbonate actif.

Aux régions arides et semi-arides, où le sol est parfois salin et il est aussi caractérisé par une conductivité électrique très élevée (Hachmi et al. 2018 ; Mihi et al. 2019). Tous ces facteurs physico-chimiques limitent le taux de transformation en matière organique par les bactéries du sol (Hungate et al. 2017). Par ailleurs, Sinsabaugh et al. (2009) et Hall et al. (2011) ont signalé que, cet effet affecte négativement la fertilité des sols, ce qui entraîne une accumulation de matière non transformée dans ces régions, et une diminution du retour des éléments essentiels au sol pour le développement de la plante (Wang et al. 2010).

Le  $\text{CaCO}_3$  total est un composant important du sol qui provient de la dégradation de la roche-mère carbonatée (calcaire) (Ruellan 1976). Selon Louati et al. (2017), la libération d'une grande

quantité de  $\text{CaCO}_3$  dans le sol augmente le pH en présence d'*Atriplex halimus*, surtout lorsque cette solution est associée au sodium libéré par la plante.

La matière organique trouvés dans nos trois sites demeure faible et elle bien, Nadjraoui et al. (2008) soulignent que la teneur en matière organique dans le sol est en fonction de l'aridité du climat et de l'influence du couvert végétale.

Alors que Pouget (1980) et Djebaili (1984), dénotent que la teneur moyenne en matière organique est de 1 à 2% pour les sols steppiques.,

Zegeye et al. (2006) ont montré que l'interdépendance du type de végétation et les propriétés chimiques du sol conduisent à une variété d'espèces, types de végétation et répartition des communautés végétales dans le centre-sud de l'Éthiopie. De même, Youssef et Al- Fredan (2008) a déclaré que l'occurrence, la distribution et la composition des espèces végétales forment les différents groupes écologiques, sont liés au degré de sol salinité et/ou hétérogénéité dans le substrat sableux stabilisé qui a supporté le type enregistré d'espèces halophytes et/ou xérophytes.

De même, il est tout à fait possible que les événements extrêmes, tels que les sécheresses prolongées et les pluies intensives, deviennent fréquents dans les terres de parcours arides (Driouech 2006). Ces tendances futures, conjuguées aux impacts déjà existants, vont entraîner une perte de la biodiversité des terres de parcours et augmenter leur vulnérabilité à la dégradation (Mahyou et al. 2010).

## **5. Conclusions**

Notre travail a consisté à évaluer l'influence des paramètres édaphiques sur la répartition de la végétation steppiques dans la région d'El-Haouch. Les résultats obtenus montrent que la dynamique des paramètres physico-chimiques des sols dans un écosystème steppique aride est un processus très lent. L'évolution faible des sols dans ces parcours, est liée au déficit hydrique et aussi aux paramètres physico-chimiques du sol, y compris, la teneur en éléments nutritifs, notamment la teneur en  $\text{CaCO}_3$ , le pH alcalin et la salinisation qui agissent négativement surtout aux parcours d'accumulations salées – Dépression – sur les processus de transformation de la matière organique générée par la végétation steppique, alors que les parcours de lits d'Oueds sont établis surtout dans les sols alluviaux.

Les résultats de l'ACP indiquent que les variables pédologiques qui se trouvaient dans la partie droite de la première composante (D1), telle que le pH et MO, ont une relation positive avec les parcours de lit d'Oueds d'où *Atriplex halimus*, *Tamarix gallica*, *Artemisia campestris* et *Atractylis aristata* sont dominés. Par conséquent, on peut constater que les végétations steppiques ont des relations spécifiques avec les variables pédologiques.

## *Chapitre deuxième : Influence des paramètres édaphiques sur la répartition de la végétation steppique*

### **Partie II**

En effet, la faible teneur en matière organique, la forte salinisation et d'autre facteur tel l'effet anthropique (le surpâturage et l'extension d'agriculture) dans ces parcours augmentent la vulnérabilité de ces écosystème steppiques.



# Chapitre troisième

*Imagerie Landsat multi-temporelle  
et indice MSAVI pour le suivi de  
la dégradation des parcours dans un  
écosystème aride, étude de cas de  
Biskra (Sud-Est Algérien)*

## **1. Introduction**

Les parcours sont des systèmes socio-écologiques complexes et associés aux zones arides (Lee et al. 2021). Ils sont les principaux fournisseurs de biens et de services écosystémiques critiques à travers le monde ; cependant, ils sont susceptibles de se dégrader (James et al. 2013). La dégradation des parcours est un problème mondial dû au surpâturage et à la désertification résultant à la fois des activités climatiques et humaines (Le Houérou 1996 ; Asner et al. 2004 ; Reynolds et al. 2007 ; Zerga 2015 ; Lee et al. 2021). Selon la convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification UNCCD (1994), la désertification est la principale cause de dégradation des terres dans les régions arides, semi-arides et subhumides, entraînant la régression des capacités des écosystèmes et des séquences de sécheresse récurrentes.

En Algérie, il y a 200 millions d'hectares de déserts naturels, 20 millions d'hectares sont des régions steppiques menacées par la désertification et 12 millions sont des zones montagneuses menacées par l'érosion hydrique (Merdas et al. 2015). Le parcours algérien couvre la plus grande surface d'Afrique du Nord. Il est situé entre les monts de l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas saharien au sud (Djebaili 1984 ; Le Houérou 2004 ; Hirche et al. 2011). Selon le ministère algérien de l'Agriculture, le pastoralisme est la principale activité agricole avec un total d'environ 26 millions de têtes de bétail en 2016. Les écosystèmes steppiques font face à une importante dégradation, principalement induite par l'effet combiné de facteurs naturels tels que la sécheresse et l'érosion éolienne/eau, et des actions anthropiques telles que les pressions démographiques, socio-économiques et le surpâturage, conduisant à une dynamique régressive de l'extension et de la diversité végétale steppique, et à la dégradation des ressources naturelles (Aidoud 1996 ; Nedjraoui et Bedrani 2008 ; Slimani et al. 2010 ; Moulay et al. 2011 ; Belala et al. 2018 ; Merdas et al. 2019).

Les méthodes basées sur la géomatique utilisant des données de télédétection et des systèmes d'information géographique sont des outils puissants et fiables pour évaluer et surveiller la végétation steppique dans les régions de parcours dans le monde entier (Booth et Tueller 2003 ; Wessels et al. 2012 ; Reeves et al. 2014). En Algérie, cette approche a été utilisée dans différentes études, en utilisant le NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) pour extraire les classes de végétation des parcours et analyser sa dynamique spatio-temporelle (Benslimane et al. 2008 ; Khader et al. 2014 ; Bouacha et al. 2018).

La région de Biskra est menacée par la désertification en raison de nombreux facteurs qui contribuent à la dégradation de l'environnement, tels que les activités humaines, le changement d'utilisation des terres et les facteurs climatiques dus aux changements de température, d'humidité et de vent (Azouzi et al. 2017). La zone d'étude est marquée par les activités pastorales en raison de l'existence de parcours libres (Merdas et al. 2017). La dynamique spatio-temporelle des parcours dépend de multiples facteurs climatiques, naturels, humains et socio-économiques (Demnati et al. 2017). Dans cette recherche, différents types de données et des images satellites multi-temporelles ont été utilisés pour évaluer, cartographier, suivre et discuter la dynamique spatio-temporelle de la couverture végétale. L'objectif de cette recherche est d'évaluer, de cartographier et de suivre la dynamique spatio-temporelle de la végétation steppique dans la région de Biskra pendant la période 1987-2019 en utilisant des images Landsat en série temporelle et de déterminer leur impact sur le paysage.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Zone d'étude**

Entre 34°48' nord et 05°44' sud, la région de Biskra est située au sud du système des monts des Aurès ; elle relie le paysage de haute montagne du nord aux régions de basses terres du sud. La zone d'étude comprend 13 municipalités situées au sud-Biskra et certaines parties sont situées dans les zones nord du gouvernorat d'El-Oued (Fig. 39). Sur le plan topographique, cette zone correspond à un piémont qui décroît progressivement depuis le nord des Aurès Nemamcha jusqu'à la dépression de Chott Melghir au sud, et est marquée par des pentes modérées à faibles essentiellement composées d'argile fine et d'alluvions (Chebbah 2007). Ces conditions ont permis le développement d'importantes activités agricoles. Oued Djedi est le principal cours d'eau intermittent de la région et divise la zone d'étude en 2 régions distinctes et contrastées : 1) au nord, où l'occupation du sol est essentiellement composée d'oasis de palmiers dattiers, de terres cultivées étendues et de cultures en plein champ, et 2) au sud, où le paysage est caractérisé par de vastes cônes alluviaux et une plaine modelée par les cours d'eau de l'Oued. Le climat de cette région est aride avec des précipitations irrégulières et moins de 200 mm de précipitations par année (Demnati 2014). La synthèse climatique sur 33 ans (1987-2019) montre que la température moyenne annuelle est d'environ 23°C, la température maximale moyenne est d'environ 28°C (les températures maximales mensuelles peuvent atteindre 40 °C en juillet et août), et les températures minimales moyennes sont de 17°C, mais les valeurs mensuelles peuvent atteindre 7 °C en saison hivernale. La vitesse moyenne du vent est d'environ 3,8 m/s avec deux directions dominantes : nord-ouest (8.8 %) et nord-nord-ouest (6.9 %). La région de Biskra est l'une des plus importantes zones de culture du palmier dattier en Algérie, mais depuis

les nouvelles réformes de la politique agricole de 1990 avec la mise en valeur des terres en milieu aride, cette région a connu une augmentation importante des tunnels et des cultures sous serre (Amichi et al. 2015).

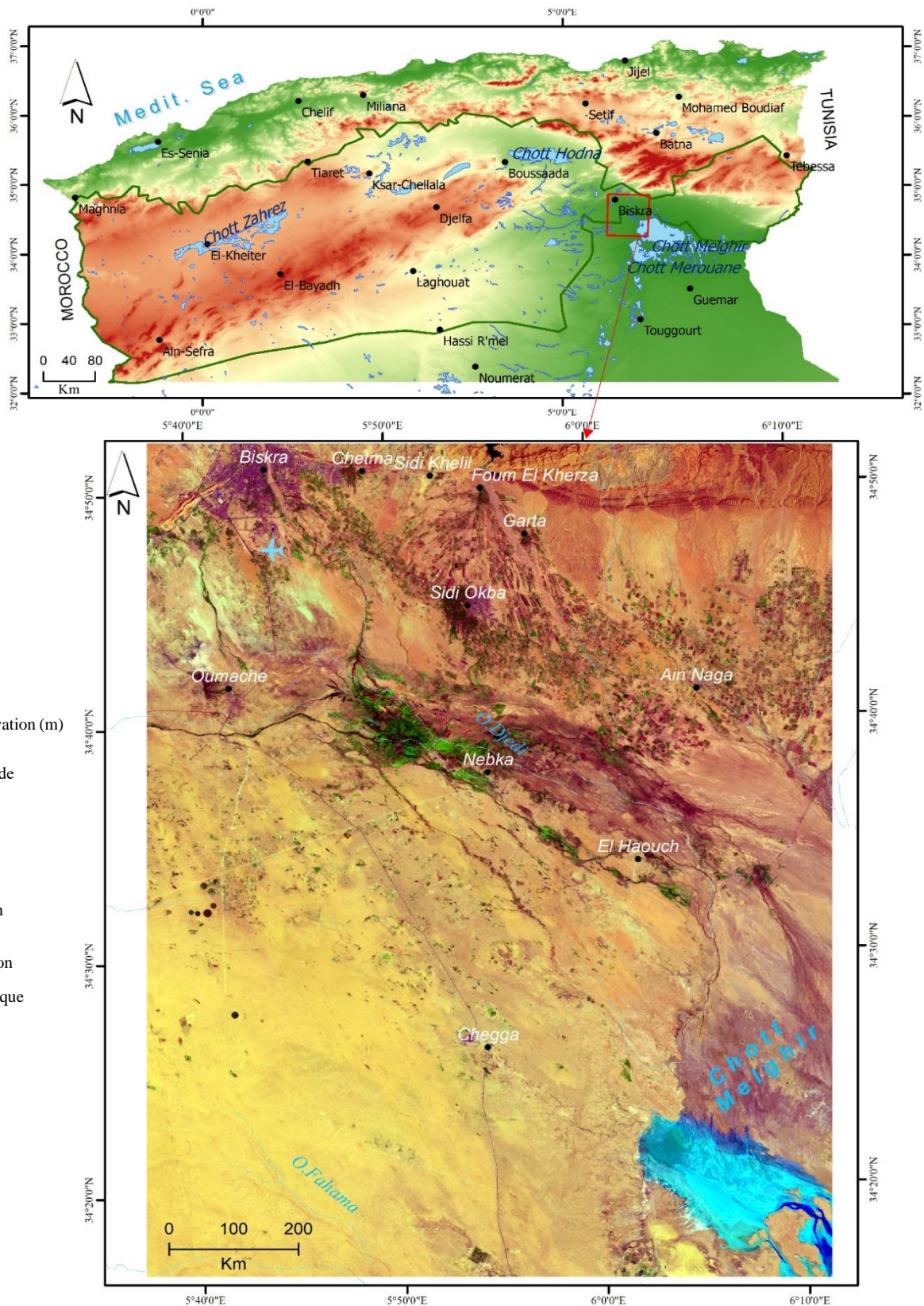


Figure 39 : Localisation de la zone d'étude dans la steppe Algérienne

**2.2. Effet de sécheresse sur la dynamique des végétations des parcours**

Dans les écosystèmes arides et semi-arides, l'abondance et l'étendue de la végétation steppique sont étroitement liées à la quantité et au régime des précipitations (Slimani et Aidoud 2018) ; la gravité de la sécheresse ou de l'humidité peut être évaluée à l'aide de l'indice de précipitation standardisé (SPI), développé par McKee et al. (1993) et décrit par Edwards et McKee (1997) ; le SPI est un indicateur basé sur la probabilité qui décrit le degré auquel les précipitations cumulées pour une période de temps spécifique (par exemple 1, 3, 12 mois) s'écartent de l'état moyen, et ceci, est basé sur les deux paramètres (forme et échelle) de la distribution de probabilité continue connue comme la distribution gamma. Comme recommandé par l'Organisation météorologique mondiale (2012), SPI est largement appliqué dans l'évaluation des séquences de sécheresse dans le monde entier (Vicente-Serrano et al. 2010 ; Guenang et Mkankam Kanga 2014 ; Awchi el al. 2017 ; Safaei et al. 2018).

Les valeurs SPI pour les courtes périodes d'accumulation (1-3 mois), peuvent indiquer des impacts immédiats tels que la réduction de l'humidité du sol, tandis que SPI-6 à SPI-12 (périodes d'accumulation moyennes) peuvent indiquer une réduction du débit des cours d'eau ; pour les périodes à long terme, SPI-12 à SPI-48 est souvent utilisé pour étudier les réservoirs et la recharge des eaux souterraines. La sécheresse ou l'humidité sont déterminées selon les gammes de valeurs SPI (tableau 18) ; l'événement de sécheresse se produit quand SPI est continuellement négatif, étant inférieur ou égal à -1.0, et se termine quand les valeurs SPI deviennent positives (McKee et al. 1993) ; en outre, l'ampleur de la sécheresse (DM) peut être définie comme la somme positive des valeurs SPI pour chaque mois pendant l'événement de sécheresse (Hayes 2007), et ceci selon l'équation suivante :

$$DM = -(\sum_{j=1}^t SPI_{i,j}) \tag{9}$$

**Tableau 18 :** Classification de la sécheresse/humidité de l'année en fonction des valeurs SPI

SPI	Classe Humidité/Sècheresse
≥ 2.00	Extrêmement humide
1.99 à 1.50	Sévèrement humide
1.49 à 1.00	Modérément humide
0.99 à 0.00	Légèrement humide
-0.99 à 0.00	Légèrement sèche
-1.00 à -1.49	Modérément sèche
-1.50 à -1.99	Sévèrement sèche
≤ -2.00	Extrêmement sèche

Dans cette étude, nous avons calculé le SPI sur la base des enregistrements des précipitations mensuelles durant la période 1987-2019, correspondant à la période de couverture des images satellitaires.

Sous le logiciel R, et en utilisant le paquetage Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI (version 1.7, date 2017-06-07) de Beguería et Vicente-Serrano (2017), nous avons dénombré SPI-3 et SPI-12, correspondant aux Indices de Précipitation Standardisés pour des périodes cumulatives de 3 et 12 mois respectivement. Sur cette base, nous définissons et analysons la durée, la sévérité et l'ampleur des périodes de sécheresse/humidité, et ce en utilisant les valeurs SPI-12, puisque les parcours steppiques de Biskra sont composés d'espèces végétales hautement adaptées à l'occurrence de la sécheresse, et peuvent survivre pendant de longues périodes.

En correspondance avec les périodes de sécheresse/humidité et la disponibilité des données, nous avons sélectionné les quatre images Landsat pour analyser la relation entre l'abondance des précipitations et l'étendue de la végétation steppique : 1) 1987 comme date initiale (de référence) pour le suivi à long terme, 2) 1996 qui a été précédée par une période d'humidité prolongée, 3) 2002, qui a été précédée par une période de sécheresse prolongée et, 4) 2019 comme année de suivi final.

### **2.3. Images satellite en série temporelle**

Le suivi à long terme de la dynamique des parcours dans les régions du sud-Biskra a nécessité d'une acquisition d'images satellites multi-temporelles. Dans cette étude, nous utilisons quatre images Landsat de moyenne résolution (30m) : 3 images Landsat 5 Thematic Mapper (TM) datées d'avril 1987, avril 1996 et février 2002, et 1 image Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) datée d'avril 2019. Le choix de ces images est lié à plusieurs raisons :

- 1) La disponibilité des données.
  - 2) La résolution moyenne des images satellites permettant une analyse à une échelle modérée.
  - 3) L'effet de la saison ; puisque le mois d'avril est marqué par le maximum de précipitations, la couverture végétale steppique pourrait être à son maximum permettant une meilleure discrimination et extraction.
  - 4) L'humidité/la sécheresse de l'année correspondant à la date d'acquisition de l'image Landsat.
- Les images sont disponibles gratuitement auprès du United States Geological Survey ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)) et sont géolocalisées dans le centre de la scène path/row 194/36 ; elles sont également de haute qualité puisqu'elles présentent une distorsion atmosphérique minimale (0% de couverture nuageuse). Le prétraitement a inclus la calibration en surface de réflectance et la correction atmosphérique en utilisant le modèle Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hyper cubes (FLAASH), afin d'éliminer les éventuelles perturbations atmosphériques.

#### **2.4. Modified Soil Adjusted Index MSAVI pour l'extraction de la couverture végétale des parcours**

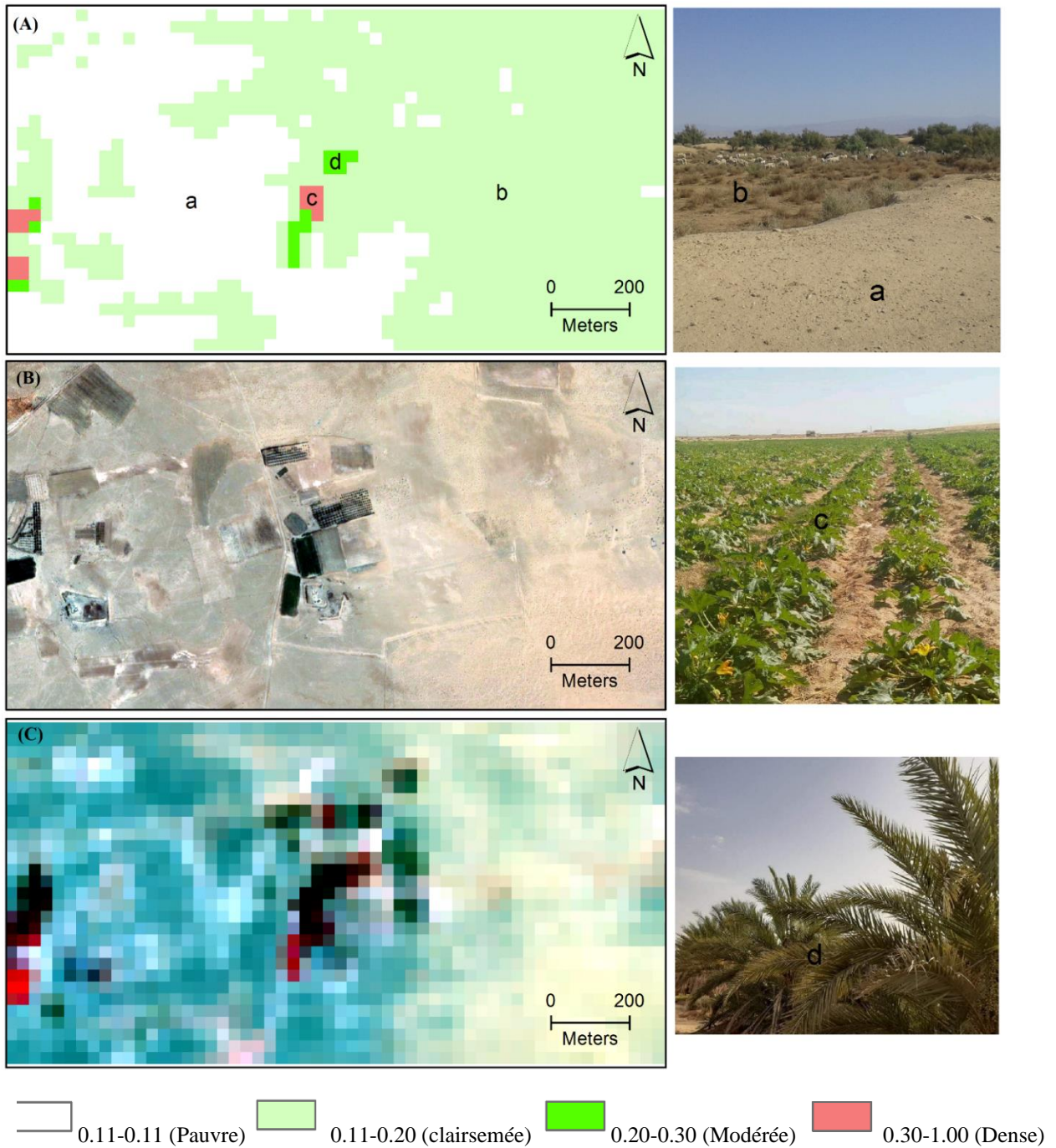
Dans cette recherche, nous avons utilisé le MSAVI (Modified Soil Adjusted Index) développé par Qi et al. (1994), pour extraire et surveiller spatio-temporellement la dynamique de la végétation des parcours, cet indice est largement utilisé dans différentes régions du monde (Liu et al. 2005 ; Chen et Gillieson 2009 ; Al-lami et al. 2021 ; Vermeulen et al. 2021). Selon Al-Quraishi et al. (2021), le MSAVI est considéré comme un indice de végétation fiable, qui peut être utilisé efficacement pour explorer la vitalité et l'existence de la couverture végétale dans les régions arides, en raison de ses capacités à détecter la couverture végétale clairsemée et à annuler les bruits provenant des zones non végétalisées, il peut être calculé comme suit :

$$MSAVI = \frac{2NIR+1-\sqrt{(2NIR+1)^2-8(NIR-RED)}}{2} \quad (10)$$

RED correspond à la bande 3 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) pour Landsat 5 TM et à la bande 4 (0,64-0,67  $\mu\text{m}$ ) pour Landsat 8 OLI, tandis que NIR est la bande du proche infrarouge correspondant à la bande 4 (0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ) dans Landsat 5 et à la bande 5 (0,85-0,88  $\mu\text{m}$ ) pour Landsat 8.

Comme l'étude s'intéresse à la dégradation de la végétation des parcours, les valeurs négatives de MSAVI (surfaces d'eau en général) et les valeurs positives faibles (bâti) ne sont pas prises en compte dans l'évaluation et la cartographie de la couverture du sol. La vérification sur le terrain (Fig. 40) et la visualisation de l'imagerie haute résolution de Google Earth nous ont permis de déterminer différentes gammes de MSAVI en fonction du type et de la densité de la végétation comme suit : 1) Pauvre (0,00-0,11), clairsemé (0,11-0,20), modéré (0,20-0,30) et dense ( $\geq 0,30$ ) ; par conséquent, la reclassification des cartes matricielles MSAVI dérivées en utilisant ces seuils, a permis l'extraction et la délimitation de tous les types de couverture végétale (cartes d'occupation du sol) pour les années 1987, 1996, 2002 et 2019 ; cette classification dépend du type et de la densité de la végétation, et comprend : 1) une végétation nulle/pauvre (sols nus ou plantes éphémères), 2) une végétation clairsemée (couverture des parcours), 3) une végétation modérée (anciennes oasis de palmiers dattiers dégradées, nouvelles plantations de palmiers dattiers et terres cultivées) et 4) une végétation dense (oasis de palmiers dattiers sains et quelques terres cultivées).





**Figure 40 :** Validation sur le terrain des classes d'occupation du sol en fonction des plages MSAVI, Classes de la couverture du sol en fonction de la densité de la végétation, les annotations correspondent aux photos prises au sud d'El-Haouch (A), image à haute résolution par Google Earth (2019) (B), image à moyenne résolution (Landsat OLI, 2019) (C)

### 3. Résultats

#### 3.1. Types et distribution de la couverture végétale

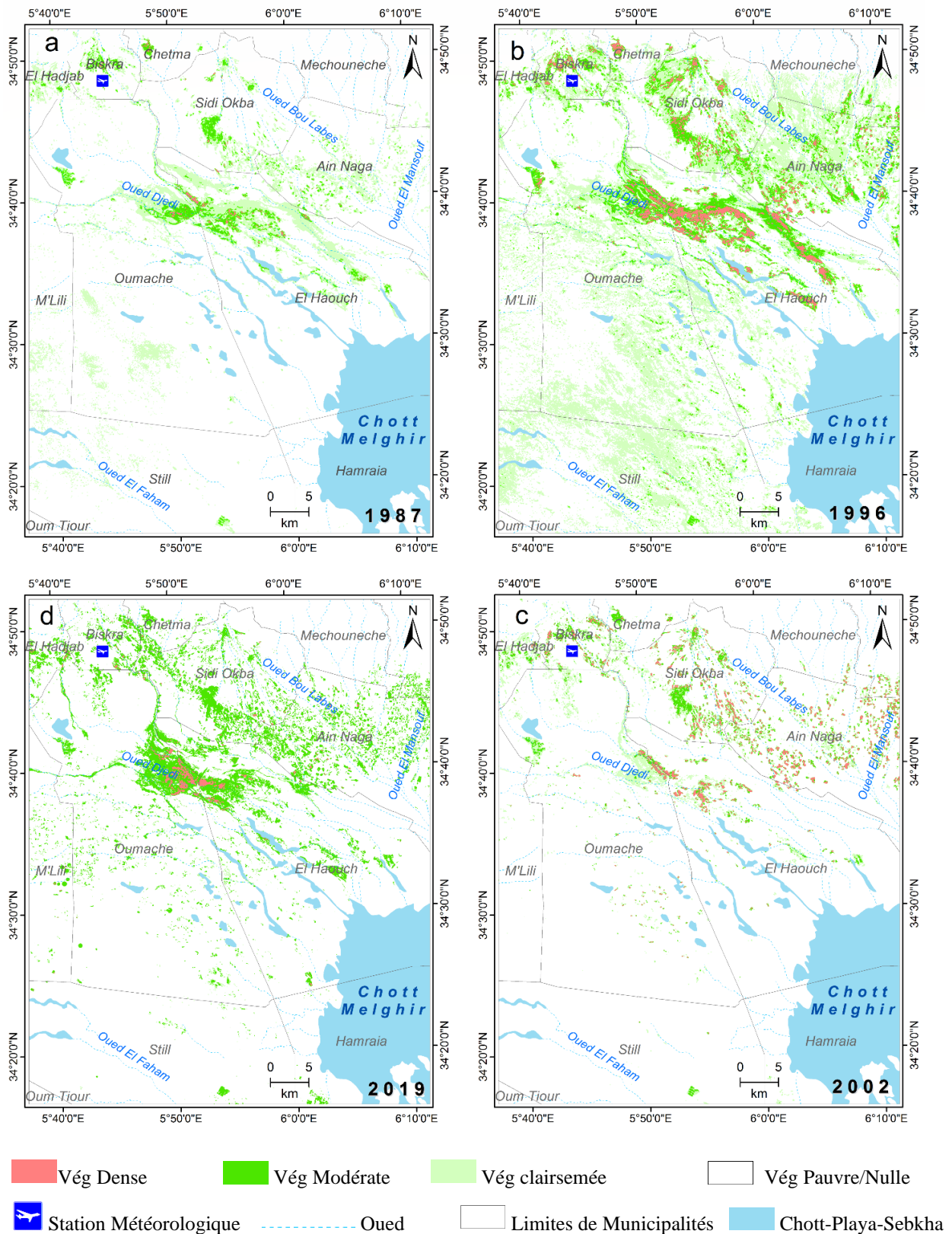
Sur la base des cartes MSAVI liées aux images Landsat 5 (1987, 1996 et 2002) et Landsat 8 (2019) et des enquêtes de terrain, quatre classes principales de végétations sont dérivées, déterminées et cartographiées (tableau 19, Fig. 41).

Les sols nus et les zones de végétation peu couvertes occupent environ 93 % de la surface totale (320,540 ha), ces classes correspondent à la couverture de sable et aux sols salés qui se trouvent principalement au sud du cours d'eau Oued Djedi (municipalités de M'lili, Oumache, El Haouch, Still et Hamraia), correspondant à de grands terrains plats avec des pentes diminuant progressivement vers Chott Melghir au Sud-Est.

La végétation clairsemée couvre 19,936 ha et correspond généralement aux zones de parcours qui sont distribuées sur toute la zone d'étude, en particulier dans les régions du Nord-Ouest et du Sud comme Oumache (4,822 ha), El Haouch (7,532 ha) et El Hadjab (725 ha). Les parcours du Sud-Biskra sont composés de plantes steppiques avec la dominance de deux types principaux : 1) les halophytes (*Atriplex halimus* L, *Tamarix gallica* L, *Astragalus armatus* Willd, *Suaeda vermiculata* Forssk, *Peganum harmala* L), occupant principalement les sols salés près de la dépression de Chott Melghir ; et 2) les psammophytes (*Thymelaea microphylla* Coss, *Retama retam* Forssk), présents au Sud d'Oumache. La combinaison des classes de végétation pauvre et clairsemée constitue le domaine steppique des parcours arides de Biskra, qui occupe plus de 95 % de la zone d'étude. La végétation modérée et dense occupe des surfaces moins importantes (respectivement 3,750 et 266 ha), ces classes correspondent aux anciennes oasis de palmiers dattiers à proximité des principales agglomérations telles que Biskra, Sidi Okba et Chetma), et à proximité du cours principal de l'Oued Djedi et de ses affluents en raison de l'abondance des ressources en eau de surface. Ces classes pourraient correspondre à des terres de grandes cultures telles que les légumes et les céréales, cultivées sur les sols fertiles du nord (Sidi Okba, Ain Naga, Nord d'El Haouch et Sud de Mechouneche) (Fig. 41d).

**Tableau 19 :** Types et superficies de couverture végétale multi-temporels basés sur les valeurs MSAVI

MSAVI intervalle	Végétation densité ; type	1987		1996		2002		2019	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
0.00–0.11	Nulle/Pauvre; sol nu	320,523	93	268,528	78	328,438	95.3	315,596	91.6
0.11–0.20	Clairsemée; Parcours	19,939	5.8	57,665	16.7	10,348	3	3,605	1
0.20–0.30	Modérée; Surface Agricole (globalement)	3,754	1.1	14,141	4.1	3,542	1	24,410	7.1
≥ 0.30	Dense; Palmier Dattier (globalement)	268	0.1	4,132	1.2	2,147	0.6	858	0.2
		344,474	100	344,474	100	344,474	100	344,474	100



**Figure 41 :** Cartes de la couverture du sol de la région du sud de Biskra montrant la distribution spatiale de toutes les classes de végétation en 1987 ; a, 1996 ; b, 2002 ; c et 2019 ;

d

### **3.2. Détecter le changement spatio-temporel de la couverture végétale**

La matrice de transition des changements de la couverture du sol pour les cartes MSAVI classées, des images 1987-1996, 1996-2002, 2002-2019 a montré la dynamique de la végétation sur 33 ans. Ce suivi nous permet d'identifier le changement des types de végétation en utilisant un processus "De jusqu'à". Ceci est utilisé pour estimer les surfaces et les pourcentages de la zone modifiée (augmentation/diminution) et la différence de surface bi-temporelle pour chaque classe de type de végétation (Fig. 42).

#### **3.2.1. De 1987 jusqu'à 1996**

Tous les types de couverture du sol ont subi des changements importants au cours de cette décennie. En 1987, les surfaces de sol nu sont estimées à environ 320,523 ha. Cette classe a considérablement diminué, passant de 268,528 ha en 1996 à 51 995 ha (16 %). Dans le même temps, 82% (263,350 ha) des sols nus sont restés stables), et 15% (49,658 ha) se sont transformés en zones de parcours. Les surfaces occupées par les parcours ont augmenté de manière significative, passant de 19,939 à 57,665 ha, ce qui correspond à une augmentation de 37,726 ha (189 %) (tableau 20). La végétation dense (principalement, mais pas nécessairement, les terres cultivées et les palmiers dattiers) a également augmenté, passant de 3,754 et 268 ha à 14,141 et 4,132 ha respectivement. Comme mentionné ci-dessus et concernant la figure 42a, les surfaces de végétation de parcours ont augmenté dans toute la zone d'étude, en particulier dans le sud de l'Oued Djedi, correspondant aux régions pastorales, comme la municipalité de Sidi Okba (de 1,523 à 5,813 ha), Oumache (4,822 à 15,952 ha), Ain Naga (3,052 à 10,472 ha) et Still (706 à 9,272 ha).

**Tableau 20 :** Les statistiques bi-dates de détection des changements de tous les types de végétation dans le sud de Biskra de 1987 à 2019

<b>1987–1996</b>										
	Sol nu		Parcours		Surface Agricole		Palmier Dattier		Total final	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Sol nu	263,350	82	4,979	25	188	5	9	3	268,528	100
Parcours	49,658	15	7,405	37	566	15	36	13	57,665	100
Surface Agricole	6,405	2	5,800	29	1,847	49	90	34	14,141	100
Palmier Dattier	1,089	0	1,756	9	1,153	31	134	50	4,132	100
Initial total	320,523	100	19,939	100	3,754	100	268	100	0	0
Surfaces changées	57,173	18	12,534	63	1,907	51	134	50	0	0
Différence	-51,995	-16	37,726	189	10,387	277	3,864	1442	0	0
<b>1996–2002</b>										
Sol nu	265,020	99	52,142	90	8,843	63	2,414	58	328,438	100
Parcours	2,426	1	3,973	7	3,247	23	701	17	10,348	100
Surface Agricole	572	0	880	2	1,449	10	640	15	3,542	100
Palmier Dattier	498	0	670	1	602	4	376	9	2,147	100
Initial total	268,528	100	57,665	100	14,141	100	4,132	100	0	0
Surfaces changées	3,508	1	53,692	93	12,692	90	3,756	91	0	0
Différence	59,910	22	-47,317	-82	-10,599	-75	-1,985	-48	0	0
<b>2002–2019</b>										
Sol nu	308,550	94	4,391	42	1,406	40	1,242	58	315,596	100
Parcours	2,971	1	452	4	103	3	79	4	3,605	100
Surface Agricole	16,358	5	5,260	51	1,994	56	794	37	24,410	100
Palmier Dattier	543	0	245	2	39	1	32	1	858	100
Initial total	328,438	100	10,348	100	3,542	100	2,147	100	0	0
Surfaces changées	19,888	6	9,896	96	1,548	44	2,115	99	0	0
Différence	-12,842	-4	-6,743	-65	20,868	589	-1,289	-60	0	0
<b>1987–2019</b>										
Sol nu	303,108	95	11,492	58	917	24	77	29	315,596	100
Parcours	2,602	1	883	4	110	3	11	4	3,605	100
Surface Agricole	14,563	5	7,198	36	2,479	66	170	63	24,410	100
Palmier Dattier	234	0	365	2	248	7	11	4	858	100
Initial total	320,523	100	19,939	100	3,754	100	268	100	0	0
Surfaces changées	17,415	5	19,056	96	1,275	34	257	96	0	0
Différence	-4,927	-2	-16,334	-82	20,656	550	590	220	0	0

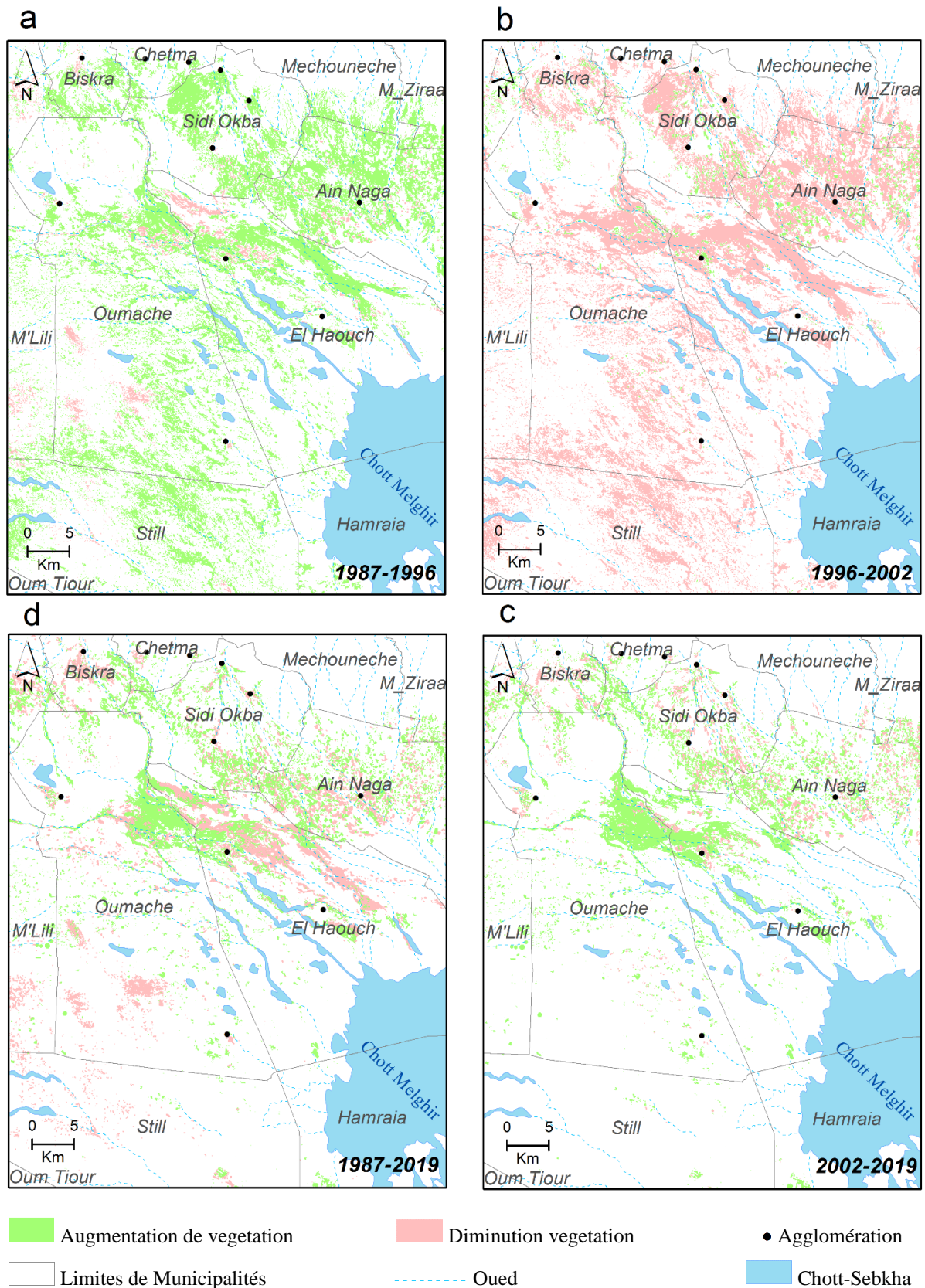
### 3.2.2. De 1996 jusqu'à 2002

Cette période est dominée par deux changements majeurs : la diminution de tous les types de végétation et l'augmentation des surfaces de sol nu (Fig. 42). En 1996, la végétation steppique couvrait environ 57,665 ha. 90 % de cette surface (52,142 ha) s'est transformée en sols nus en

2002, soit un total d'environ 47,317 ha, représentant 82 % de sa surface initiale. La superficie des terres cultivées a également diminué, passant de 14,141 ha (1996) à 3,542 ha (2002), soit une diminution de 75 %, dont 63 % (8,843 ha) ont transformé en sols nus en 2002. Les surfaces initiales de sol nu ont été estimées à 268,528 ha et sont restées inchangées (99 %) (tableau 20). Comme l'illustre la figure 42b, toute la zone d'étude a subi une dégradation sévère et généralisée, où 90 % de la végétation steppique préexistante en 1996 s'est transformée en sol nu en 2002. Les pertes les plus sévères de végétation steppique se sont produites dans les municipalités du sud telles que : Sidi Okba (de 5,813 à 2,019 ha), Oumache (de 15,952 à 2,708 ha), El Haouch (de 8,339 à 1,456 ha) et Ain Naga (de 10,472 à 1,800 ha).

### **3.2.3. De 2002 jusqu'à 2019**

Cette période est essentiellement marquée par la dégradation des parcours de 10,348 à 3,605 ha, où 4,391 ha (42 %) de parcours ont transformé en sol nu et 5,260 ha (51 %) ont transformé en zones de culture (Fig. 42d) ; l'extension des surfaces cultivées est passée de 3,542 à 24,410 ha (Fig. 42c), cette extension étant essentiellement localisée à El Haouch (413 à 5,816 ha), Ain Naga (837 à 4,656 ha) et Oumache (363 à 6,032 ha).



**Figure 42 :** Dynamique de la végétation en bi-date et cartes des types/systèmes spatiaux en augmentation et en diminution au Sud-Biskra durant la période 1987-2019



### **3.3. Le changement climatique**

#### **3.3.1. Variabilité, tendances et ruptures dans les précipitations**

Les précipitations annuelles dans la zone d'étude sont significativement rares avec une moyenne de 152 mm sur 33 ans ; la distribution inter-annuelle a montré une irrégularité temporelle significative avec un écart-type et un coefficient de variation élevés (83 mm et 54 % respectivement). La figure 43, a mis en évidence la variation inter-annuelle des précipitations annuelles ; en considérant les sous-périodes définies par les dates des images Landsat, on peut remarquer que la période 1987-1996 est marquée par une abondance importante de précipitations (204 mm en valeur moyenne annuelle), cette décennie est caractérisée par une succession d'années très pluvieuses et exceptionnellement humides : 1995 (286 mm), 1994 (343 mm) et 1993 (297 mm). L'année 1996 a précédée par une succession de mois pluvieux continus : Janvier (61 mm), Février (23 mm) et Mars (56 mm), tandis que pendant la période (1996 - 2002) ; la moyenne des précipitations n'a pas dépassé 100 mm au total. Au cours de la période 2002-2019, les quantités de précipitations annuelles ont montré une irrégularité temporelle significative avec une moyenne de 140mm et une quantité minimale de 49mm enregistrée en 2017, qui est la quantité la plus faible de toute la période (1987-2019), et une quantité maximale significative de 304 mm enregistrée en 2004.

Les séries de précipitations de différents périodes d'études considérées, indiquent clairement une tendance générale à la régression dans les quantités annuelles de précipitations (tableau 21). Pour déterminer s'il existe une tendance significative dans les séries de précipitations étudiées, un test de Mann- Kendall a été effectué. Les séries de précipitations de la période (1987-1996), montre une tendance croissante ( $\tau_b = 0.556$ ), statistiquement significative  $p = 0.045 (< 0.05)$ , contrairement aux autres périodes des séries de précipitations qui sont caractérisé par une tendance décroissante, les résultats obtenus par le test de Mann- Kendall ( $\tau_b = -0.800$ ,  $p = 0.083$ ), ( $\tau_b = -0.200$ ,  $p = 0.306$ ) et ( $\tau_b = -0.194$ ,  $p = 0.124$ ), respectivement pour les périodes 1996-2002 ; 2002-2019 et 1987-2019, ont montré que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification de seuil alpha.

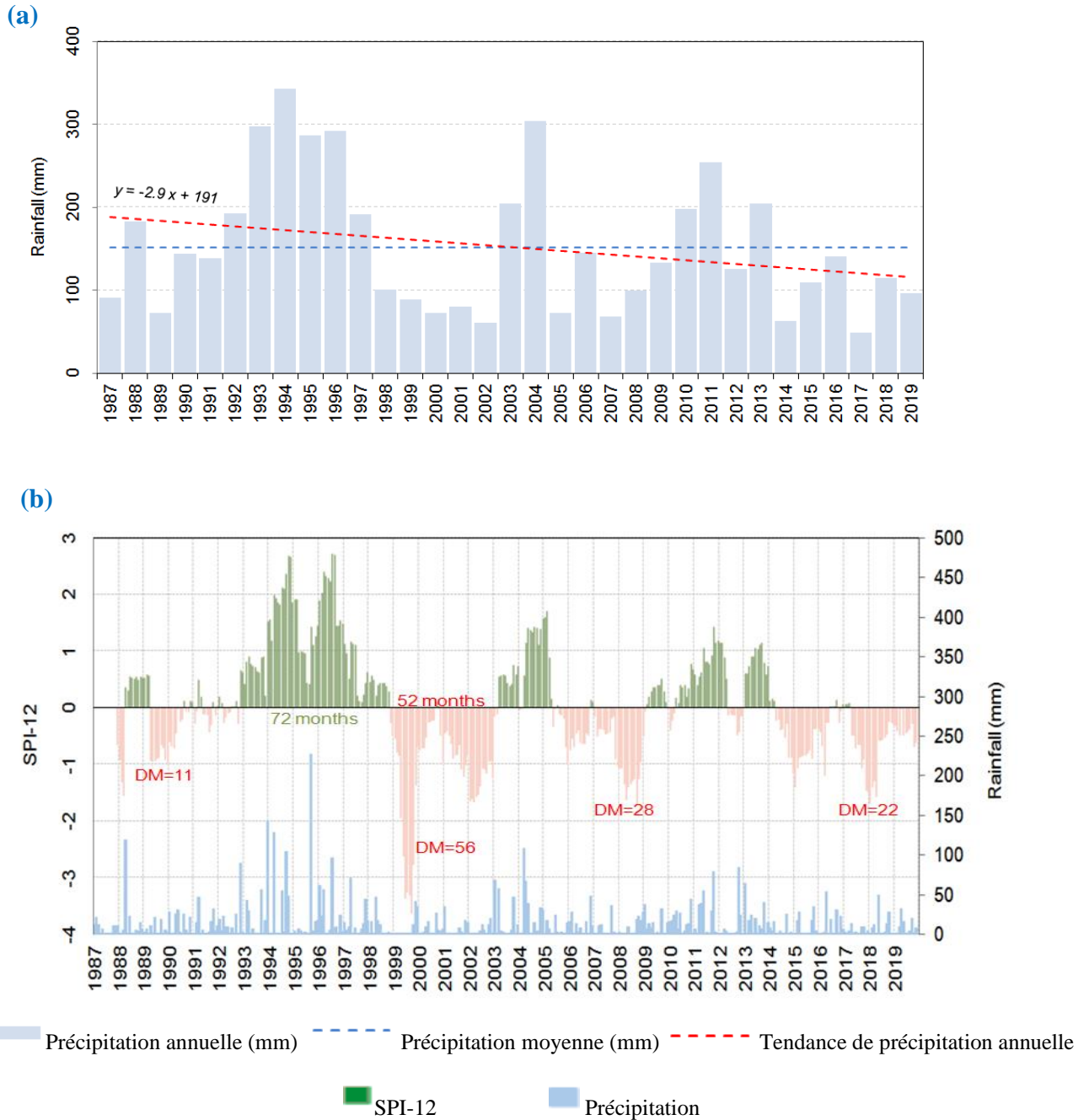


Figure 43 : Variation temporelle des précipitations (a) et SPI-12 (b), station de Biskra (1987-2019)

**Tableau 21** : La tendance de test de Mann-Kendall pour les précipitations annuelles

Périodes	Taux de Mann-Kendall	Signification	Nombres d'années	Tendance
1987-1996	0.556	0.045**	10	Augmentation
1996-2002	-0.800	0.083	6	Diminution
2002-2019	-0.200	0.306	17	Diminution
1987-2019	-0.194	0.124	33	Diminution

Note : \*\*: La corrélation est significative au niveau 0.05

### 3.3.2. Occurrence, sévérité et magnitude des séquences de sécheresse et d'humidité

Le Tableau 22 résume et caractérise toutes les séquences continues de sécheresse et d'humidité, survenues dans la région de Biskra pendant la période 1987-2019. La période 11/1992 à 10/1998 représente l'événement humide le plus important qui s'est produit dans la région pendant toute la période ; les valeurs de SPI sont comprises entre 0.09 (légèrement humide) et 2.71 (extrêmement humide) avec une valeur moyenne élevée de SPI (1.18), une durée d'environ 72 mois (6 ans) et une magnitude exceptionnelle (85). Différemment, les périodes sèches comprennent trois séquences majeures et très influentes : 1) l'épisode de sécheresse du 11/1998 au 02/2003 ; 2) du 05/2005 au 01/2009, et 3) du 04/2017 au 12/2019. Parmi celles-ci, l'événement du 11/1998 au 02/2003 peut être décrit comme l'événement de sécheresse le plus important jamais enregistré dans la région pendant toute la période d'étude, puisque la durée totale est considérablement longue (52 mois), l'indice SPI va de -3.63 (extrêmement sec) à -0.11 (légèrement sec) avec une valeur moyenne de -1.15, et la magnitude de la sécheresse est de 56. En outre, la période de 05/2005 à 01/2009 a la deuxième plus longue séquence de sécheresse (45 mois), les valeurs moyennes de SPI sont très basses, allant de -1.70 à -0.10 (-0.62 en moyenne) et la magnitude de la sécheresse est d'environ 28. En outre, la période 04/2017-12/2019 a également est marquée par une sécheresse longue (33 mois), sévère (-0.68 comme SPI moyen) et ample (Magnitude de la sécheresse DM=22).

Globalement, la période 1987-2019 englobe 8 périodes humides, avec une précipitation mensuelle moyenne de 14.6 mm/mois, une durée totale de 168 mois (43% du temps). A l'opposé, 9 séquences de sécheresse ont enregistré, avec une durée plus longue (204 mois), une fréquence plus élevée (51.5%) et une plus grande sévérité puisque le SPI atteint des valeurs très basses (-3.63), ce qui confirme la dominance du caractère sec de la région. Nous pouvons également noter qu'indépendamment de la durée, de la sévérité et de la magnitude, les événements de sécheresse et d'humidité se sont produits alternativement (figure 43b), ce caractère reflète le régime très irrégulier des précipitations, qui peut affecter l'extension et la diversité des parcours steppiques.

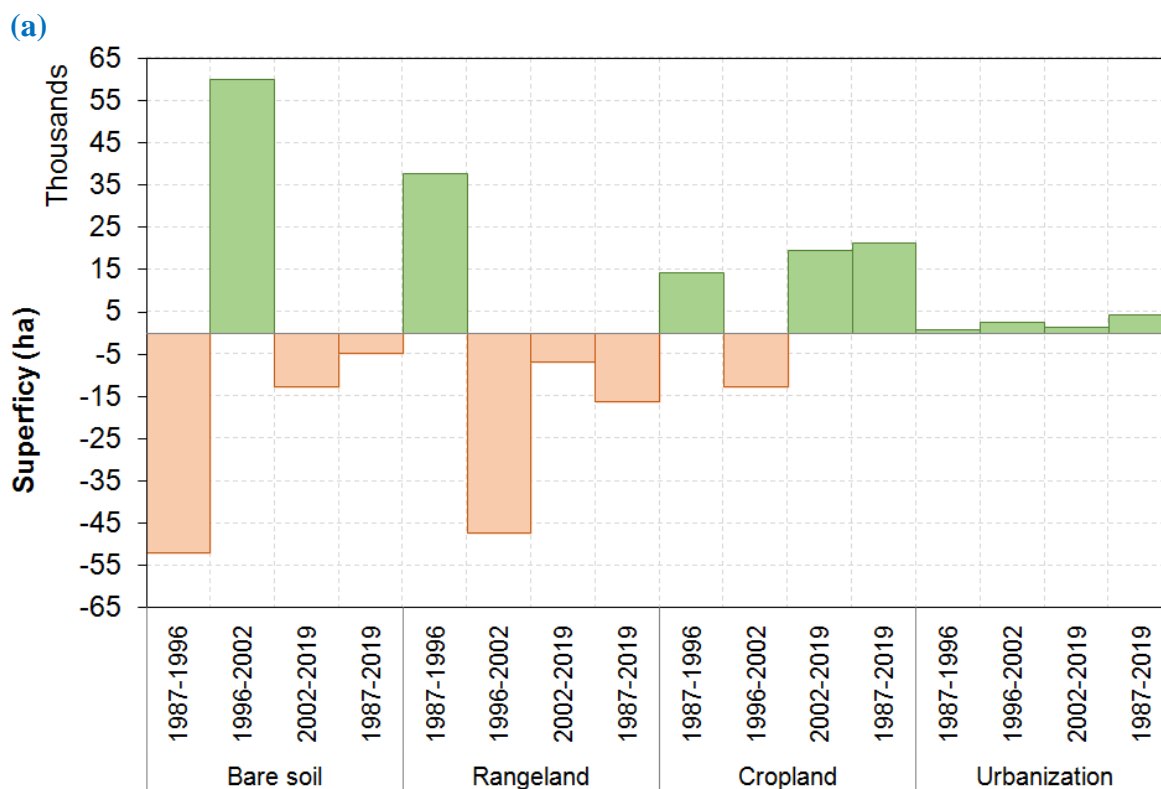
**Tableau 22 :** Détermination et caractérisation des séquences continues de sécheresse et d'humidité dans la région de Biskra pendant la période 1987-2019, les séquences hétérogènes avec une courte alternance de sécheresse et d'humidité n'ont pas été considérées

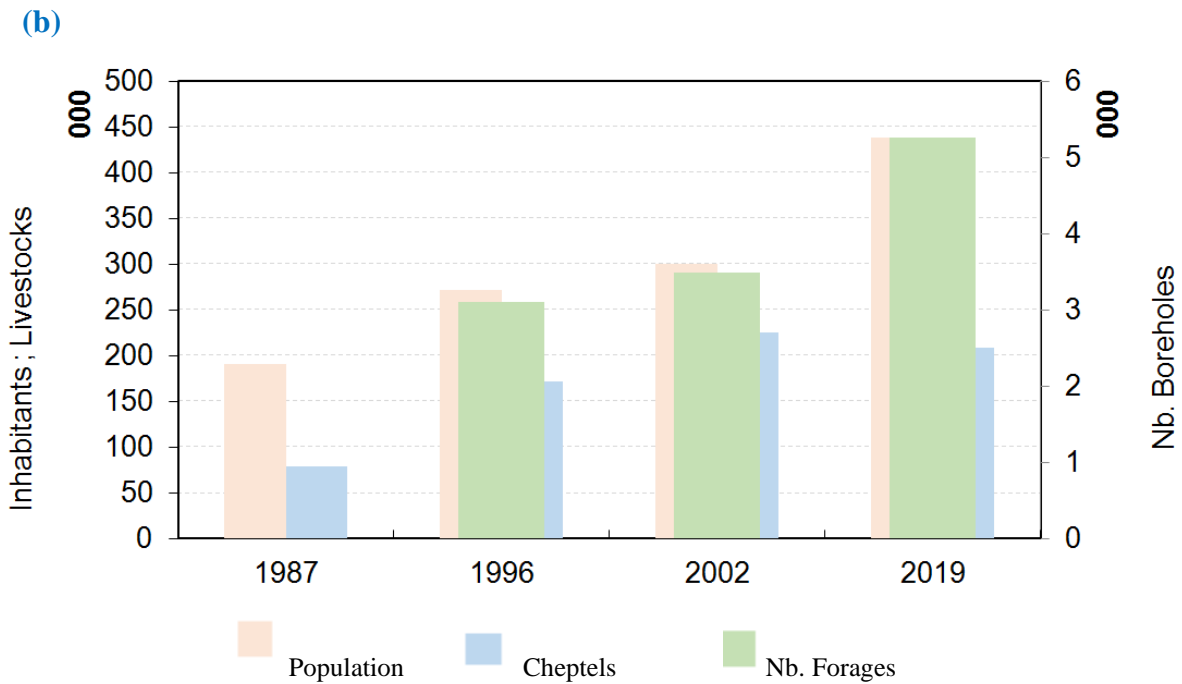
Périodes (Par chronologie)	Classes	Moyenne Precip. (mm/mois)	Gamme SPI-12	Average Severity	Durée		Magnitude	Landsat date image
					Mois	%		
01/1987–03/1988	Sécheresse	6.5	(-1.55) to (-0.65)	-1.11	15	4	4.4	Avril 1987
04/1988–03/1989	Humidité	15.5	(0.30) to (0.59)	+0.50	12	3	6.1	
04/1989–10/1990	Sécheresse	9.7	(-0.97) to (-0.01)	-0.36	19	5	10.8	
11/1992–10/1998	Humidité	22.3	(0.09) to (2.71)	+1.18	72	18	84.6	Avril 1996
11/1998–02/2003	Sécheresse	7.2	(-3.63) to (-0.11)	-1.15	52	13	56.2	Février 2002
03/2003–04/2005	Humidité	17.8	(0.00) to (1.70)	+0.89	26	7	22.7	
05/2005–01/2009	Sécheresse	8.9	(-1.70) to (-0.10)	-0.62	45	11	28.1	
02/2009–11/2009	Humidité	8.0	(0.06) to (0.51)	+0.29	10	3	2.95	
12/2009–03/2010	Sécheresse	18.1	(-0.39) to (-0.04)	-0.18	4	1	0.7	
04/2010–04/2012	Humidité	16.3	(0.08) to (1.43)	+0.69	25	6	17.3	
05/2012–12/2012	Sécheresse	14.2	(-0.48) to (-0.11)	-0.21	8	2	1.7	
01/2013–03/2014	Humidité	15.5	(0.11) to (1.14)	+0.70	15	4	10.6	
04/2014–05/2016	Sécheresse	7.8	(-1.40) to (-0.20)	-0.66	26	7	17.1	
06/2016–09/2016	Humidité	12.8	(0.00) to (0.14)	+0.04	4	1	0.16	
10/2016–11/2016	Sécheresse	10.5	(-0.26) to (-0.04)	-0.15	2	0.5	0.31	
12/2016–03/2017	Humidité	9	(0.05) to (0.08)	+0.07	4	1	0.26	
04/2017–12/2019	Sécheresse	7.7	(-1.67) to (-0.02)	-0.68	33	8	22.3	Avril 2019
Période d'étude 1987–2019	Humidité	14.6	(0.00) to (2.70)	/	168	43.0	/	
Période d'étude 1987–2019	Sécheresse	10.0	(-3.63) to (-0.01)	/	204	51.5	/	

### 3.4. Facteurs socio-économiques influençant à la dégradation des parcours

En 33 ans (1987-2019), la population de la zone d'étude a triplé ; elle est passée de 190,289 (1987) à 438,354 habitants (2019) ; comprenant des régions agricoles comme Sidi Okba (de 17,002 à 43,690 habitants) et Ain Naga (de 7,941 à 15,688), et des régions pastorales comme El-Haouch (de 4,755 à 6,928) et Oumache (de 9,072 à 13,659). En conséquence, la densité de population dans ces municipalités a augmenté pour devenir 172, 31, 9 et 17 habitants/km<sup>2</sup> respectivement. Cette augmentation peut être considérée comme une transition dans le comportement démographique de la population qui nécessite une augmentation des conditions socio-économiques qui ont réactivé l'amplification des activités agricoles et pastorales (Fig. 44a).

La figure 44b, montre la superficie absolue et relative des principales catégories de couverture terrestre et leur évolution dans la zone d'étude au cours de la période (1987-2019). Les zones agricoles et urbaines ont connu une augmentation nette au fil du temps. Les zones urbaines sont passées de 2,817 ha en 1987 à 7,226 ha en 2019 et la surface agricole de 3,754 à 24,410 ha. Ceci est cohérent avec l'analyse spatio-temporelle, et l'augmentation de cette dernière a provoqué une surexploitation des eaux souterraines causée par l'augmentation du nombre de forages de 235 à 5,259. Alors que la surface des terres de parcours a connu une diminution nette (19,939 à 3,605 ha), les sols nus pendant cette période ont augmenté de 320,523 à 315,596 ha.





**Figure 44 :** Types d'utilisation des terres dans la zone d'étude de 1987 à 2019 (a), évolution de la population, du cheptel et des forages dans la région de Biskra de 1987 à 2019 (b)

#### 4. Discussion

Les parcours sont essentiellement occupés par une végétation clairsemée composée essentiellement d'halophytes et de psammophytes. De même, les travaux de Nadjraoui (2004) confirment que ces groupements végétaux dominent les parcours en milieu aride, alors que Macheroum et al. (2021) rapportent que la dominance de ces groupements végétaux n'est qu'un indicateur de parcours steppiques dégradés. L'existence et la distribution spatiale de ces plantes steppiques sont liées aux facteurs climatiques (précipitations inférieures à 300 mm) et au type de sol puisque les parties sud de Biskra sont principalement composées de grandes zones sableuses et de sols salés (Bradai et al. 2015 ; Adi et al. 2016 ; Boudjabi et Chenchouni 2022).

Nos résultats montrent une relation forte entre la dynamique spatio-temporelle des parcours et les caractéristiques climatiques telles que la précipitation et la sécheresse, où l'augmentation ou la diminution de la superficie des parcours est principalement liée à l'abondance de précipitation et à l'occurrence, la durée, la sévérité et la magnitude des événements de sécheresse/humidité. Le gain de 37,726 ha dans la superficie des pâturages en 1996 est étroitement lié aux conditions climatiques, l'année 1996 appartient à l'événement humide le plus important jamais observé dans la région pendant la période entière d'étude, ceci se manifeste sur sa longue durée (72 mois), la sévérité élevée (1.18) et la magnitude élevée (85). Pendant cet événement humide

(11/1992-10/1998), les précipitations mensuelles moyennes étaient d'environ 22.3 mm/mois, l'abondance et la continuité temporelle des précipitations ont été le principal facteur d'extension des parcours pendant cette période. En 2002, la perte dans la surface de parcours (-47,317 ha) est principalement due au fait que le 2002 appartient à la séquence de sécheresse exceptionnelle 11/1998-02/2003, qui a été marquée par la longue durée (52 mois), la sévérité élevée de sécheresse (-1.15), et plus sur sa magnitude élevée de sécheresse (56) ; le déficit pluviométrique et la sécheresse forte prolongée ont mené à la dégradation significative dans la surface de parcours. L'année 2019 a également été marquée par la perte de la superficie des parcours (-6,743 ha), en raison de l'occurrence du fort événement de sécheresse 04/2017-12/2019 qui a duré 33 mois. En plus de l'abondance des précipitations, la distribution temporelle a été un facteur important dans l'expansion des parcours. Des études antérieures ont montré que la quantité et le moment des précipitations affectent la production et la croissance des plantes du désert (Nafus et al. 2017 ; Lee et al. 2021) et que les changements dans les précipitations peuvent modifier la composition en espèces de la communauté végétale et les fonctions de l'écosystème (Hu et al. 2022). En outre, Snaibi et al. (2021) affirment que la diminution des précipitations combinée à des températures estivales élevées a des répercussions sur la couverture végétale et la disponibilité des ressources en eau.

Les analyses spatiales et temporelles et les données statistiques ont montré des changements importants dans ses différentes composantes, les parcours et les zones agricoles étant confrontés aux taux de changement les plus élevés. L'augmentation des terres agricoles peut être causée par les réformes de la politique agricole et en particulier la mise en valeur des terres en milieu aride, comme la loi sur "l'accès à la propriété des terres agricoles" en 1983, les concessions agricoles lancées après 1997 et le "Programme national de développement agricole" ou PNDA annoncé en 2000. A travers cette politique, les pouvoirs publics donnent accès à trois ressources : l'eau, la terre et le financement (Hamammouche et al. 2015). Ces instruments politiques encouragent l'appropriation des terres, mais provoquent également une fermeture systématique des zones steppiques (Amrouni et al. 2021). Les changements d'accès conduisent souvent à une surutilisation et menacent à long terme la sécurité de l'eau (Daoudi et al. 2021). L'extension des terres agricoles s'est faite au détriment des parcours (Demnati et al. 2017).

La pression démographique a conduit à l'augmentation des besoins socio-économiques qui ont nécessité l'amplification des activités agricoles et pastorales. Dans ce contexte Mahyou et al. (2010), dénote que la croissance démographique semble être l'une des principales causes de

dégradation des parcours marocains en raison d'un changement des modes de consommation et d'une forte demande de produits issus des zones pastorales. Le surpâturage est la principale cause de la dégradation des parcours et de la désertification (Le Houérou 1996 ; Middleton 2018), il peut influencer les services écosystémiques des parcours ainsi que la quantité et la qualité de l'habitat de la faune, ce qui entraîne des changements dans la biodiversité (Dettenmaier et al. 2017). La dégradation des paysages est un processus interactif impliquant de multiples facteurs, parmi lesquels le climat, l'utilisation des terres et la pression démographique jouent un rôle clé (Salvati 2018). Le changement d'utilisation des terres est le résultat d'interactions complexes entre des facteurs socio-économiques, démographiques et environnementaux. Le changement climatique a également un impact sur les paysages désertiques (Azzouzi et al. 2017). Des travaux antérieurs de Benslimane et al. (2008), montrent que 74.81% des parcours steppiques en Algérie sont au seuil de la désertification. La dégradation des steppes est causée à la fois par l'activité humaine et le changement climatique (Salemkour et al. 2016 ; Hirche et al. 2011). Le paysage de la steppe algérienne continue de subir des dégradations et la désertification est en cours et le seuil d'irréversibilité semble être imminent. L'expansion des zones urbaines et la désertification dans la zone d'étude sont des moteurs du changement du paysage rural et peuvent avoir un impact sur les espaces verts déjà limités dans le monde, influençant les services écosystémiques et pour la biodiversité (Men Chan et Thuy Vu 2017 ; Cheng et al. 2019).

## **5. Conclusion**

L'évaluation sur le terrain et l'analyse par télédétection dans la région de Biskra ont montré des changements importants dans le paysage des écosystèmes steppiques. Les résultats au cours de la période de 33 ans ont montré une extension des terres agricoles, le surpâturage, le changement climatique, la pression démographique et la diminution des parcours. Cette étude conclut que ces changements socio-économiques et environnementaux ont entraîné une augmentation de la sensibilité et donc de la vulnérabilité des parcours en milieu aride avec un risque de se transformer au fil du temps en paysage désertique. Nos résultats suggèrent que les capacités institutionnelles doivent assurer la mise en œuvre de programmes assurant une gestion rationnelle et un développement durable de l'écosystème steppique.



***CONCLUSION***

***GENERALE***

## Conclusion générale

En Algérie le parcours présahariens constitue un écosystème aride caractérisé par des ressources limitées en sol, en eau et en végétation, ce qui le rend très sensible à la dégradation. Afin d'établir les stratégies adéquates pour assurer le maintien et le développement durable de ce vulnérable écosystème contre les problèmes environnemental et socio-économique, il est nécessaire d'appliquer les outils de la phytoécologie et la géomatique pour mieux comprendre les facteurs qui agissent à la dégradation de ce parcours.

Dans ce contexte nous avons développés deux approches ; 1) approche phytoécologique qui a pour de diagnostiquer la diversité botanique et taxonomique des communautés végétales des steppes arides au Sud-Est d'Algérie (El-Haouch), et d'évaluer l'influence des paramètres édaphiques sur la répartition de la végétation steppiennes ; 2) approche géomatique pour évaluer, le suivi et la cartographie diachronique de la dynamique spatio-temporelle des types de couverture végétale pendant 33 ans (1987-2019), en se basant sur des images satellitaires Landsat multi-dates, l'indice spectral de végétation (Modified Soil Adjusted Index MSAVI) et les systèmes d'information géographique SIG (technique de détection des changements).

Les résultats du diagnostic de diversité botanique et taxonomique des communautés végétales des parcours steppiennes ont mis en évidence la présence de 985 individus classés en 27 espèces, 27 genres et 14 familles, avec une prédominance des Chenopodiaceae et des Asteraceae et une dominance remarquable des chamaephytes et thérophytes dans les différents groupes phytoécologiques. Les paramètres de diversité alpha ; Richesse spécifique (1.3 à 3.11) ; Régularité (1.41 à 0.64) et Indice de Shannon (1.25 à 0.61) et de diversité bêta ; Indice de jaccard (0.08 à 0.42) et Indice de sørensen (0.40 à 0.81) des différents groupes phytoécologiques montent des valeurs faibles et des valeurs élevées d'indice de perturbation (85.71% et 77.78 % dans les parcours d'accumulation salés) , ce qui reflètent un écosystème homogène plus fragile, des conditions de vie défavorables et l'absence de certaines espèces à haute valeur pastorale. Concernant les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques du sol, montrent que la dynamique des paramètres physico-chimiques des sols dans un écosystème steppique aride est un processus très lent. L'évolution faible des sols dans ces parcours, est liée au déficit hydrique et aussi à la teneur en éléments nutritifs, notamment la teneur en  $\text{CaCO}_3$ , le pH alcalin et la salinisation qui agissent négativement surtout aux parcours dominés par *Atriplex halimus* et *Suaeda vermiculata*, alors que les parcours dominés par l'*Atriplex halimus* et *Tamarix gallica* sont établis surtout dans

les sols alluviaux. En effet, la faible teneur en matière organique, la forte salinisation et l'effet anthropique tel que le surpâturage et l'extension d'agriculture dans ces parcours augmentent la vulnérabilité de ces écosystèmes steppiques arides à la dégradation.

A travers l'évaluation, le suivi et la cartographie diachronique de la dynamique spatio-temporelle des types de couverture végétale pendant 33 ans (1987-2019), et en utilisant des données de télédétection multi-dates (images Landsat datées de 1987, 1996, 2002 et 2019), l'indice spectral de végétation (Modified Soil Adjusted Index MSAVI) et les systèmes d'information géographique SIG (technique de détection des changements) ; ont permis de dériver et de cartographier avec précision les types de couverture végétale et leur distribution spatiale. Les zones de parcours (MSAVI 0.11-0.20) sont principalement situées dans les parties méridionales (sud de l'Oued Djedi), comme Oumache, El Haouch et M'lili ; tandis que des zones à caractère agricole (MSAVI  $\geq 0,20$ ) généralement sont les régions du nord comme Sidi Okba et Ain Naga.

Concernant l'indice standardisé des précipitations SPI durant la période 1987-2019a mis en évidence que les épisodes de sécheresse dans cet écosystème aride se répètent alternativement, et sont marqués par de longues durées, des sévérités élevées et des magnitudes de sécheresse significatives. Le suivi à court terme des parcours a permis de conclure que la densité et l'extension de la végétation steppique sont principalement contrôlées par les conditions climatiques, en particulier les précipitations (abondance et modèle) et les événements de sécheresse (durée, sévérité et magnitude). La période d'humidité exceptionnelle s'étendant de 11/1992 à 10/1998 a offert des conditions optimales pour la croissance de végétation des parcours, c'est le principal facteur qui agit positivement sur l'augmentation significative de tous types des végétations dérivés d'image Landsat 1996, y compris les zones de parcours qui ont présenté une expansion significative dans la zone d'étude entière leurs superficies sont passé de 19,939 à 57,665 ha, particulièrement dans Sidi Okba, Oumache, Ain Naga et Still. A l'inverse en 2002, les zones de parcours ont considérablement diminué, où 90 % de la végétation steppique préexistante s'est transformée en sols nus, et la superficie est passé de 57,665 à 10,348 ha ; cette dégradation exceptionnelle est principalement due aux effets de la longue (durée = 52 mois), sévère (-1.15 comme SPI moyen) et ample (DM=56) période de sécheresse, qui s'est prolongée du 11/1998 au 02/2003 ; ces circonstances ont empêché la croissance de la végétation et ont contribué à prolonger l'état latent de la végétation naturelle.

Le suivi à long terme de parcours (1987-2019) a permis de conclure que la couverture végétale steppique a subi une dégradation sérieuse, leur étendue est passé de 19,939 à 3,605 ha, où 58 % de la surface préexistante a changé en sols nus. Cette dégradation est due à la tendance à la régression des précipitations, à la persistance de longues séquences de sécheresse et à la surexploitation des ressources steppiques, notamment le surpâturage. En outre, la dégradation des parcours est également due à l'accentuation et à l'extension des activités agricoles dans la région (3,754 à 24,410 ha), où 36 % de la superficie initiale des parcours s'est transformée en sol nu et en périmètres irrigués, même dans des régions initialement pastorales (régions du sud) ; cette mutation extraordinaire a été principalement encouragée par l'adoption de nouveaux programmes de développement agricole (APFA et PNDA) basés sur le soutien financier des autorités.

***Recommandations et perspectives :***

Les résultats de cette recherche ont contribué à accroître nos connaissances sur l'état de la dynamique spatio-temporelle des parcours steppiques dans un écosystème aride. Ils serviront certainement dans le cadre de la préservation de la diversité floristique et la protection des parcours steppiques dégradés et nous permettent d'établir les recommandations et perspectives suivantes :

- ✚ Adopter un plan de gestion qui prend en considération les contraintes naturelles tel que la sèchresse et anthropogéniques ; en respectant le caractère initial des zones steppiques et en empêchant l'introduction d'activités agricoles inappropriées.
- ✚ Exploiter rationnellement les ressources pastorales.
- ✚ Mise en défens rigoureuse des parcours dégradées.
- ✚ Utiliser une évaluation multicritère, impliquant l'aspect de régression en termes de composition floristique et de valeurs nutritives des plantes, et leurs effets sur la production de cheptel.
- ✚ Créer une banque de graines pour conserver nos ressources pastorales.
- ✚ Utiliser des outils technologiques efficaces et peu coûteux tel que la télédétection et les SIG pour évaluer et cartographier du risque de dégradation des steppes en raison des vastes zones couvertes, ce qui est de la plus haute importance du point de vue environnemental et socio-économique. Cela ouvre de grandes importances pour l'utilisation future de cette technique à grand échelle pour une gestion durable des écosystèmes arides.



*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

## Références bibliographiques

1. Abd El-Khalik, K., Al-Gohary, I., & Al-Sodany, Y. (2017). Floristic composition and vegetation: environmental relationships of Wadi Fatimah, Mecca, Saudi Arabia. *Arid. Land Res. Manage*, 31 (3), Pp. 316–334.
2. Abdelbaki, A. (2012). Utilisation des SIG et télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant d'Oued Bouguedfine (Wilaya de Chlef), Mémoire magister en biologie, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie, P. 95.
3. Abule, E., Snyman, H.A., & Smit, G.N. (2007). Rangeland evaluation in the Middle Awash Valley of Ethiopia: II. Woody vegetation. *J Arid Environ.*, 70, Pp. 272–292.
4. Achour, H., (1983). Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud oranais Wilaya de Saïda. Thèse Doct. 3eme Cycle, Univ., H. Boumediene, Alger, P. 216.
5. Adi, N., Amrani, S., Hirche, A., Boughani, A., & Nedjraoui, D. (2016). Diversité biologique et phytogéographique pour des niveaux différents de salinité dans la région du Chott-Ech-Chergui (sudouest de l'Algérie). *Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Société nationale de protection de la nature*, 2016, 71 (4), Pp. 342-355.
6. Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Bradd, J.M., Arras, C., & Ghiglieri, G. (2015). Diachronic analysis of salt-affected areas using remote sensing techniques: the case study of Biskra area (Algeria). *Journal of Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications*. Vol. 9644 96441D-1 [https://doi : 10.1117/12.2194998](https://doi.org/10.1117/12.2194998).
7. Aidaoui, S. (1994). Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra" ziban, Algérie. Thèse de doctorat. Université Nancy 2.
8. Aidoud, A. (1983). Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse 3ème cycle, USTHB, Alger, P. 255.
9. Aidoud, A. (1989). Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés des hautes plaines Algéro-Oranaises, Algérie. Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Thèse doctorat. USTHB, Alger, P. 240.
10. Aidoud, A. (1989). Les écosystèmes steppiques pâturés d'Algérie : fonctionnement, évolution et dynamique des ressources végétales. Ph.D. Thesis, Algiers University.

11. Aidoud, A. (1996). La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Revue Sécheresse*, N 7, Pp. 187-193.
12. Aidoud, A., & Nedjraoui, D. (1992). The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In *Plant animal interactions in mediterranean-type ecosystems. MEDECOS VI*, Grèce, Pp. 62-67.
13. Aidoud, A., & Touffet, J. (1996). La régression de l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes Algériennes. *Revue Sécheresse* n°3, vol.7, Pp.187-193.
14. Aidoud, A., Le Floc'h, E., & Le Houérou, H.N. (2006). Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17(1), Pp.19–30.
15. Alcàntara, V., Don, A., Well, R., & Nieder, R. (2016). Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Glob Change Biol.* 22 (8), Pp. 2939–2956. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2008.01001.x>.
16. Alexander, M. (2005). *Remote Sensing in Support of Ecosystem Management Treaties and Transboundary Conservation*. USA : CIESIN, P. 3.
17. Aliat, T., Kaabeche, M., Khomri, H., Nouri, L., Neffar, S., Chenchouni, H. (2016). A pedological characterisation of some inland wetlands and Ramsar sites in Algeria. *Land Degrad. Dev.* 27 (3), Pp. 693–705. <https://doi.org/10.1002/ldr.2467>.
18. Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands, Pp. 75-123. [DOI : 10.1007/978-94-017-9694-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_3)
19. Al-lami, A. K., Abbood, R. A., Al Maliki, A. A., & Al-Ansari, N. (2021). Using vegetation indices for monitoring the spread of Nile Rose plant in the Tigris River within Wasit province, Iraq. *Journal of Remote Sensing Applications: Society and Environment* 22 (2021) 100471. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100471>
20. Al-Muwayhi, M.A.R. (2020). Anatomical response of *Atriplex* leaves under different levels of sodium chloride salinity. *J. Plant Prod. Sci.* 9 (1), Pp. 33–37. <https://doi.org/10.21608/jpps.2020.130641>.
21. Al-Quraishi, A. M. F., Razvanchy, H. A. S., & Gaznayee, H.A.A. (2021). A Comparative Study for Performance of Five Landsat-based Vegetation Indices: Their Relations to Some Ecological and Terrain Variables. *Journal of Geoinformatics and Environmental Research* Vol. 01, No. 01, Pp. 20 –37 (2021). [https:// Doi: 10.38094/jgier119](https://doi.org/10.38094/jgier119)

22. Amghar, F., Forey, E., Richard, B., Touzard, B., Laddada, S., Brouri, L., & Margerie, P. (2016). Old nurses always die: impacts of nurse age on local plant richness. *Plant Ecol* ,217(4), pp. 407–419. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0582-0>
23. Amichi, F., Bouarfa, S., Lejars, C., Kuper, M., Hartani, T., Daoudi, A., Amichi, H., & Belhamra, M. (2015). Des serres et des hommes : des exploitations motrices de l'expansion territoriale et de l'ascension socioprofessionnelle sur un front pionnier de l'agriculture saharienne en Algérie. *Cah Agric* 24, Pp. 11-19. [Doi :10.1684/agr.2015.0736](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0736)
24. Amour, Z. (2008). Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'étude de ladynamique de l'occupation du sol en zone aride (Cas du Sud du Hodna).
25. Amrani, O. (2021). Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés de la région de Laghouat. Ph.D. Thesis, Ouargla University.
26. 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* 210 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105861>
27. Anderson-Teixera, K.J., Davis, S.C., Masters, M.D., & Delucia, E.H. (2009). Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *GCB Bioenergy* 1 (1), Pp. 75–96.
28. Arabi, Z., Mederbal, K., & Benaouf, Z. (2015). Contribution to the Study of Quantitative and Qualitative Aspects of Steppe. *Int. J. Environ. Res.*, 9(3), Pp. 53–960.
29. Ardö, J. (1982). Volume quantitative of coniferous forest compartments using spectral radiancerecorded by landsat Thematic Mapper *International Journal of Remote sensing* 13, Pp. 1179-1786.
30. Ardö, J. (1982). Volume quantitative of coniferous forest compartments using spectral radiancerecorded by landsat Thematic Mapper *International Journal of Remote sensing* 13, Pp. 1179-1786.
31. Arras, C., Melis, M.T., Afrasinei, GM., Buttau, C., Carletti, A., & Ghiglieri, G. (2017). Evaluation and Validation of SRTMGL1 and ASTER GDEM2 for Two Maghreb Regions (Biskra, Algeria and Medenine, Tunisia). In: Ouessar, M., Gabriels, D., Tsunekawa, A., Evett, S. (eds) *Water and Land Security in Drylands*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54021-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54021-4_24)



32. Ashcroft, M.B. (2006). A method for improving landscape scale temperature predictions and the implications for vegetation modeling. *Ecological Modeling*, 197, Pp. 394 – 404.
33. Asner, G.P., Elmore, A.J., Olander, L.P., Martin, R.E., & Harris, A.T. (2004). Grazing systems ecosystem responses, and global change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 29, Pp. 261–299. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.29.062403.102142>.
34. Aubert, G. (1978). Méthodes d'analyses des sols. Centre régional de documentation Pédagogique. Marseille. P. 191.
35. Awchi, T.A., & Kalyana, M.M. (2017). Meteorological drought analysis in northern Iraq using SPI and GIS. *Sustain. Water Resour. Manag.* 3, Pp. 451– 463. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0111-x>
36. Azizi, M., Chenchouni, H., Belarouci M.E.H., Bradai, L., & Bouallala, M. (2021). Diversity of psammophytes communities on sand dunes of the Sahara Desert. *J. King Saud Univ. Sci.*, 33(8), 101656.
37. Azzouzi S.A., Vidal-Pantaleoni, A., & Bentounes, H.A. (2017). Desertification Monitoring in Biskra, Algeria, With Landsat Imagery by Means of Supervised Classification and Change Detection Methods. [Doi :10.1109/ACCESS.2017.2700405](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2700405)
38. Ballais, J.L. (2010). Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du bas-Sahara Algérien. *Physio-Géographie Physique et Environnement*, 4, Pp. 107-127.
39. Barbero, M., Quézel, P., & Loisel, R. (1989). Perturbations et incendies en région méditerranéenne. *Int. Estud. Pyrenaicos Jaca*, 12, Pp.194–215.
40. Bedrani, S. (1994). Une recherche d'action en zone steppiques (objectifs-méthode et premiers résultats). *Les cahiers du CRAED (Centre de recherche en Economie Appliquée pour le Développement) n°31/32, 3e et 4e trimestres*.
41. Bekheet, S.A., & El-Sharabasy, S.F. (2015). Date Palm Status and Perspective in Egypt. In : Al-Khayri, J.M., Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. Springer, Netherlands, pp. 75-123. [DOI : 10.1007/978-94-017-9694-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_3)
42. Bekkouche, A., Chalane, F., Guenaia, A., Yahiaoui, F.Z., Chemour, F.Z., & Bouazza, M. (2019). Phyto diversity of steppe western, Algeria. *Plant Archives*, 19(1), Pp. 852–856.
43. Belala, F., Hirche, A., D Muller, S., Tourki, M., Salamani, M., Grandi, M., Ait Hamouda, T., & Boughani, M. (2018). Rainfall patterns of Algerian steppes and the impacts on natural

vegetation in the 20th century. *Journal of Arid Land* (2018) 10(4), Pp. 561–573  
<https://doi.org/10.1007/s40333-018-0095-x>

44. Belhadj, A., Demnati Allache, F., Boulghobra, N., Mebrek, N. (2023). Botanical Diversity of Arid Steppe in South East of Algeria (Biskra). *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), Pp. 120-134. <https://doi.org/10.12911/22998993/156010>

45. Benabdeli, K. (1983). Mise au point d'une méthodologie d'appréciation de la pression anthropozoogène sur la végétation dans la région de Télagh (Algérie). Thèse doctorat de 3ème cycle, Aix-Marseille III, P. 183.

46. Benabdeli, K. (1996). Impact socio-économique et écologique de la privatisation des terres sur la gestion des espaces et la conduite des troupeaux : cas de la commune de Télagh (Algérie). *Options méditerranéennes* N 32, Pp. 185-194.

47. Benabdeli, K. (2000). Évaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement Steppique Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbas-Algérie) *Options Méditerranéennes, Sér. A*, N 39.

48. Benanari, A. (1996). La télédétection et les indices de végétation pour la détection de la végétation épars et moyennement dense : cas de la l'environnement urbain. Université de Sherbrooke. Quebec, Canada, Unpublished doctoral dissertation.

49. Benaradj, A., Mederbal, K., & Benabdeli, K. (2010). Remontée biologique du parcours steppique à *Lygeum spartum* après une durée de Mise en défens dans la steppe sud-oranaise de Naâma (cas de la station de Touadjeur). *Mediterranea Epoca* II, N 21, Pp. 10-48.

50. Bencherif, S. (2011). L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne. Évolution et possibilités de développement (Thèse de doctorat). AgroParisTech, Paris, France, P. 257.

51. Bencherif, S. (2013). L'élevage agropastoral de la steppe algérienne dans la tourmente : enquêtes et perspectives de développement. *De Boeck Supérieur, « Mondes en développement »* 2013/1 N 161, Pp. 93 à 106. DOI : [10.3917/med.160.0093](https://doi.org/10.3917/med.160.0093)

52. Benguerai, A. (2011). Evolution du phénomène de desertification dans le sud oranais (Algérie), Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie.

53. Benkhaled, A., Bouziane, M. T., & Achour, B. (2008). Detecting trends in annual discharge and precipitation in the chott Melghir basin in south eastern Algeria. *Larhyss Journal*, 7, Pp. 103-119.

54. Benkhetou, A., Taïbi, K., Benkhetou, M., Azouzi, B., & Djili, K. (2022). Assessment of floristic diversity in the arid steppe region of Tiaret, Algeria. *Trop Ecol*, 63, Pp.463 – 479.
55. Benlekhal, A. (2004). *Les Filières d'élevage. Diagnostic et Analyse de la Situation Actuelle*.
56. Benslimane, M., Hamimed, A., El Zerey, W., Khaldi, A., & Mederbal, K. (2008). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *VertigO- La revue en sciences de l'environnement*, Vol 8, N 3.
57. Bensemira, Z., Hellal, B., Bouju, S., & Maire, R. (2015). Les incidences du changement climatique sur l'espace pastoral steppique de l'Algérie occidentale (cas de la commune de Ras El Ma). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 271, Pp. 319–348.
58. Berry, A., & Miellet, P. H. (1999). *SIG. GIS. GNC. Centre de documentation de l'urbanisme*. Paris, P. 5.
59. Bonn, F., & Rochon, G. (1996). *Précis de télédétection Principes et méthodes Presses de l'université du Québec. Ed. Volume 1, AUPELF*, P. 485.
60. Bonneau, M., Souchier, B. (1979). *Pédologie 2. Constituants et Propriétés du Sol*. Masson (éd), Paris.
61. Booth, D.T., & Tueller, P.T. (2003). Rangeland monitoring using remote sensing. *Arid Land Res. Manag.* 17, Pp. 455 – 467. <http://dx.doi.org/10.1080/713936105>.
62. Bouacha, M. I., Maatoug, M., & Kharytonov, M. (2018). Vegetation dynamics of Algerian's steppe ecosystem. Case of the region of Tiaret. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management* Vol. 74, No. 1, 2018, Pp. 60-70 © Kaunas University of Technology. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ere.m.74.1.20095>
63. Bouallala, M. (2013). *Etude floristique et nutritive spatio-temporelle des parcours camelins du Sahara Occidental Algerien : Cas des régions de Bechar et Tindouf*. Ph.D. Thesis, Ouargla University.
64. Bouallala, M., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2020). Vegetation traits are accurate indicators of how do plants beat the heat in drylands: diversity and functional traits of vegetation associated with water towers in the Sahara Desert. *Ecol. Ind.*, 114, 106364.
65. Bouallala, M., Bradai, L., & Chenchouni, H. (2022). Effects of Sand Encroachment on Vegetation Diversity in the Sahara Desert. *Proc. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, Cham.

66. Boudibi, S. (2021). Modeling the Impact of Irrigation Water Quality on Soil Salinization in an Arid Region, Case of Biskra. Thèse de Doctorat, Université de Biskra, P. 26.
67. Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2022). Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena* 210 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105910>
68. Boughani, A., Sadki, N., Médail, F., Nedjraoui, D., & Salamani, M. (2009). Analyse floristique et phytogéographique d'une région de l'Atlas saharien constantinois, les gorges du Ghouffi (Algérie). *Acta Botan. Gallica*, 156(3), Pp. 399 – 414.
69. Boughani, A. (2014). Contribution à l'étude Phytogéographique des Steppes Algériennes (Biodiversité et endémisme). Ph.D. Thesis, Algiers University.
70. Boukhobza, M. (1982). L'agro-pastoralisme traditionnel en Algérie : de l'ordre tribal au désordre colonial. Office des Presses Universitaires, Alger, Algérie, P. 458.
71. Boulghobra, N. (2006). Protection de la ville de Skikda contre l'inondations, essai de P.P.R.I, Thèse de Magister, Université de Batna, P.19.
72. Boumessenegh, A., & Dridi, H. (2022). Predetermination of flood flows by different methods: Case of the catchment area of the Biskra Oued (North-East Algeria). *Model. Earth Syst. Environ.* 8, Pp. 1321–1333. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01151-2>
73. Bourbouze, A. (1999). Gestion de la mobilité et résistance des organisations pastorales des éleveurs du Haut Atlas Marocain face aux transformations du contexte pastoral Maghrébin in : Niamir Fuller, 1999. ITP, P. 30.
74. Bourbouze, A. (2006). Systèmes d'élevage et production animale dans les steppes du nord de l'Afrique : une relecture de la société pastorale du Maghreb. *Sécheresse* 17 (1–2), Pp. 31–39.
75. Bousmaha, T. (2012). Contribution à l'étude de l'évolution de la nappe alfatière dans la mise en défens de Nofikha. (Naâma). Thèse de Magister. Université de Tlemcen, Algérie.
76. Bradai, L., Bissati, S., Chenchouni, H., & Amrani, K. (2015). Effects of climate on the productivity of desert truffles beneath hyper-arid conditions. *Int. J. Biometeorol.* 59(7), Pp. 907–915.
77. Bradai, L., Bouallala, M., Bouziane, N.F. Zaoui S., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2015). An appraisal of eremophyte diversity and plant traits in a rocky desert of the Sahara. *Folia Geobot* 50, Pp. 239–252. <https://doi.org/10.1007/s12224-015-9218-8>
78. Braun-Blanquet, J., Roussine, N., & Nègre R. (1952). Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, CNRS, France.

79. Briske, D.D. (2017). Rangeland systems: processes, management and challenges. Springer series on environmental management. Available at : <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-46709-2>
80. Brosofske, K.D., Chen, J., & Crow, T.R. (2000). Understory vegetation and site factors: implications for a managed Wisconsin landscape. *Journal of Forest Ecology and management*, 146, Pp. 75-87.
81. Buttau, C., et al. (2013). Studio geologico strutturale per indagini idrogeologiche dell'area compresa tra le regioni di Batna e Biskra (NE Algeria),” *Rend Online Soc Geol. It* 29, Pp. 13–16.
82. C.C.T. (2015). *Notions fondamentales de télédétection*, P. 266.
83. Caloz, R., & Collet, C. (2011). *Analyse spatiale de l'information géographique*. PPUR Presses polytechniques.
84. Carriere, M., & Toutain, B. (1995). *Utilisation des terres de parcours par l'élevage et interactions avec l'environnement. Outils d'évaluation et indicateurs*. Institut fürbiogeographie. Saarbrücken. Allemagne, P. 93.
85. Celles, J.C. (1975). *Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie)* ; Thèse Doct. Etat, Nice, P. 364.
86. Chabira, C. (2007). *Apport de l'outil SIG télédétection pour la détection de l'extension urbaine (wilaya de Djelfa)*. Mém. Ing. Centre universitaire de Djelfa, Pp.18-33.
87. Chalane, F. (2012). *Evaluation de la phytodiversité et des caractéristiques édaphiques de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la Région de Saida (Algérie Occidentale)*. Master Thesis, Djilali Liabes University, Sidi Bel Abbés.
88. Chaouch Khouane, H., Belhamra, M., & Aidoud, A. (2018). Evolution des communautés végétales des steppes d'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Courrier du Savoir*, 26, Pp. 107–118.
89. Chebbah, M. (2007). *Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre et de l'Accident Sud Atlasique*. (Zibans, Algérie). Mentouri University – Constantine.
90. Chellig, R. (1992). *Les races ovines algériennes*. Office des Presses Universitaires, Alger, Algérie, P. 80.

91. Chen, Y., & Gillieson, D. (2009). Evaluation of landsat TM vegetation indices for estimating vegetation cover on semi-arid rangelands: a case study from Australia. *Can. J. Remote. Sens.* 35, Pp. 435–446. <http://dx.doi.org/10.5589/m09-037>.
92. Chenchouni, H., Benabderrahmane, M.C., & Arar, A. (2010). Modeling and mapping desertification risk in eastern Algeria with Geomatic data. *Proceedings of the IECHAR conference, Al-Ahsa, KSA*, Pp. 213–217.
93. Chenchouni H. 2012. Diversité floristique d'un lac du Bas Sahara algérien. *Flora diversity of a lake at Algerian Low-Sahara. Acta Bot. Malacitana*, 37, Pp. 33–44.
94. Cheng, F., Liu, S., Hou, X., Wu, X., Dong, S., & Coxixo, A. (2019). The effects of urbanization on ecosystem services for biodiversity conservation in southernmost Yunnan Province, Southwest China. *J. Geogr. Sci.* 29, Pp. 1159–1178 <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1651-9>
95. Cherril, A.J., Lanne, A., & Fuller, R.M. (1994). The unse of Classified landsat- 5 thematic Mapper imagery in the characterization of landscape composition : a case study in northern england/ *Jornal of environmental Management*, 40, Pp. 357-377.
96. Chuvieco, E., & Kasischke, E.S. (2007). Remote sensing information for fire management and fire effects assensment. *Journal Geophys. Rech ; Biogeosci. (G1)*, P. 112.
97. Claude, C. (2004). Analyse spatiale géométrique et systèmes d'informations géographique, un regard de l'analyse spatiale sur la géomatique et ses outils d'exploitation. *Journées cassinisigma, Univ. Fibourg, Suisse*, P. 3.
98. Cohen, W.B., Maierperger, T.K., Spies, T.A., & Oetter, D.R. (2001). Modelling forest cover attributes as continuous variabels in athe pacific northwest using landsat imagerry. *Photogrammetric Engineering & remote sensing*, 4, Pp. 293-300.
99. Dajoz, R. (1982). *Précis d'écologie. Écologie fondamentale et appliquée*. Gauthier-Villers, Paris.
100. Daoudi, A., Benterki, N., & Bouasla, M.R. (2021). Modèles émergents de grandes exploitations agricoles dans la wilaya de Ouargla, la politique de la mise en valeur dans les zones arides en débat<sup>23</sup>, webinaire torba / grfi - filaha innov'.
101. Demnati, F. (2014). Biodiversité et enjeux socioéconomiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir. *Dissertation, University Mohamed Khider, Biskra, Algeria*.

102. Demnati, F., Samraoui, B., Allache, F., Sandoz, A., & Ernoul, L. (2017). A literature review of Algerian salt lakes: Values, threats and implications. *Environ. Earth Sci.* 76, 127. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6443-x>
103. Derouche, H. (2006). Les dépérissements du peuplement forestier dans la (région de Djelfa). Mém. Magister Centre universitaire de Djelfa, Pp. 40 - 43.
104. Dettenmaier, S.J., Messmer, T.A., Hovick, T.J., & Dahlgren, D.K. (2017). Effects of livestock grazing on rangeland biodiversity: A meta-analysis of grouse populations. *Ecol Evol.* 7(19), Pp. 7620 - 7627. [Doi:10.1002/ece3.3287](https://doi.org/10.1002/ece3.3287)
105. Djebaili, S. (1978). Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct, Montpellier, P. 229.
106. Djebaili, S., Achour, H., Aidoud, F., & Khelifi, H. (1982). Groupes écologiques édaphiques dans les formations steppiques du Sud-Oranais. *Bulletin d'écologie terrestre, BIOCENOSES.* N 1, Pp. 7-59.
107. Djebaili, S. (1984). Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office des publications universitaires (OPU), Alger, P.182.
108. Djebaili, S., Djellouli, Y., & Daget. (1989). Les steppes pâturées des hauts plateaux algériens. *Revue « Fourrage »*, P. 39.
109. Djellouli, Y. (1981). Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux oranais (wilaya de Saida). Comportement des espèces vis-à-vis d'éléments du climat. Thèse de doctorat 3<sup>o</sup>cycle. USTHB, Alger, P. 178.
110. Djellouli, Y., & Nedjraoui, D. (1995). Evolution des parcours méditerranéens. In *Pastoralisme, Troupeau, Espaces et Société.* Hatier ed, Pp. 440-454.
111. Donadieu, P. (1977). Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéographique du Maroc. multigr. *Inst. Agron. & Vétérin. Hassan II, Rabat,* P. 155.
112. DPAT, (2021). Administration de l'aménagement du territoire. Alger.
113. Ducrot, D. (2005). Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources extraction de caractéristique du paysage, mémoire de recherches.
114. Duro, D., Coops, N.C., Wulder, M.A., & Han, T. (2007). Development of a large area biodiversity monitoring system driven by remote sensing. *Progress In Physical geography,* 31 (3), Pp. 235-260.

115. Edwards D.C., & McKee T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple scales, Atmospheric Science, paper no. 634, May, Pp. 1-30.
116. El-Hattab, M.M. (2016). Applying post classification change detection technique to monitor an Egyptian coastal zone (Abu Qir Bay). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 19(1), Pp. 23–36.
117. Ellenberg, H., & Mueller-Dombois, D. (1967). A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rubel. Zurich, 37, Pp. 56–73.
118. Engler, J.O., Abson, D.J., Feller, R., Hanspach, J., & Von Wehrden, H. (2018). A social-ecological typology of rangelands based on rainfall variability and farming type. J. Arid Environ. 148, Pp. 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.009>.
119. Fan, C., Tan, L., Zhang, C., Zhao, X., & Von Gadow, K. (2017). Analysing taxonomic structures and local ecological processes in temperate forests in North Eastern China. BMC Ecol., 17(1), Pp. 1–11.
120. Fatmi, H., Maalem, S., Harsa, B., Dekak, A., & Chenchouni, H. (2020). Pollen morphological variability correlates with a large-scale gradient of aridity. Web Ecology, 20, Pp. 19–32.
121. Foody, G.M., Boyd, D.S., & Cutler, M.E.J. (2003). Predictive relations of tropical forest biomass from landsat TM data and their transferability between region. Remote sensing of Environment 85, Pp. 463-747.
122. Francisco, E.G., Javier, M.R., & Ferran, M.A. (2013). Manuel de télédétection spatiale, P. 337.
123. Fronco-Lopez, H., Ek, A.R., & Bauer, M.E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. Remote sensing of Environment 77, Pp. 251-274.
124. Galatia, S. R. (2006). Géographie information systems demystified. Ed. Artech house, Boston, P. 118.
125. Galvin, K.A. (2021). Transformational adaptation in drylands. Current Opinion in Environmental Sustainability 2021, 50, Pp. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.03.003>.



126. Gamoun, M., Chaieb, M., & Ouled Belgacem, A. (2010). Évolution des caractéristiques écologiques le long d'un gradient de dégradation édaphique dans les parcours du sud tunisien. *Ecologia mediterranea*, 36(2), Pp. 5–16.
127. Gamoun, M., Ouled Belgacem, A., Hanchi, B., Neffati, M., & Gillet, F. (2012). Impact of grazing on the floristic diversity of arid rangelands in South Tunisia. *Rev. Ecol-Terre Vie*, 67, Pp. 271–282.
128. Gamoun, M., Belgacem, A.O., & Louhaichi, M. (2018). Diversity of desert rangelands of Tunisia. *Plant Divers*, 40(5), Pp. 217–225.
129. Gasparri, N.I., Parmuchi, M. G., Bono, J., Karszenbaum, H. & Montenegro, C. L. (2010). Assessing multitemporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 74, Pp. 1262 -1270.
130. Ghiglieri, G., Buttau, C., Arras, C., Funedda, A., Soler, A., Barbieri, M., Carrey, R., Domènech, C., Torrentó, C., Otero, N., & Carletti, A. (2020). Using a multi-disciplinary approach to characterize groundwater systems in arid and semi-arid environments : The case of Biskra and Batna regions (NE Algeria). *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143797>
131. Ghiloufi, W., Quéro Pérez, J.L., García-Gómez, M., & Chaieb, M. (2015). Assessment of species diversity and state of *Stipa tenacissima* steppes. *Turkish Journal of Botany*, 39, Pp. 227–237.
132. Girard, M.C., & Girard, C.M. (1989). *Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales*. (2 ed.), Paris, Masson, P. 260.
133. Girard, M. C., & Girard, C. M. (1999). *Traitement des données de télédétection*. Ed. Dunod. Paris, P. 511.
134. Golay, F. (2007). *Télédétection et images numérique*. Cours., Laboratoire de systèmes d'information Géographique (SIG), P. 12.
135. Guemmaz, F., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2019). Physicochemical and Bacteriological Quality of Surface Water Resources Receiving Common Wastewater Effluents in Drylands of Algeria. *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 98. [https://doi.org/10.1007/698\\_2019\\_400](https://doi.org/10.1007/698_2019_400).

136. Guenang, G.M., & Mkankam Kamga, F. (2014) Computation of the standardized precipitation index (SPI) and its use to assess drought occurrences in Cameroon over recent decades. *Journal of applied meteorology and climatology*, 53 (10), Pp. 2310-2324.
137. Guitton, M., Levret, C., & Delefortrie, R. (2008). *Les Défis du Pastoralisme : Echanges d'expériences innovantes pour un développement durable d'avenir en montagne. Rapport d'Euromontana (association européenne pour le développement et la coopération des zones de montagne)*, P. 103.
138. Guo, H., Cui, Y. N., Pan, Y.Q., Wang, S.M., & Bao, A.K. (2020). Sodium chloride facilitates the secret halophyte *Atriplex canescens* adaptation to drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 150, Pp. 99–108.
139. Guyot, G., & Seguin, J. (1988). Review of factors affecting remote sensing of forest canopies, in *International Institute for applied System Analysis Proceesing: Seminar on remote sensing of forest decline attributed to air pollution, Laxemburg, Australia, Proccedings april 1988*, Pp. 1-26.
140. Guyot, G. (1995). *La réflectance des couverts végétaux. Photo-interprétation n°3*, Edition ESKA, Pp. 157-180.
141. Guyot, G. (1997). *Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes.*
142. Hachemi, A., El Alaoui-Faris, F.E., Acherkouk, M., & Mahyou, H. (2015). Rangeland arid in Morocco: restoration by rangeland fencing, forage shrub plantations and water/soil conservation. *Geo-Eco-Trop.*, 39(2), Pp. 185–204.
143. Hachmi, A., Andich, K., El Alaoui-Faris, F., & Mahyou, H. (2018). Amélioration de l'état de la végétation et de la fertilité des sols des parcours arides du Maroc par les techniques de restauration et de réhabilitation. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 73 (4), Pp. 401–413.
144. Hadeid, M., Bendjelid, A., Fontaine, J. & Ormaux, S. (2015). Dynamique spatiale d'un espace à caractère steppique : le cas des Hautes Plaines sud-oranaises (Algérie). *Cahiers de géographie du Québec*, 59 (168), Pp. 469–496. <https://doi.org/10.7202/1037259ar>
145. Hadjiat, K. (1997). *Etat de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, Banque Mondiale*, P. 45.
146. Halitim, A. (1988). *Sols des régions arides d'Algérie*, O.P.U Alger.

147. Hamamouche, M.F., Kuper, M., & Lejars, C. (2015). Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cahiers Agricultures*, 24 (6) (2015), Pp. 412-419, [doi.org/10.1684/agr.2015.0777](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0777)
148. Hammouda, R. F., Huguenin, J., Bouchareb, B., & Nedjraoui, D. (2014). Rangeland degradation and adaptation of livestock farming in the Algerian steppe: the case of Hadj Mechri (Wilaya of Laghouat). Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands. R. Baumont et al, Pp. 665-669.
149. Hasnaoui, O., Meziane, H., Borsali, A.H., & Bouazza, M. (2014). Evaluation of Characteristics Floristico-Edaphic of the Steppes at Alfa (*Stipa tenacissima* L.) in the Saida Region (Western Algeria). *Open Journal of Ecology* 4: Pp. 883-891.
150. Hasnaoui, O., & Bouazza, M. (2015). Indicateurs de dégradation des bio-ressources naturelles de l'Algérie occidentale : Cas de la steppe de la wilaya de Saida. *Algerian Journal of Arid Environment* 5, Pp. 63-75.
151. Hassani, T. (2003). Morpho-pedological diagnosis of the edaphic mediums and paleoenvironmental environments of the Algerian steppe as bases useful for decision making as regards development, of the town and country planning and the follow-up of the environment. Thesis doctorate, agronomic Faculty of Science Gembloux. 301.
152. Hayes, M.J. (2007). Drought indices. *Intermountain West Climate Summary*, 3(6), Pp. 2–6
153. Henni, M., & Mehdadi, Z. (2012). Évaluation préliminaire des caractéristiques édaphiques et floristiques des steppes à armoise blanche dégradées réhabilitées par la plantation d'*Atriplex* dans la région de Saïda (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*, 159(1), Pp. 43–52.
154. Hirche, A., Salamani, M., Abdellaoui, A., Benhouhou, S., & Valderrama, J.M. (2011). Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179: 403–420 DOI 10.1007/s10661-010-1744-5
155. Holechek, J., Pieper, R., & Herbel, C. (2011). Range management principles and practices. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
156. Houamel, S., & Belhamra, M. (2018). Etude diachronique et phytoécologique des steppes à armoise blanche (*Artemisia herba-alba asso*) dans la région est de l'Algérie. *Courrier du Savoir*, 26, Pp. 99–106.
157. Hoveizeh, H. (1997). Study of the vegetation cover and ecological characteristics in saline habitats of Hoor-e- Shadegan. *Journal of Research and Construction*, 34(1), Pp. 27-31.

158. Hu, Y., Li, X., Guo, A., Yue, P., Guo, X., & Lv, P. (2022). altered precipitation in desert steppes. *Ecological Indicators* 137 (2022) 108762. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108762>
159. Hubert, B. (1994). Pastoralisme et territoire. Modélisation de pratiques d'utilisation. *Cahier d'Agriculture*, 3, Pp. 9–22.
160. Hungate, B.A., Barbier, E.B., Ando, A.W., Marks, S.P., Reich, P.B., Van Gestel, N., Tilman, D., Knops, J.M., Hooper, D.U., Butterfield, B.J., & Cardinale, B.J. (2017). The economic value of grassland species for carbon storage. *Sci. Adv.* 3 (4), (2017). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601880>.
161. Hyde, P., Dubayah, R., Walker, W., Blair, J.B., Hofton, M., & Hunsaker, C. (2006). Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/inSAR, ETM plus, Quickbird) synergy. *Remote Sensing of Environment*, 102, Pp. 63-73.
162. imagery in the characterization of landscape composition : a case study in northern england/ *Journal of environmental Management*, 40, Pp. 357-377.
163. Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., & Azamivand, H. (2003). Soil-Vegetation relationships in Hoze- Soltan Region of Qom Province, Iran. *Pakistan Journal Nutrition*, 2(6), Pp. 329 - 34.
164. Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., Azarnivand, H., & Zahedi Amiri, Gh. (2004). Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 56, Pp. 627 – 641.
165. James, J.J., Sheley, R.L., Erickson, T., Rollins, K.S., Taylor, M.H., & Dixon, K.W. (2013). A systems approach to restoring degraded drylands. *Journal of Applied Ecology*, 50, Pp. 730-739. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12090>
166. Joly. (1986). *La cartographie que sais-je ?* N° 937. P.U.F. France.
167. Kaabeche, M. (2005). Management plan of the site of El- Mergueb, hydrogeology, project DGF.NUD-ALG/G 35. In the national program of classification of the protected areas in Algeria.
168. Kacimi, B. (1996). La problématique du développement des zones steppiques. Approche et perspectives. Doc. HCDS, Ministère de l'agriculture, P. 27.
169. Kadi-Hanifi, A., & Loisel, R. (1997). Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation. *Ecologia mediterranea*, vol. 23, Pp. 33-43.

170. Kadi-Hanifi, A. (1998). L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct., USTHB., Alger, P. 270.
171. Kerbani, B. (2013). Etude de l'ensablement par image satellitaire Landsat à In Salah. Mémoire Master Géomorphologie appliqué, USTHB, P.85.
172. Khader, M., Mederbal, K., & Chouieb, M. (2014). Suivi De La Degradation De La Vegetation Steppique A L'aide De La Teledetection : Cas Des Parcours Steppiques Region De Djelfa (Algérie), Courrier Du Savoir – N 18, Mars 2014, Pp.89-93.
173. Khader, M. (2019). Apport de la géomatique à l'analyse spatio-temporelle des parcours steppiques : Cas de la région de Djelfa, Algérie. Thèse Doctorat. Université Biskra, Algérie.
174. Khaldi, A. (2014). La gestion non-durable de la steppe algérienne. Vertigo. <https://doi.org/10.4000/vertigo.15152>.
175. Khierallah, H.S., Bader, S.M., Ibrahim, K.M., & Al-Jboory, I.J. (2015). Date Palm Status and Perspective in Iraq. In : Al-Khayri, J.M. Jain, S. M., Johnson, D.V. (eds.). Date Palm Genetic Resources and Utilization. Springer, Netherlands. Pp. 97-152. DOI : [10.1007/978-94-017-9707-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9707-8_4).
176. Kideghesho, J., Rija, A.A., Mwamende, K.A., & Selemani, I.S. (2013). Emerging issues and challenges in conservation of biodiversity in the rangelands of Tanzania. Nat Conserv., 6, Pp. 1–29.
177. Köhl, M., Magnussen, S. S., & Marchetti, M. (2006). Sampling methods, remote sensing and GIS multi-ressource forest inventory. Springer Science Business Media.
178. Koohafkan, P., & Stewart, B.A. (2008). Drylands, people and land use. In: Water and Cereals in Drylands. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849773744>.
179. Kouba, Y., Merdas, S., Mostephaoui, T., Saadali, B., & Chenchouni, H. (2021). Plant community composition and structure under short-term grazing exclusion in steppic arid rangelands. Ecol. Indic., 120, 106910.
180. Lahmar-Zemiti, B., & Aidoud, A. (2016). Suivi à long-terme dans la steppe d'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* asso.) du Sud-Oranais (Algérie) : facteurs et indicateurs de changements. Rev Ecol (Terre et Vie), 71, Pp. 168–177.

181. Landais, E. (1992). Principes de modélisation des systèmes d'élevage- Approches graphiques. Les cahiers de la Recherche Développement n°32-2, 199, Pp. 82-95.
182. Lapeyronie, A. (1982). Les productions fourragères méditerranéennes. Ed. G.P, Maison neuve et Larousse (4), P. 425.
183. Larafa, M. (2004). Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi- aride au niveau des chotts (Melghir, Merouane et Bendjeloud) et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie).
184. Latifovic, R., & Pouliot, D. (2006). Approaches to IPCC land-use and land-use change reporting in agriculture areas with remote sensing. North America Land Cover Summit. <https://doi:10.1017/CBO9781107415324.004>.
185. Le Floc'h, E. (2000). Discours-programme : Réhabilitation des écosystèmes arides dégradés : nécessité du recours à du matériel végétal adapté. Session II : la dégradation et la réhabilitation des terres arides. Proc. Séminaire international ; La lutte contre la désertification ; ressources en eau douce et réhabilitation des terres dégradées dans les zones arides, N'djamena, Tchad, Pp. 45–50.
186. Le Houerou, H.N. (1969). La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunis, 42 : 1, P. 624.
187. Le Houérou, H.N., Haywood, M., & Claudin, D. (1975). Etude phytocéologique du Hodna F.A.O. Rom, P.154.
188. Le Houérou, H. N., Claudin J. & Pouget, M. (1977). Etude bioclimatique des steppes Algériennes. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord Alger. t. 68, fasc. J, Pp. 33-74.
189. Le Houérou, H.N. (1985). La régénération des steppes Algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger, ronéotypé.
190. Le Houérou, H.N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Option Médit. Série B, N 10. CIHEAM et ACCT, P. 396.
191. Le Houérou, H.N. (1995). Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse, vol. 6, N 2, Pp. 167-182.
192. Le Houérou, H. N. (1996). Climate change, drought and desertification. Journal of Arid Environments, 34, Pp. 133–185.

193. Le Houérou, H. N. (2001). Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. *Journal of Arid Environments* 48 (2), Pp. 103–128. [Doi: 10.1006/jare.2000.0679](https://doi.org/10.1006/jare.2000.0679).
194. Le Houérou, H. N. (2004). An agro-bioclimatic classification of arid and semiarid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid Land Res. Manage.* 18 (4), Pp. 301–346. <https://doi.org/10.1080/15324980490497302>.
195. Lee, R. H., Navarro-Navarro, L. A., Ley, A. L., Hartfield, K., Tolleson, D.R., & Scott, C.A. (2021). Spatio-temporal dynamics of climate change, land degradation, and water insecurity in an arid rangeland: the Río San Miguel watershed, Sonora, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 193: 104539. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2021.104539>
196. Legrois, J.P. (1996). *Cartographies des sols, de l'analyse spatiale à la gestion des territoires*. Lausanne :1ère Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, P.1 - 41.
197. Lhoste, P. (1984). Le diagnostic sur le système d'élevage. *Les cahiers de la Recherche-Développement*. 3-4, Pp. 84 - 88.
198. Liu, A., Wang, J., Liu, Z., & Wang, J. (2005). Monitoring desertification in arid and semi-arid areas of China with NOAA-AVHRR and MODIS data. In: *International Geoscience and IGARSS.2005.1525451*.
199. Liu, Y., Yu, X., Zhao, L., & Li, S. (2021). Evaluating the revegetation by shrub planting in degraded dryland rangeland: perspectives of hydrological and sediment connectivity. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2021, 48, Pp. 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.12.009>
200. Loisel, R., & Gamila, H. (1993). Translation effects of clearing on forest ecosystems by forest pre-disturbance index. *Annales de la Societe des sciences naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var*, 45, Pp. 123–132.
201. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons.
202. Louati, D., Majdoub, R., & Abida, H. (2017). Diagnostic de l'état actuel du sol au niveau du périmètre public irrigué Zelba de la région de Mahdia (Sahel Tunisien). *Etude et Gestion des Sols* 24, Pp. 73–82.
203. Lu, Z., Qu, Y., & Qiao, S. (2014). *Geodetic Datum and Geodetic Control Networks*. In *Geodesy*, Pp. 71-130. Springer, Berlin, Heidelberg.

204. M.A.D.R.P. (Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et de la Pêche). (2016). Statistiques officielles.
205. Macheroum, A., Kadik, L., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2021). Environmental drivers of taxonomic and phylogenetic diversity patterns of plant communities in semi-arid steppe rangelands of North Africa. *Ecological Indicators* 132,108279. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108279>
206. Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Malden, MA, Wiley-Blackwell, USA.
207. Mahyou, H., Tychon, B., Balaghi, R., Mimouni, J., & Paul, R. (2010). Désertification des parcours arides au Maroc. *Tropicultura*, 28 (2), Pp. 107-114.
208. Mallem, H., Houyou, Z., Benrima, A., Wesselingh, R., Kouidri, M., Ameer, D., & Chaar, H. (2018). Particular effects of steppic plants in the rehabilitation of degraded soils, ability to control wind erosion. *J. Biodivers. Environ. Sci.* 13, Pp. 347–355. <http://hdl.handle.net/2078.1/204595>.
209. Maurel, P. (2002). Initiation à la télédétection – UMR Cemagref / ENGREF, Pp. 5-39.
210. McCollum, D., Tanaka, J., Morgan, J., Mitchell, J., Fox, W., Maczko, K., Hidingier, L., Duke, C., & Kreuter, U. (2017). Climate change effects on rangelands and rangeland management: affirming the need for monitoring. *Ecosys. Health Sustain.* 3 (3), 01264. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1264>.
211. McIntyre, S., Lavorel, S., & Tremont, R.M. (1995). Plant life-history attributes: their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology*, 83(1), Pp. 31–44.
212. Mckee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conf. Appl. Climatol*, Pp. 179–184.
213. McRoberts, R.E., & Tomppo, E.O. (2007). Remote sensing support for national forest inventories. *Remote sensing of Environment*. 110, pp. 412-419.
214. Mderbel, k., Josa, R., Boukhari, Y., Mas, M.T., Khader, M., Ouldali, O., Reggagba, Z., Tadjeddine, N., & Verdu, A.M.C. (2009). Ecosystemes steppiques (cas de brezina – el bayadh) : caractérisation et proposition d'une fiche de travail sur terrain.



215. MdH – Ministère de l'Hydraulique Algérienne. (1980). Carte hydrogéologique de Biskra au 1/200.000, notice explicative. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique – Service Hydrogéologie, Alger, Algeria.
216. Mederbal, K. (1983). La télédétection aérospatial et la phyto-écologie. Application à deux régions naturelles d'Algérie : Le littoral (Mostaganem) et l'Atlas saharien (Djelfa). Thèse 3ème cycle, Université d'Aix Marseille III, P. 178.
217. Men Chan, K., & Thuy Vu, T. (2017). Landscape ecological perspective of the impacts of urbanization on urban green spaces in the Klang Valley. / *Applied Geography* 85 (2017), Pp. 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.002>
218. Merdas, S., Boulghobra, N., & Lakhdari, F. (2015). The Green Dam in Algeria as a tool to combat desertification. In: *Planet@Risk*, 3(1), Pp. 68-71, Davos: Global Risk Forum GRF Davos.
219. Merdas, S., Menad, A., Mostephaoui, T., & Sakaa, B. (2017). Plant community structure and diversity under grazing gradient in arid Mediterranean steppe of Algeria. *J. Mater. Environ. Sci.*, 8 (12), 4329-433.
220. Merdas, S., Boulghobra, N., Mostephaoui, T., Belhamra, M., & Fadlaoui, H. (2019). Assessing land use change and moving sand transport in the western Hodna basin (central Algerian steppe ecosystems). *Forestist* 69 (2), Pp. 87–96. <https://doi.org/10.26650/forestist.2019.19005>
221. Merdas, S., Kouba, Y., Mostephaoui, T., Farhi, Y., & Chenchouni, H. (2021). Livestock grazing-induced large-scale biotic homogenization in arid Mediterranean steppe rangelands. *Land Degrad. Dev.*, 32(17), Pp. 5099–5107.
222. Middleton, N. (2018). Rangeland management and climate hazards in drylands: dust storms, desertification and the overgrazing debate. *Nat Hazards* 92, Pp. 57–70. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2592-6>
223. Mihi, A., Tarai, N., & Chenchouni, H. (2019). Can palm date plantations and oasisification be used as a proxy to fight sustainably against desertification and sand encroachment in hot drylands, *Ecol. Indic.* 105, Pp. 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.027>.
224. Millennium Ecosystem Assessment, Adeel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D., & White, R. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis: a Report of the Millennium Ecosystem Assessment*. World Resources Institute, Washington, D.C.

225. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis, Ecosystems and Human Well-being. World Resources Institute, Washington, D.C ISBN : 1-56973-590-5.
226. Monitoring system driven by remote sensing. Progress In Physical geography, 31 (3), Pp. 235-260.
227. Morsli, A., Hasnaoui, O., & Arfi, F. (2016). Evaluation of the Above-Ground Biomass of Steppe Ecosystems According to Their Stage of Degradation: Case of the Area of Ain Skhouna (Western Algeria). Open Journal of Ecology, 6, Pp. 235-242. <https://doi: 10.4236/oje.2016.65024>.
228. Moulay, A., Benabdeli, K., & Morsli, A. (2011). Contribution a l'identification des principaux facteurs de degradation des steppes a *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algerien Mediterranea Serie de Estudios Biológicos 2011 Época II N 22, Pp. 149-88.
229. Mouissa, H. (2014). 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. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure Agronomique (E.N.S.A), El-Harrach, Alger.
230. Muldavin, E.H., Neville, P., & Harper, G. (2001). Indices of grassland biodiversity in the Chihuahuan desert ecoregion derived from remote sensing. Conservation Biology 15, Pp. 844-855.
231. N'zala, D., Nongamani, A., Moutsambote, J.M., & Mapangui, A. (1997). Diversité floristique dans les monocultures d'eucalyptus et de pins au Congo. Cahiers Agricultures, 6(3), Pp. 169-74.
232. Nafus, M.G., Tuberville, T.D., & Buhlmann, K.A. (2017). Precipitation quantity and timing affect native plant production and growth of a key herbivore, the desert tortoise, in the Mojave Desert. Clim Chang Responses 4, 4. <https://doi.org/10.1186/s40665-017-0032-9>
233. Nedjimi, B., & Guit, B. (2012). Les steppes Algériennes : causes de déséquilibre, Algerian. Journal of arid environment, vol. 2 (2), Pp. 50-61.
234. Nedjraoui, D. (1981). Teneurs en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation dans les Hautes Plaines steppique de la wilaya de Saida. Thèse Doct. 3<sup>e</sup> cycle, USTHB, Alger, P. 156.
235. Nedjraoui, D. (1990). Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. USTHB, Alger, P. 256.
236. Nedjraoui, D. (2001). Country Pasture / Forage resource profiles (Algérie) URDT. UNIV. SC. Tech. Alger, P. 22.

237. Nedjraoui, D. (2003). Les mécanismes de suivi de la désertification en Algérie proposition d'un dispositif national de surveillance écologique à long terme. Doc. OSS, P. 37.
238. Nedjraoui, D. (2004). Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. In : Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza, CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 62, Pp. 239 -243.
239. Nedjraoui, D., & Bedrani, S. (2008). La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, V.8 N1. URL : <http://vertigo.revues.org/5375>.
240. Neffar, S., Chenchouni, H., & Si Bachir, A. (2016). Floristic composition and analysis of spontaneous vegetation of Sabkha Djendli in north-east Algeria. Plant Biosyst. 150 (3), Pp. 396–403. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.810181>.
241. Neffar, S., Menasria, T., & Chenchouni, H. (2018). Diversity and functional traits of spontaneous plant species in Algerian rangelands rehabilitated with prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations. Turk J Bot, 42(4), Pp. 448–461. <https://doi.org/10.3906/bot-1801-39>.
242. Neptune, N., & Mothe, J. (2021). Automatic Annotation of Change Detection Images. Journal of Sensors 2021, 21, 1110. <https://doi.org/10.3390/s21041110>
243. Nielsen, A.A. (2007). The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi- and hyperspectral data. IEEE Transactions on Image Processing, 16 (2), Pp. 463–478.
244. Nori, M. (2017). Bergers étrangers, une opportunité pour le pastoralisme euro-méditerranéen, Rev. Géo. Alpine., 105-4, P. 16, [doi : 10.4000/rga.3544](https://doi.org/10.4000/rga.3544).
245. Nori, M., Taylor, M., & Sensi A. (2008). Droits pastoraux, modes de vie et adaptation au changement climatique. Coalition internationale pour l'accès à la terre. L'Initiative Mondiale pour un Pastoralisme Durable. Irish aid. Department of Foreign Affairs AnBoinnGoôthaiEachtracha. Institut International pour l'Environnement et le Développement. Royaume-Uni, P. 28.
246. O.N.S. (2020). Office National des Statistiques <http://www.ons.dz>
247. O.N.S. (2011). Recensement général de la population et de l'habitat, résultats 2008. Office national des statistiques, Alger, Algérie, P. 213.
248. Ouaffai A., Brague A & Khader M. (2000) Intérêt fourragers de l'Atriplex canescens (Etude diachronique de la productivité et nutritive). Séminaire National sur la Biologie de la flore des

zones arides et sahariennes : Bilan (1980-2000). Perspectives pour la lutte contre la désertification dans les zones steppiques : 20-21 Nov2000 El Bayadh, Pp.18-41.

249. Ouerdachi, L., Boutaghane, H., Hafsi, R., Boulmaiz Tayeb, T., & Bouzahar, F. (2012). Modeling of underground dams Application to planning in the semi-arid areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia* 18 (2012), Pp. 426 – 437. [Doi : 10.1016/j.egypro.2012.05.054](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.054).

250. Ouma, G.O., & Ogallo, L.A. (2007). Desertification in Africa. Department of metrology, University of Nairobi. IGAD Climate prediction and Application Center.

251. Ozenda, P. (1977). Flore du Sahara. CNRS, Paris.

252. Ozenda, P. (1991). Flore et végétation du Sahara (Ed. 2). CNRS, Paris.

253. Ozenda, P. (2004). Flore et végétation du Sahara (Ed. 3). CNRS, Paris.

254. Pfeiffer, M., Langan, L., Linstädter, A., Martens, C., Gaillard, C., Ruppert, J.C., & Scheiter, S. (2019). Grazing and aridity reduce perennial grass abundance in semi-arid rangelands—Insights from a trait-based dynamic vegetation model. *Ecological Modelling*, 395, Pp. 11–22.

255. Pontius RG., Jr, Krithivasan R., Sauls L., Yan Y., Zhang Y. (2017). Methods to summarize change among land categories across time intervals. *Journal of Land Use Science*. 12(4), Pp. 218–230

256. Pouchin, T. (2001). Cours de télédétection. Université Le havre. France, P. 44.

257. Pouget, M. (1980). Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Travaux et documents d'Orstom, Paris, P. 569.

258. Powel, S.L., Cohen, W.B., Healey, S.P., Kennedy, R.E., moisen, G.G., Pierce, K.B., & Ohmann, J.L. (2010). Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat timseries and field inventory data : Acomprison of empirical modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 14, Pp. 1053-1068.

259. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 48, 119–126. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90032-4](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90032-4).

260. Quézel, P., & Santa, S. (1962-1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 2. CNRS, Paris.

261. Quezel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 2, CNRS, Paris.

262. Rahman, I.U., Hart, R., Afzal, A., Iqbal, Z., Ijaz, F., Abdallah, E.F., Ali, N., Khan, S.M., Alqarawi, A.A., Alsubeie, M.S., & Bussmann, R.W. (2019). A new ethnobiological similarity

index for the evaluation of novel use reports. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), Pp. 2765–2777.

263. Ramade, F. (1984). *Eléments d'écologie – Ecologie fondamentale*. Ed. Mc Graw.

264. Reeves, M.C., & Baggett, L.S. (2014). A remote sensing protocol for identifying rangelands with degraded productive capacity. *Ecol. Indic.* 43, Pp. 172–182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.009>.

265. Reinhart, K.O., Rinella, M.J., Waterman, R.C., Petersen, M.K., & Vermeire, L.T. (2018). Testing rangeland health theory in the Northern Great Plains. *J. Appl. Ecol.* 56 (2), Pp. 319–329. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13273>.

266. Remote sensing of Environment. 110, Pp. 412-419.

267. Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P.J., Downing, T.E., Dowlatabadi, H., Fernandez, R.J., Herrick, J.E., Huber- Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F.T., Ayarza, M., & Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science* 316, Pp. 847–851. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1131634>.

268. Rochier, D.A., & Rumbachs R.M. (2004). Broad-scale mapping of temporary wetlands in arid Australia. *Journal of Arid Environments*, 56, Pp. 249-263.

269. Rodriguez, A.R., Mora, J., Arbelo, C., & Bordon, J. (2005). Plant succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). *Catena*, 59, Pp. 117–131.

270. Rondia, P. (2006). Aperçu de l'élevage ovin en Afrique du nord. *Rev. Filière Ovine Caprine* 18, Pp. 11-14.

271. Roselt/Oss, Algérie. (2005). Observatoire des Hautes Plaines Steppiques du Sud Oranais. Bilan final du Projet OSS / ROSELT / CRSTRA /ALGERIE, P. 112.

272. Ruellan, A. (1976). Synthèse et perspectives : migrations et accumulations des carbonates. *Bulletin de la Société Géologique de France* 7 (1), Pp. 41–44.

273. Safaei, M., Jafari, R., & Bashari, H. (2018). Mapping and monitoring of the structure and function of rangeland ecosystems in central Zagros, Iran. *Environ Monit Assess* 190, 662.

274. Salemkour, N., Aidoud, A., Chalabi, K., & Chefrou, A. (2016). Évaluation des effets du contrôle de pâturage dans des parcours steppiques arides en Algérie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Société nationale de protection de la nature*, 71 (2), Pp. 178-191.

275. Salemkour, N., Fadlaoui, H., & Lebidi, A. (2017). La restauration de la richesse et la diversité floristique par la mise au repos dans une steppe à *Stipa tenacissima* (L.) de la région de M'Sila, Algérie. *Afrique SCIENCE*, 13(4), Pp. 369–380.
276. Salvati, L. (2018). Mediterranean landscape, desertification and the population-economy nexus: permanent assessment and implications for mitigation policies, *International Journal of Social Sciences*, International Institute of Social and Economic Sciences, 7(1), Pp. 112-124.
277. Sedrati, N. (2011). Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud-Est-Algérien. Badji Mokhtar-Annaba University.
278. Selemani, I.S. (2020). Indigenous knowledge and rangelands biodiversity conservation in Tanzania: success and failure. *Biodiversity and Conservation*, 29, Pp. 3863–3876.
279. Seltzer, P. (1946). *Le climat de l'Algérie*. Alger, Algérie, Institut de météorologie et physique du globe, P. 219.
280. Senoussi, A., Schadt, I., Hioun, S., Chenchouni, H., Saoudi, Z., Aissaoui, Z.H., Ouarda, Z., Mohammed, N., Carpino, S., & Rapisarda, T. (2021). Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria. *Grass Forage Sci*, 76(2), Pp. 282–299.
281. Serhani, H. (2008). Contribution à l'évaluation de la valeur et de la productivité pastorale d'un parcours à dominance *Salsola vermiculata* (cas de la région de Tébessa). Thèse d'ingénieur d'état. Université El hadj Lakhdar. Batna, P. 72.
282. Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2003). Post-classification change detection with data from different sensors: Some accuracy considerations. *International Journal of Remote Sensing*, 24(23), Pp. 4975–4976.
283. Slimani, H., Aidoud, A., & Roze, F. (2010). 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *Journal of Arid Environments* 74 (2010), Pp. 685–691 <https://doi:10.1016/j.jaridenv.2009.10.015>.
284. Slimani, H., & Aidoud, A. (2018). Quarante ans de suivi dans la steppe du Sud-Oranais (Algérie) : changements de diversité et de composition floristiques. *Revue d'écologie*.
285. Snaibi, W., Mezrhab, A., Sy, O., & Morton, F.F. (2021). Perception and adaptation of pastoralists to climate variability and change in Morocco's arid rangelands. *Journal of Heliyon* 7 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08434>.

286. Sorensen, T.A. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *K dan Vidensk Selsk Biol Skr.*, 5, Pp. 1–34.
287. Soudani, K. (2007). Introduction générale à la télédétection (Version 1.0-Mars 2005 Université Paris sud 2006/ (2007), P. 26. [www.esse.u-psud.fr](http://www.esse.u-psud.fr).
288. Steinberg, J. (2002). Cartographie : systèmes d'information géographique et télédétection.
289. Stewart, P. (1968). Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique: quelques réflexions. *Soc Hist Natur Afr Nord Bull*.
290. Taibaoui, B., Douaoui, A., & Bouxin, G. (2020). Diversité floristique de la steppe sud algéroise : cas de la région de Djelfa (Algérie). *Le Jeunia Revue De Botanique*, P. 203.
291. Tir, C. (2007). Genèse des sols à accumulation gypso-calcaire et saline dans la région Ain-Ben Noui- Biskra approche minéralogique et morpho scopique. Thèse de Magister. Institut national agronomique El-Harrach, Alger, P. 38.
292. Tuner, W., Spector, S., Gaediner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger M., (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation trends In *Ecologie & evolution* 18(6), Pp. 306-314.
293. U.N. (2010–2020). UN Decade for Deserts and the Fight against Desertification. United Nations. n.d. [https://www.un.org/en/events/desertification\\_decade/why\\_now.shtml](https://www.un.org/en/events/desertification_decade/why_now.shtml).
294. U.N.C.C.D. (United Nations, Convention to Combat Desertification). (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. Document A/AC. 241/27, 12. 09. 1994 with Annexes. United Nations, New York, NY.
295. Vecchio, M.C., Bolaños, V.A., Golluscio, R.A., & Rodríguez, A.M. (2019). Rotational grazing and enclosure improves grassland condition of the halophytic steppe in Flooding Pampa (Argentina) compared with continuous grazing. *Rangeland J.* 41 (1), Pp. 1–12. <https://doi.org/10.1071/RJ18016>.
296. Verbyla, D. L. (2003). Practical GIS analysis. CRC press.
297. Vergely, P. (2010). Initiation Aux cartes et Aux coup géologiques. Paris : 2ème Ed, P. 9.
298. Vermeulen, L.M., Munch, Z., & Palmer, A. (2021). Fractional vegetation cover estimation in southern African rangelands using spectral mixture analysis and Google Earth Engine. *Journal*

- of Computers and Electronics in Agriculture 182 (2021) 105980.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105980>
299. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., & López-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate*, 23, Pp. 1696–1718.
300. Wael, E., Bouiadjra, S.E.B., Benslimane, M., Mederbal, K. (2009). L'écosystème steppique face à la désertification : cas de la région d'El Bayadh, Algérie.  
<https://doi.org/10.4000/vertigo.8821>
301. Wessels, K.J., Van Den Bergh, F., & Scholes, R.J. (2012). Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. *Remote Sens. Environ.* 125, Pp. 10–22.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.022>.
302. West, P.W. (1995). Application of regression analysis to inventory data with neasurements on successive occasion. *Forest Ecology and Management* 71, Pp. 227-234.
303. Willis, K. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biol. Conserv.* 182, Pp. 233–242.
304. Wolda, H. (1981). Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50, Pp. 296.
305. Woo, D., & Do, V.D. (2015). Post-classification change detection of high-resolution satellite images using ada-boost classifier multi-class adaboost algorithm. *Advanced Science and Technology Letters*, 117, Pp. 34–38.
306. World Meteorological Organization. (2012). Standardized Precipitation Index User Guide. (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). WMO-No. 1090. Geneva. ISBN 978-92-63-11091-6, P. 16.
307. Yahiaoui, F. (2011). Contribution to the evaluation of the impact of *Atriplex canescens*, on some chemical physico parameters of the ground of the zone of Sidi Ahmed wilaya of Saida. Master Thesis, Algiers University.
308. Yeung, A. K., & Hall, G. B. (2007). Spatial database systems : Design, implementation and project management (Vol. 87). Springer Science Business Media.
309. Youssef, A.M., & Al-Fredan, M.A. (2008). Community composition of major vegetations in the coastal area of Al-Uqair, Saudi Arabia in response to ecological variations. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(4), Pp. 713-721.



310. Youssef, A.M., Al-Fredan, M.A., & Fathi, A.A. (2009). Floristic composition of Lake Al-Asfar, Al-Hofouf, Saudi Arabia. *International Journal of Botany*, 5(2), Pp. 116 - 125.
311. Zegeye, H., Teketay, D., & Kelbessa, E. (2006). Diversity, regeneration status and socio-economic importance of the vegetation in the island of Lake Ziway, south-central Ethiopia. *Flora*, 201, Pp. 483-98.
312. Zemmar, N., M'hammedi, B.M., Ababou, A., & Hedidi, D. (2020). Analysis of the floristic diversity in a Southern Mediterranean ecosystem. Case of Bissa forest, Chlef (Algeria). *Botanica Complutensis*, 44, Pp.19–28.
313. Zerga, B. (2015). Rangeland degradation and restoration: A global perspective. *Point J. Agric. Biotechnol. Res.* 1 (2), Pp. 037-054.
314. Zhang, Y.M., Chen, Y.N., & Pan, B.R. (2005). Distribution and floristic of desert plant communities in the lower reaches of Atrium River, Southern Xinjiang, Peoples Republic of China. *Journal of Arid Environments*, 63, Pp. 772-784.



# ***Annexes***

## Botanical Diversity of Arid Steppe in South East of Algeria (Biskra)

Amina Belhadj<sup>1,2\*</sup>, Fatma Demnati Allache<sup>1,2</sup>, Nouar Boulghobra<sup>3</sup>, Naima Mebrek<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural Sciences, University of Biskra, BP 145 RP, 07000 Biskra, Algeria

<sup>2</sup> Laboratory of Ecosystems Diversity and Agricultural Production Systems Dynamics in Arid Zones (DEDSPAZA), University of Biskra, BP 145 RP, 07000 Biskra, Algeria

<sup>3</sup> Scientific and technical research centre on the arid regions CRSTRA, Biskra, Algeria

\* Corresponding author's e-mail: amina.belhadj@univ-biskra.dz

### ABSTRACT

In the light of climate change, it is important to acquire the information on the diversity of flora in order to ensure rational use of steppe rangelands. The present study aimed at diagnosing the botanical and the taxonomic diversity of the arid steppe plant communities in South East of Algeria. A total of 216 phytoecological sampling, were collected in three sites and one sample for each month during 2017 and 2018. The vegetation was analyzed using various species diversity parameters (abundance, species richness, life forms, alpha and beta diversity indices and disturbance index). Results show that 985 plant individuals were classified into 27 species, 27 genera and 14 families, with predominance of Chenopodiaceae and Asteraceae in the arid steppe of El-Haouch, and remarkable dominance of Chamaephytic and Therophytic plants in different phytoecological groups. The state of vegetation degradation in a susceptible environment on Algeria's rangeland in the South East which is confirmed by the low values of Shannon, Jaccard indices and the values of disturbance index ranged between 50 and 85.71%. The alpha diversity parameters of the different phytoecological groups have low values, which reflect a more fragile homogeneous ecosystem, unfavorable life conditions and the absence of certain species of high pastoral value.

**Keywords:** plant diversity, diversity parameters, arid steppe, plant communities.

### INTRODUCTION

In arid and semi-arid regions, rangelands are important areas for the conservation of biodiversity in terms of species and habitats [Kideghesho et al., 2013], and are sources of livelihood for the communities; provide food for livestock and fauna, medicinal plants and other diverse ecosystem services [Abule et al., 2007; Selemani, 2020]. Algeria rangelands cover more than 8.4 % of the country's surface area [Neffar et al., 2018]. This transition area is located between the isohyets 400 mm in the North and 100 mm in the South [Aidoud et al., 2006].

In arid steppic rangelands, severe climatic conditions promoted the existence of a specialized plant community [Quezel and Santa, 1963; Slimani et al., 2010; Fatmi et al., 2020; Merdas et al., 2021].

The vegetation in Algerian steppe, occupies an area of 15 M ha. This vegetation is dominated by *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba*, *Lygeum spartum* and *Atriplex halimus* [Le Houérou, 2001]. Plant communities including *Aristida pungens*, *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium*, *Atractylis serratuloides*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, *Retama retam*, *Salsola vermiculata*, and *Thymelaea microphylla* are species that tolerate difficult environmental conditions [Nedjraoui and Bedrani 2008; Boughani et al., 2009; Boughani, 2014; Lahmar-Zemiti and Aidoud, 2016; Belala et al., 2018; Senoussi et al., 2021]. According to Hubert [1994], the specific diversity of steppic vegetation is an opportunity for livestock grazing.

Over the last three decades, steppic rangelands have suffered from rapid degradation [Slimani et al., 2010] by climatic factors [Bensmira et

al., 2015] and human activities such as overgrazing. The impact of overgrazing is reflected by the rarefaction and even disappearance of some useful plant species with high forage value, the abundance and even dominance of some less palatable species, and the development of unpalatable species [Ghiloufi et al., 2015]. However, the area of grazing rangeland has decreased at the expense of marginal crops [Demnati et al., 2017].

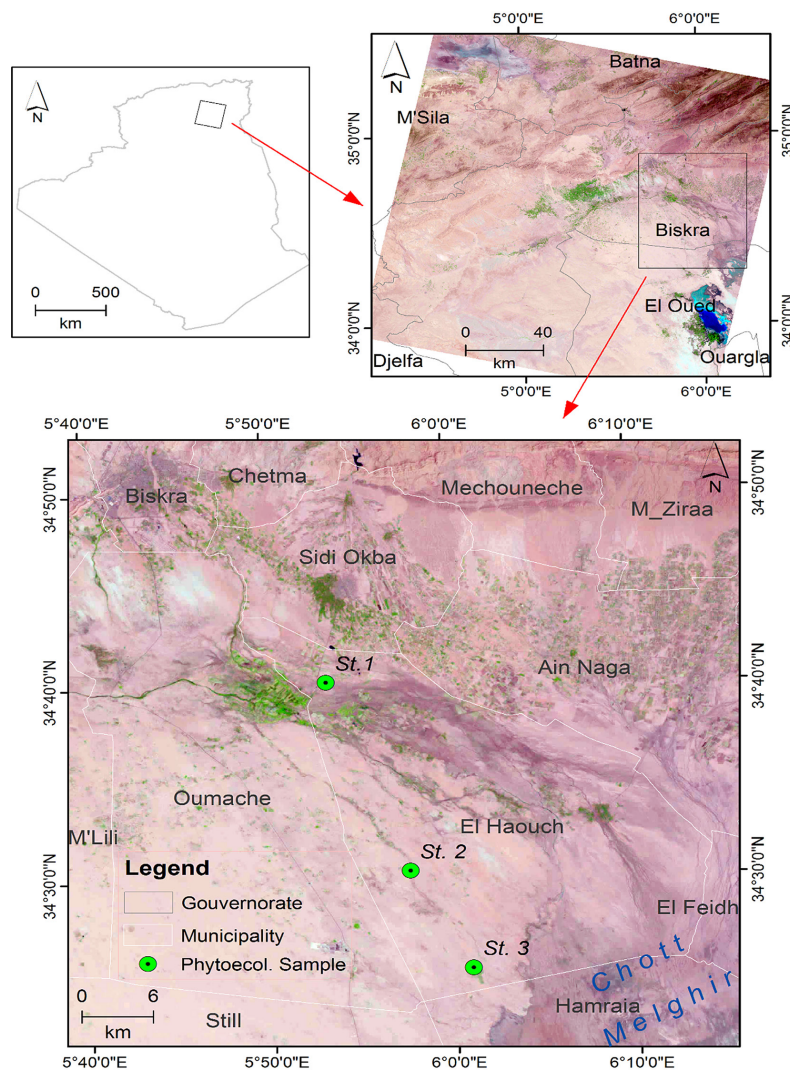
The steppic rangelands of the region of Biskra have very diverse natural resources and benefits. Indeed, despite its importance, few studies such as Haoumel [2018] and Chaouch Khaoune [2018], have been conducted in this region. In addition, agropastoralism in the region of El-Haouch remains the principal activity at local and regional level, it was noted that the number of sheep has increased from 20 475 heads in 1996 to 52 143 in 2019 [DPAT, 2021].

This study aimed to diagnose the botanic diversity in the region of El-Haouch (Biskra), with establishing phytoecological groups and analyzing plant species composition, in addition to the assessment of botanical diversity by estimating richness (annual and perennial plants), life forms, diversity (alpha and beta-diversity) and disturbance index.

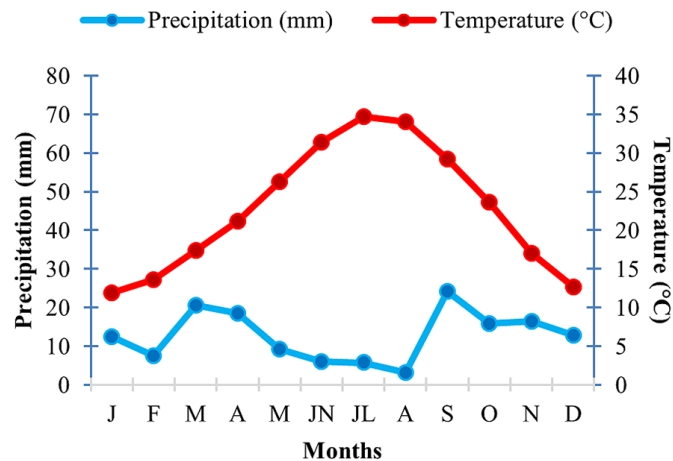
## MATERIAL AND METHODS

### Study area

The region of El-Haouch ( $34^{\circ}33'43''$  N,  $06^{\circ}03'05''$  E) is located in the South of Biskra (southeastern Algeria) (Fig. 1). Climate is arid. During the period 1987-2019, precipitation was marked by low amounts (152 mm) and high irregularity (49 mm in 2017 to 343 mm in 1994),



**Figure 1.** Geo-localization map showing the phytoecological sampling sites in South East of Algeria (Biskra)



**Figure 2.** Diagram of Gaussen and Bagnouls applied for the region of Biskra (southeast Algeria), where mean temperature in (°C) and precipitation in (mm) are monthly averages on long-term climatic data from 1987 to 2019

maximum temperatures are higher than 26 °C throughout the year, reaching 40 °C in July and August, minimum temperatures can reach 7 °C in winter and 28 °C in summer, annual relative humidity ranges around 41%, with long dryness period (Fig. 2).

Phytoecological sampling sites were selected according to altitude, geomorphology of the landscape and homogeneity of ecological conditions (Fig. 1).

The soils of the samples sites have poor physicochemical characteristics, in which pedological analyses reveal that sites have highly saline soils (electrical conductivity included = 10.2 dS/m at site 3), which are typically sandy and slightly alkaline (pH = 7.42–8.49), highly deficient in organic matter (0.25–1.76%) and moderately calcareous (CaCO<sub>3</sub> content varies from 22.01 to 32.75%).

## Data and methods

The conducted study consists in carrying out a short-term monitoring in the arid steppe rangelands in South-East Algeria, three sites (Fig. 1) were selected; site 1 (altitude = 17 m), site 2 (altitude = 11 m) and site 3 (altitude = -18 m). Phytoecological sampling was conducted, one sample by month during 2017 and 2018, following a subjective sampling the most simple, 216 samples were collected on floristically homogeneous and representative areas, with a minimum area of 100 m<sup>2</sup> (10×10 m) according to [Djebaili, 1984; Chalane, 2012; Yahiaoui, 2011; Arabi et al., 2015; Amrani, 2021].

For each sample and specie, its abundance-dominance index was noted from + to 5 according

to the scale of Braun-Blanquet et al. [1952]. The identification of existing species was determined referring to several authors Quézel and Santa [1962–1963] and Ozenda [1977], in addition to online resources ([www.telabotanica.org](http://www.telabotanica.org)).

## Individualization of phytoecological groups

On the basis of agglomerative hierarchical clustering (AHC), abundance-dominance data for each plant species surveyed in the 216 samples were used to establish homogeneous phytoecological groups [Bouallala et al., 2020]. The AHC considers similarities between surveys within the same group to discriminate subgroups of very similar surveys [Mecheroum et al., 2021].

## Taxonomic structure

The taxonomic structure of each phytoecological group was calculated using the ratios of family richness to species richness (F/S) for each sample. The taxonomic structure of the different phytoecological groups depends on environmental conditions. However, the relationship between taxonomic relationships and ecological variables in this environment were examined using Pearson correlation tests.

## Life cycle

The determination of morphological types, annual and perennial species, was based on the work of Quézel and Santa [1962; 1963] and Ozenda [2004].

**Life form**

According to Raunkiaer’s classification [revised by Ellenberg and Mueller-Dombois, 1967], plants can be classified according to their biological form “life form” determined by the phenological state of the species that reflects the expression of its adaptation to its environment, which is related to the protection of the meristem from the soil surface during the unfavorable season. The following main life forms were considered: Chamaephytes, Hemicryptophytes, Phanerophytes and Therophytes.

**Alpha diversity**

Species richness (S): total number of species present in a given sample site [Magurran, 2004]. Shannon diversity index (H’). S: the specific richness in the sampled site, ni: number of individuals of species i in the sampled site, N = total number of individuals of species S.

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left( \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N} \right) \quad (1)$$

The evenness index “E”, was calculated as the ratio between the Shannon diversity index, where S is the specific richness in the sampled site and the theoretical maximum diversity.

$$E = H' / \log_2 s \quad (2)$$

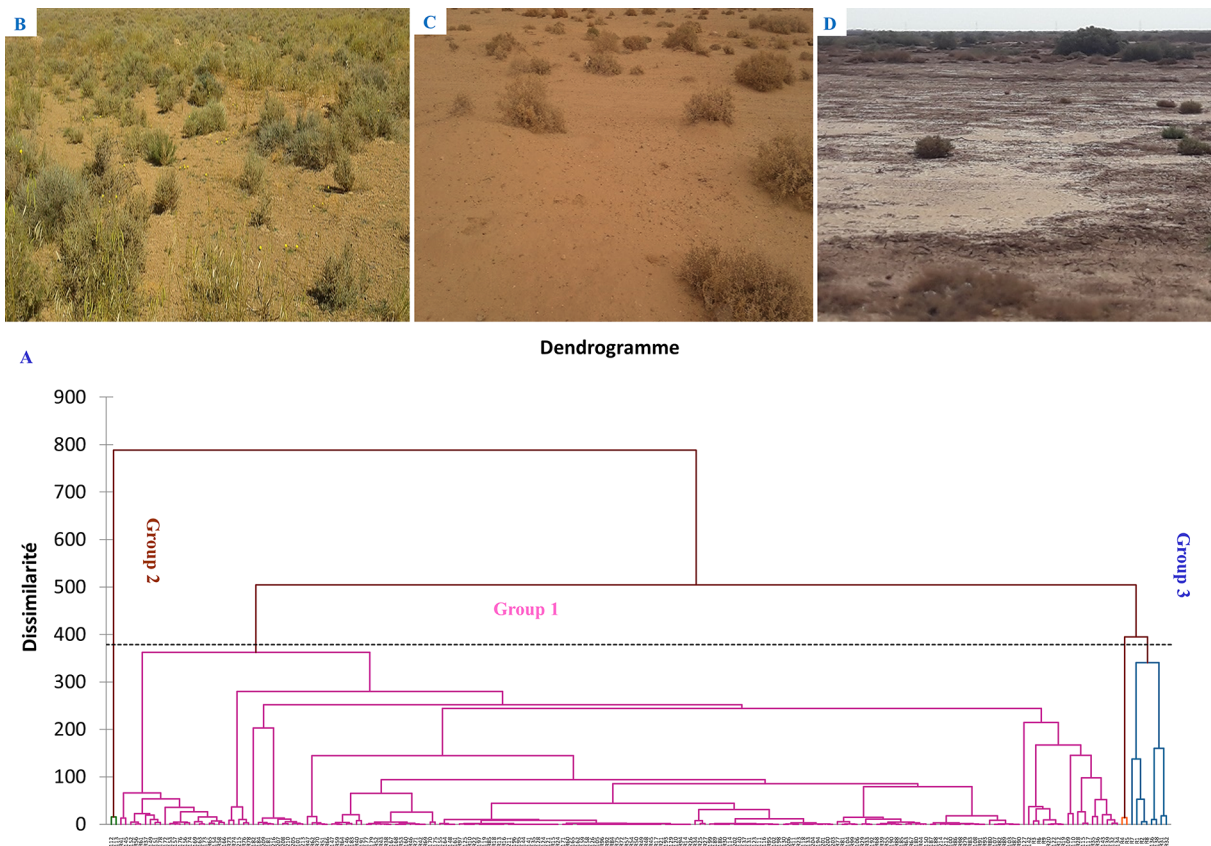
$$H'_{max} = \log_2 s \quad (3)$$

**Beta diversity**

Spatial similarity between different phytoecological groups was assessed by Vann’s diagram and qualitatively by Jaccard (J) and Sørensen indices (S).

$$J = \frac{a}{a + b + c} \quad (4)$$

where: a – the total number of species present in both sites;  
 b – the number of species present only in the first site;  
 c – the number of species present only in the second site. [Benkhattou et al., 2022].



**Figure 3.** Agglomerative hierarchical clustering showing the phytoecological groups of plant in arid steppe of southeast Algeria (Biskra) (A). B: steppe of *Atriplex halimus* and *Tamarix gallica* (Group 1), C: steppe of *Retama retam* and *Thymelaea microphylla* (Group 2), D: steppe of *Atriplex halimus* and *Suaeda vermiculata* (Group 3)

$$S = \frac{2c}{2c + a + b} \quad (5)$$

where:  $a$  – the number of species unique in site 2,  
 $c$  – the number of species unique in site 1,  
 $b$  – the number of species common to site  
 1 and 2 [Sorensen, 1948; Wolda, 1981;  
 Rahman et al., 2019].

### Disturbance index

The disturbance index was calculated to measure the rate of therophytization in the different phytoecological groups [Loisel and Gamila, 1993].

$$Id(\%) = \frac{Th + Ch}{S} \quad (6)$$

where:  $Th$  – the number of therophytes;  
 $Ch$  – the number of chamaephytes;  
 $S$  – the species richness.

## RESULTS

### Phytoecological groups

The agglomerative hierarchical clustering (Fig. 3) allowed individualizing three different groups during two years; group (G1), represents a rangeland established on wadi beds, it included (15; 17) species belonging to 10 families where *Atriplex halimus* and *Tamarix gallica* dominate (56%; 2017, 63%; 2018); group (G2), is a sandy soil, the number of species recorded is (6; 8) species in year 2017, 2018 respectively, belonging to (4; 6) families with *Retama retam* and *Thymelaea microphylla* as characteristic species of the vegetation, these are psammophytes on aeolian formations; group (G3), near to chott Melghir characterized by salty accumulations dominated by *Atriplex halimus* and *Suaeda vermiculata* where (7 ; 9) species and 4 families were reported.

### Floristic composition

During the study period, a total of 985 individuals belonging to 27 species, 27 genera and 14 families were recorded in the arid steppe rangelands of the El-Haouch region (Table 1). The plant communities are particularly dominated by the Chenopodiaceae (29.03%) of which six species *Anabasis articulata*, *Atriplex halimus*,

*Salsola tetrandra*, *Spinacia oleracea*, *Suaeda vermiculata*, *Traganum nudatum*, followed by Asteraceae (15%) represented by five species *Artemisia campestris*, *Atractylis aristata*, *Centaurea pungens*, *Echinops spinosus*, *Rhantherium suaevolens*, Fabaceae (15%) and Poaceae (10%) by three species. Amaranthaceae, Boraginaceae, Euphorbiaceae, Globulariaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Rhamnaceae, Tamaricaceae, Thymeliaceae, Zygophyllaceae were represented by one species (2%) (Table 2).

Moreover, based on the relative frequencies of botanical families, in the three phytoecological groupings, there are three dominant families in these arid rangelands, where Chenopodiaceae have the highest frequency (57.14%; 2017 and 56%; 2018) in the rangelands of salt accumulation (G3). The plant communities of the rangelands established on the wadi bed (G1) are dominated particularly by Chenopodiaceae and Asteraceae 20% (2017) and 24% in year 2018. The rangelands of the aeolian formations (G2) dominated by Fabaceae 33.33% (2017) and Chenopodiaceae 25% (2018).

In terms of relative abundances, the plant species with the highest relative abundances (RA) are: 1) *Atriplex halimus* (38%; 2017 and 46.49%; 2018) and *Tamarix gallica* (30.14%; 2017 and 36%; 2018) at the level of wadi bed rangelands, while *Thymelaea microphylla* (40%, 34%), *Retama retam* (30%, 31.01%) *Aristida pungens* (5%, 27.27%) in 2017 and 2018, respectively, are the most abundant in the rangelands of aeolian formations, and in the rangelands of saline accumulations, *Suaeda vermiculata* (44%; 2017) and *Atriplex halimus* (26.04%; 2017 and 41% ; 2018) remains the most common.

### Taxonomic structure and effect of ecological processes

The ratio (F/S) is  $0.76 \pm 0.35$  (2017) and  $0.91 \pm 0.22$  (2018). Pearson's correlation test showed significantly positive correlations ( $r_{G1-G2} = 0.240$ ;  $p_{G1-G2} = 0.002$  ( $<0.05$ )) between the phytoecological groups; G1 (Wadi beds) and G2 (aeolian formations); this indicated that variations in the F/S (Family/Species) ratio are related to local environmental conditions (Table 3).

**Table 1.** Systematic list of families, genre, lifecycle forms and plant species identified in arid steppe of southeast Algeria (Biskra) (P: Perennial, A: Annual, +: Presence, -: Absence)

Family	Genre	Species	2017			2018			
			Lifecycle forms	Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Amaranthaceae	Arthrocnemum	<i>Arthrocnemum glaucum</i> (Moric.) K. Koch	P	-	-	+	-	-	+
Asteraceae	Artemisia	<i>Artemisia campestris</i> L.	P	+	-	-	+	-	-
	Atractylis	<i>Atractylis aristata</i> Batt.	P	+	-	-	+	-	-
	Centaurea	<i>Centaurea pungens</i> Pomel.	A	-	-	-	+	-	-
	Echinops	<i>Echinops spinosus</i> L.	A	-	+	-	-	+	-
	Rhantherium	<i>Rhantherium suaveolens</i> Desf.	P	+	-	-	+	-	-
Boraginaceae	Echium	<i>Echium vulgare</i> L.	A	-	-	-	+	-	-
Chenopodiaceae	Anabasis	<i>Anabasis articulata</i> Forssk.	P	+	+	+	+	++	+
	Atriplex	<i>Atriplex halimus</i> L.	P	+++	-	+	+++	+	++
	Salsola	<i>Salsola tetrandra</i> Forssk.	P	-	-	+	-	-	+
	Spinacia	<i>Spinacia oleracea</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
	Suaeda	<i>Suaeda vermiculata</i> Forssk.	P	-	-	++	-	-	+
	Traganum	<i>Traganum nudatum</i> Delile.	P	-	-	-	-	-	+
Euphorbiaceae	Euphorbia	<i>Euphorbia cornuta</i> Forssk.	A	+	-	-	-	-	-
Fabaceae	Astragalus	<i>Astragalus armatus</i> Willd.	P	+	+	-	+	+	+
	Cassia	<i>Cassia italica</i> Mill.	P	-	-	-	+	-	-
	Retama	<i>Retama retam</i> (Forssk.) Webb	P	-	++	-	-	+	+
Globulariaceae	Globularia	<i>Globularia alypum</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
Lamiaceae	Ballota	<i>Ballota hirsuta</i> (Willd).	A	+	-	-	-	-	-
Malvaceae	Malva	<i>Malva aegyptiaca</i> L.	A	+	-	-	+	-	-
Poaceae	Aristida	<i>Aristida pungens</i> Desf.	P	-	+	-	-	+	-
	Cynodon	<i>Cynodon dactylon</i> L.Pers.	A	+	-	-	+	-	-
	Lolium	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	A	+	-	-	+	-	-
Rhamnaceae	Ziziphus	<i>Zizyphus lotus</i> (L.) Lam.	P	-	-	-	+	-	-
Tamaricaceae	Tamarix	<i>Tamarix gallica</i> L.	P	++	-	+	+++	+	+
Thymeliaceae	Thymelaea	<i>Thymelaea microphylla</i> Coss. & Durieu ex Meisn.	P	-	++	-	-	++	-
Zygophyllaceae	Peganum	<i>Peganum harmala</i> L.	P	+	-	+	+	-	-

### Life cycle

On the basis of abundance, perennial species are dominated in the different phytoecological groups; group 1 (89%; 89%), group 2 (92.07; 99.46%), and group 3 (98; 100%) in 2017 and 2018, respectively. The life cycle forms with the highest frequency of occurrence in the surveys were the perennials in group 1 (37.30%; 25%), group 2 (29%; 33.33%), and group 3 (29.17%; 30%) in 2017 and 2018, respectively (Fig. 4).

### Life forms

Except for the rangelands established on wadi beds, chamaephytes species have the highest values in the biological spectra of life forms in the rangelands of aeolian formations (G2) and saline accumulation rangelands (G3) with ( $50 \pm 0$ ;  $74.60 \pm 4.49$ ), respectively (Table 4). Therophytes ( $34.71 \pm 7.49$ ) are dominant in wadi beds rangelands (G1), geophytes are observed only in these rangelands with 13.33% and 17.65% in year



**Table 2.** Frequencies of plant families (%) in arid steppe of southeast Algeria (Biskra). Overall value is given as means with standard deviation

Family	Wadi beds (%)			Aeolian formations -Dunes (%)			Salty accumulations -Depression (%)		
	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall
Amaranthaceae	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	14.29	11.11	12.70 ± 2.24
Asteraceae	20.00	23.53	21.76 ± 2.50	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Boraginaceae	0.00	5.88	2.94 ± 4.16	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Chénopodiaceae	20.00	17.65	18.82 ± 1.66	16.67	25.00	20.83 ± 5.89	57.14	55.56	56.35 ± 1.12
Euphorbiaceae	6.67	0.00	3.33 ± 4.71	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Fabaceae	6.67	11.76	9.22 ± 3.60	33.33	25.00	29.17 ± 5.89	0.00	22.22	11.11 ± 15.71
Globulariaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Lamiaceae	6.67	0.00	3.33 ± 4.71	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Malvaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Poaceae	13.33	11.76	12.55 ± 1.11	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Rhamnaceae	0.00	5.88	2.94 ± 4.16	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Tamaricaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	12.50	6.25 ± 8.84	14.29	11.11	12.70 ± 2.24
Thymeliaceae	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	16.67	12.50	14.58 ± 2.95	0.00	0.00	0.00 ± 0.00
Zygophyllaceae	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	0.00	0.00	0.00 ± 0.00	14.29	0.00	7.14 ± 10.10

**Table 3.** Descriptive statistics of ration of family richness to species richness (F/S) and Pearson correlation tests (r: correlation coefficient, P: P-value) between the taxonomic ration (F/S) and phytocological groups in arid steppe of southeast Algeria (Biskra)

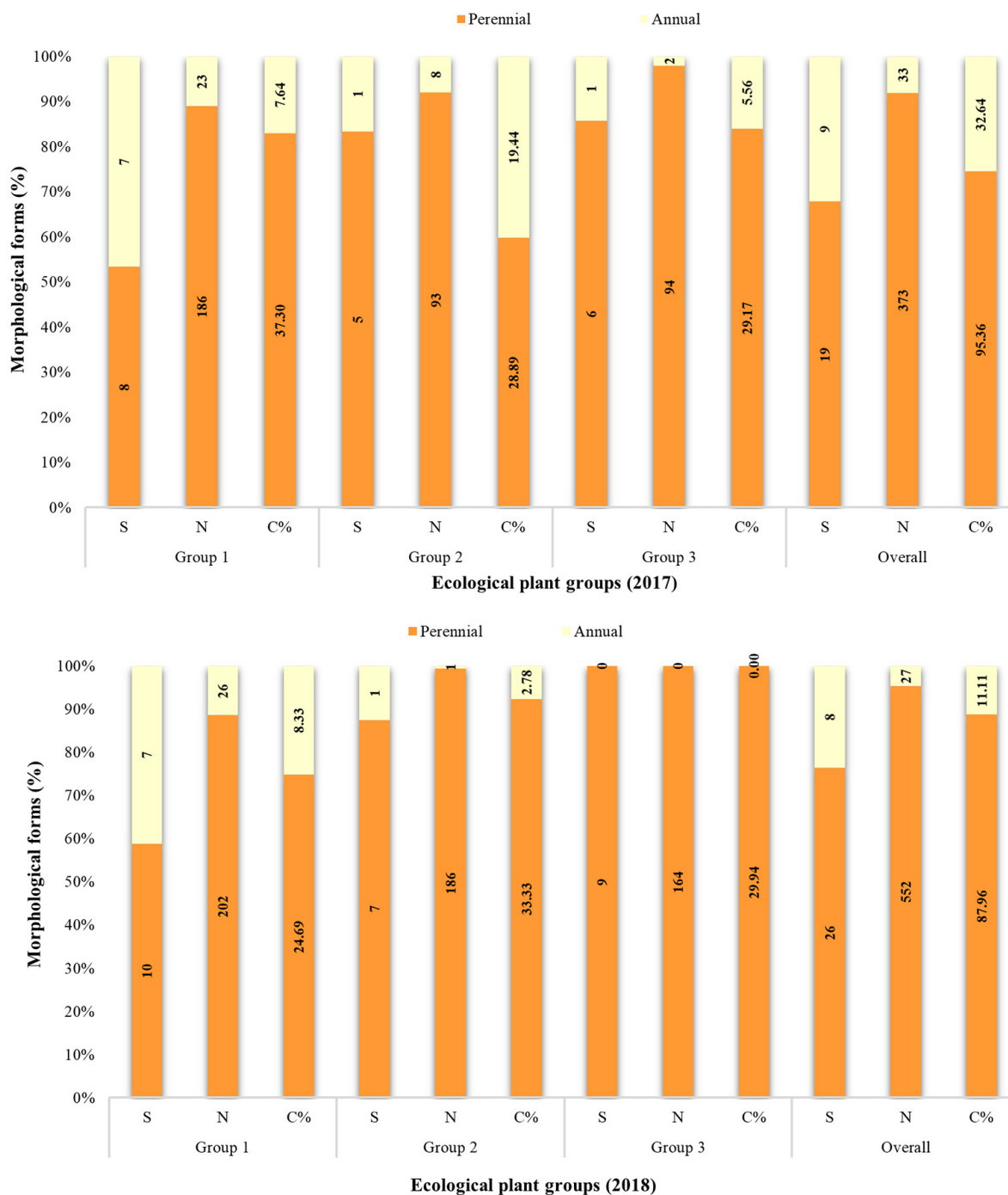
Variables	Family/Species (F/S) ration (2017)				Family/Species (F/S) ration (2018)				
	Group 1	Group 2	Group 3	Overall	Group 1	Group 2	Group 3	Overall	
Mean	0.856	0.784	0.635	0.758	0.952	0.896	0.873	0.907	
Standard deviation	0.287	0.500	0.555	0.447	0.184	0.311	0.190	0.228	
Quartile	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Minimum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.167	
Maximum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Pearson correlation tests									
Group 1	r	1	0.012	0.001	0.338	1	0.240	0.009	0.416
	p	0	0.522	0.830	0.451	0	0.002	0.589	0.197
Group 2	r	0.012	1	0.047	0.353	0.240	1	0.031	0.424
	p	0.522	0	0.203	0.242	0.002	0	0.308	0.103
Group 3	r	0.001	0.047	1	0.350	0.009	0.031	1	0.346
	p	0.830	0.203	0	0.344	0.589	0.308	0	0.299

2017, 2018, respectively. Phanerophytes are represented by (*Tamarix gallica*, *Zizyphus lotus* and *Retama retam*), occurring in different phytocological groups. Hemicryptophytes are 6.27 ± 0.55 at the courses of wadi beds (G1) and 29.17 ± 5.89 in the rangelands of aeolian formation (G2).

**Alpha diversity**

For the whole study area, the species richness was 3.11 ± 0.99 (G1; 2017), 1.30 ± 1.61 (G2; 2017) and 1.5 ± 1.59 (G3; 2017) and for the year 2018 (2.77 ± 2.37), (2.13 ± 1.45) and

(2.61 ± 1.29) for G1, G2 and G3, respectively. The number of individuals, in descending order, recorded values of 6.33 ± 5.41; 5.80 ± 5.32; 5.19 ± 4.04; 4.55 ± 2.15; 2.80 ± 2.94 and 2.66 ± 2.49 for (G1; 2018), (G1; 2017), (G2; 2018), (G3; 2018), (G2; 2017) and (G3; 2017), respectively. The Shannon index is 1.25 ± 0.87; 1.11 ± 0.73 for group 1 in 2017;2018. Group 2 in 2017;2018 with varied values of 0.61 ± 0.74;1.02 ± 0.69 and 0.67 ± 0.73 (G3; 2017); 1.22 ± 0.58 (G3; 2018). Shannon index values in 2017, differed significantly between phytocological groups, with H' showing higher values in G1 and G3



**Figure 4.** Species richness (S), Number of individuals (N) and occurrence frequency (C%) of different lifecycle types for phytocological groups of vegetation recorder in arid steppe of southeast Algeria (Biskra)

**Table 4.** Value of life forms (%) of plant in arid steppe of southeast Algeria (Biskra). Overall value is given as means with standard deviation

Plant	Wadi beds (%)			Aeolian formations -Dunes- (%)			Salty accumulations -Depression- (%)		
	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall
Chamaephytes	33.33	35.29	34.31 ± 1.39	50	50	50 ± 0	71.43	77.78	74.60 ± 4.49
Phanerophytes	6.67	11.76	9.22 ± 3.60	16.67	25	20.83 ± 5.89	14.29	22.22	18.25 ± 5.61
Therophyte	40	29.41	34.71 ± 7.49	0	0	0.00 ± 0.00	14.29	0	7.14 ± 10.10
Geophytes	13.33	17.65	15.49 ± 3.05	0	0	0.00 ± 0.00	0	0	0.00 ± 0.00
Hemicryptophyte	6.67	5.88	6.27 ± 0.55	33.33	25	29.17 ± 5.89	0	0	0.00 ± 0.00

compared to G2 (one-factor ANOVA:  $F = 7.148$ ,  $P < 0.001$ ), while  $H'$  values in 2018, were non-significant (one-factor ANOVA:  $F = 0.840$ ,  $P = 0.434$  ( $>0.001$ )). For all phytoecological groups, the  $H'$ ; 2017 and  $H'$ ; 2018 relationships were significant and showing higher values in 2018 (one-factor ANOVA:  $F = 7.516$ ,  $P < 0.001$ ).

The highest values of maximum diversity were noted in G1; 2017 ( $1.41 \pm 0.99$ ) and G3; 2018 ( $1.31 \pm 0.59$ ), while it averaged ( $0.64 \pm 0.78$ ) and ( $0.74 \pm 0.76$ ) in the (G2, G3; 2017). The evenness showed high values ranging from  $0.79 \pm 0.32$  (G1; 2018) and  $0.85 \pm 0.29$  (G3; 2018) (Fig. 5).

### Similarity analysis between phytoecological groups

The Venn diagram showed that (1; 4) plant species were common to all phytoecological groups in year 2017; 2018, respectively, including four species common between groups G1 and G2 in 2018, and five species common to groups G2 and G3 in 2018. Of the 27 plant species recorded in the conducted study, 4 species were exclusively present in group 2 in 2017, 10 species in group 1 in 2017, and 4 species in G3 in 2018 (Fig. 6).

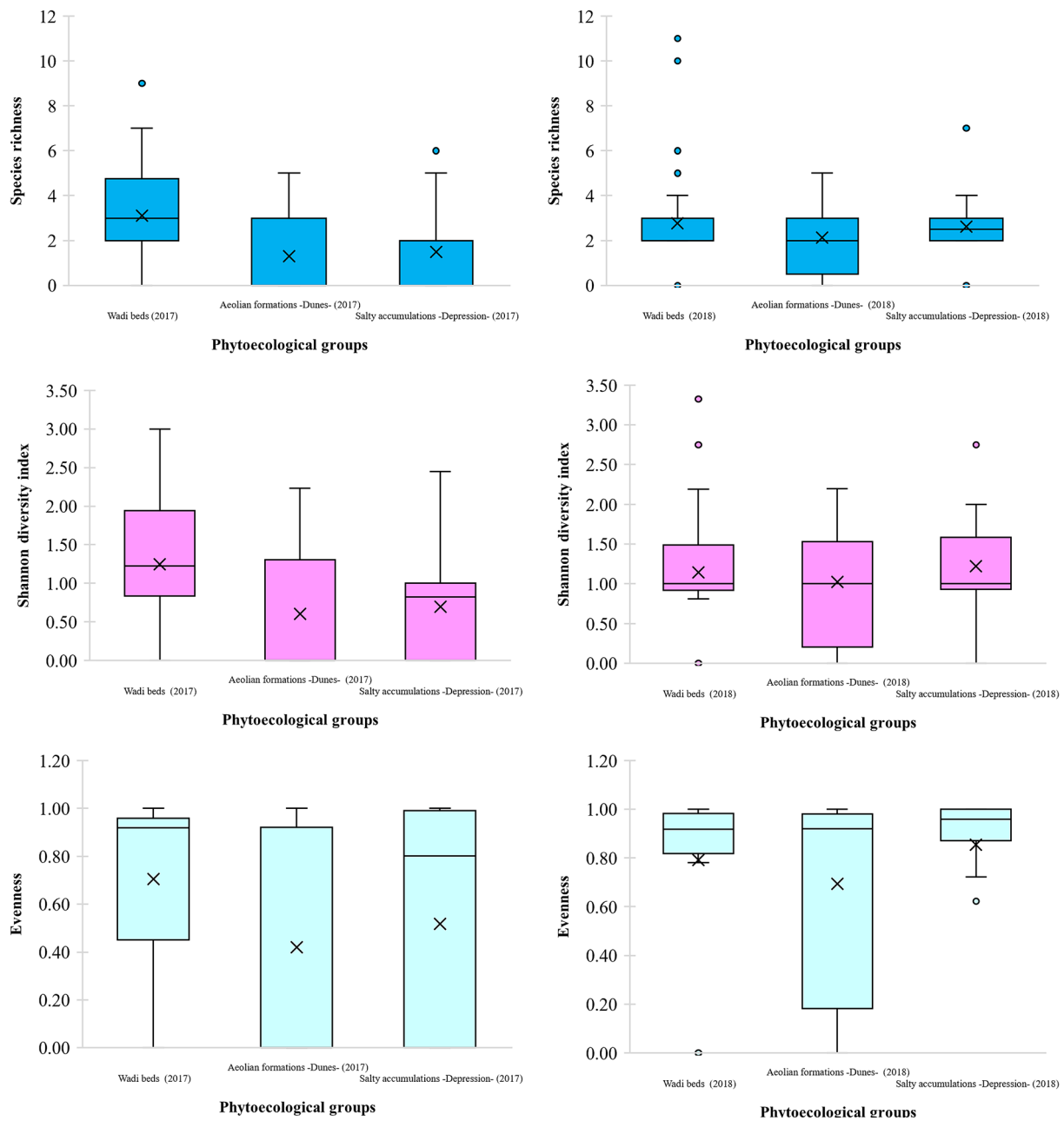
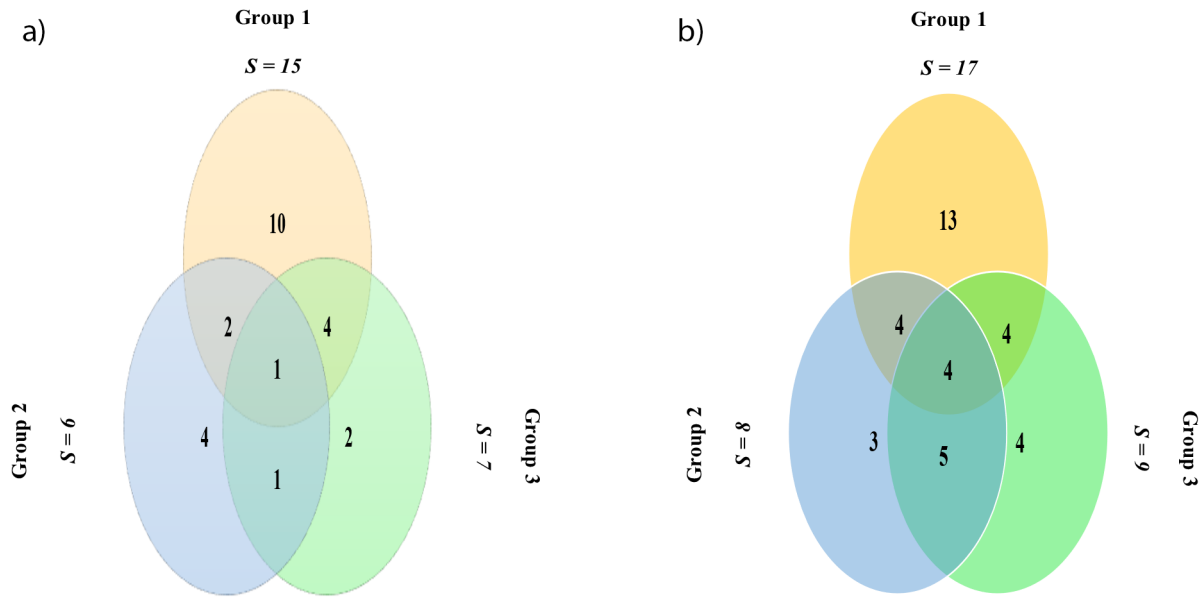


Figure 5. Diversity alpha traits for phytoecological groups of the vegetation in arid steppe of southeast Algeria (Biskra)



**Figure 6.** Venn diagram displaying plant species richness (S) recorded at various ecological groups of the vegetation associated to arid steppe of southeast Algeria (Biskra) (A): 2017, (B): 2018

**Beta diversity**

The similarity analysis showed the presence of only one common species between the three phytoecological groups in 2017 (*Anabasis articulata*), and four species *Anabasis articulata*, *Atriplex halimus*, *Astragalus armatus* and *Tamarix gallica*, in 2018 in the three phytoecological groups.

Of the 27 species reported in the arid steppe rangelands of the El-Haouch region, thirteen were exclusive to G1 (*Artemisia campestris*, *Atractylis aristata*, *Rhantherium suaveolens*, *Echium vulgare*, *Spinacia oleracea*, *Euphorbia cornuta*, *Cassia italica*, *Globularia alypum*, *Ballota hirsuta*, *Malva aegyptiaca*, *Cynodon dactylon*, *Lolium multiflorum* and *Zizyphus lotus*), Three for G2 (*Echinops spinosus*, *Aristida pungens* and *Thymelaea microphylla*) and four species for G3 (*Arthrocnemum glaucum*, *Salsola tetrandra*, *Suaeda vermiculata* and *Traganum nudatum*).

The similarity analysis (beta biodiversity) between the three phytoecological groups taken two by two showed Jaccard index values ranging from 0.08 to 0.42. The low similarity observed between the different phytoecological groups is explained by a low specific richness in the different phytoecological groups. Therefore, the species are totally different indicating that the different local environmental conditions determine a turn-over of important species. The Sørensen index values ranged from 0.40 to 0.81 between G2 and G3 in 2018, G1 and G2 in 2017, respectively (Table 5).

**Disturbance index**

The disturbance index becomes important when the area is increasingly degraded. Indeed, during both years, i.e. 2017 and 2018, this index

**Table 5.** Similarity indices between phytoecological groups in arid steppe of southeast Algeria (Biskra)

Pair comparisons	Group 1 Group 2		Group 1 Group 3		Group 2 Group 3	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Jaccard index	0.11	0.19	0.22	0.18	0.08	0.42
Sørensen index	0.81	0.76	0.76	0.74	0.59	0.40

**Table 6.** Value of disturbance index (%) evaluated in arid steppe of southeast Algeria (Biskra). Overall value is given as means with standard deviation

Parameter	Wadi beds			Aeolian formations -Dunes-			Salty accumulations -Depression-		
	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall	2017	2018	Overall
Disturbance index (%)	73.33	64.71	69.02 ± 6.10	50	50	50 ± 0	85.71	77.78	81.75 ± 5.61

values are 64.02% in Wadi beds rangelands (2018) and 50% in aeolian formation rangelands which are moderately degraded and 73.33% in Wadi bed rangelands (2017) and (85.71%; 2017) (77.78 %; 2018) in salty accumulation rangelands that are severely degraded (Table 6).

## DISCUSSION

On the basis of the results obtained from the analysis of 216 floristic samples and following the individualization of three phytoecological groups, the flora is dominated by the families of Chenopodiaceae, Asteraceae, Fabaceae and Poaceae. Nevertheless, the number of 27 species remains relatively reduced in comparison with the results found by Mechroum et al. [2021] in the semi-arid steppe rangelands in northeastern Algeria, while Bouallala et al. [2022] identified 19 plant species classified in 18 genera and 13 families, the Asteraceae and Poaceae being the most important families in the Saharan rangelands of Ghardaia.

Fatmi et al., 2020 found that extensive rangelands mainly represented by *Atriplex halimus* and other species of Chenopodiaceae exist on saline soils in the Tebessa region. In this study, among the 14 families, 10 (32.25%) were represented by only one species per family, the high values of this coefficient reflect the essential characteristics of a low diversity desert flora. However, it is an indicator of strong species adaptation to xeric conditions [Chenchouni, 2012; Abd El-Khalik et al., 2017; Azizi et al., 2021; Mechroum et al., 2021; Bouallala et al., 2022].

In arid regions, most plant families are represented by only one or two genera and most genera by only one or two species [Boughani, 2014; Kouba et al., 2021; Mechroum et al., 2021; Azizi et al., 2021]. Correlation tests show that the differences in taxonomic structure can significantly remit from one plant community to another depending on its environmental conditions [Fan et al., 2017]. For example, the obtained results demonstrate that F/S taxonomic ratios increase in steppes of good ecological conditions (wadi beds rangelands and aeolian formations rangelands).

Perennial plants are characterized by morphological and anatomical adaptive strategies that consist mainly in an increase of the absorbing system and a reduction of the evaporating surface, allowing them to survive more or less long

periods, depending on the degree of disturbance [Ozenda, 1991]. In the arid rangelands of southern Tunisia, perennial species are the essential component of these rangelands [Gamoun et al., 2010]. A strong and chronic anthropogenic disturbance can decrease the floristic richness and induce the replacement of woody species by perennial species whose floristic composition remains strongly linked to the effect of this disturbance on the soil properties [Mcintyre et al., 1995; Rodriguez et al., 2005; Salemkour et al., 2017]. Grazing promotes the development of annual species [Pfeiffer et al., 2019; Senoussi et al., 2021]. According to [Le Floch, 2000], annual species germinate only immediately after rainfall, they are opportunistic and ephemeral species, able to grow and flower rapidly. Their absence during the sampling period is due to drought [Gamoun et al., 2010]. Ghiloufi et al., [2015] proved that the overgrazing has been the main cause of this serious degradation by reducing perennial vegetation cover and consequently increasing erosion, and decreasing the number of palatable species, which can be replaced by unpalatable plant units resulting from a dynamic degradation with low functional performance as *Atractylis serratuloides* and *Astragalus armatus*.

The life forms based on species richness show a high level of chamaephytes in aeolian formation and salt accumulation rangelands, indicating their adaptation to the aridity of the Saharan climate [Chenchouni, 2012; Bouallala, 2013; Bradai et al., 2015; Gamoun et al., 2012; 2018]. The predominance of therophytes in the first phytoecological group is generally a critical indicator of hot and dry climate, human and animal interference [Abdel Khalil et al., 2017]. In arid and semi-arid areas, champhytization and therophytization are strategies of adaptation of degraded steppe plant formations vis-à-vis anthropic and climatic pressures [Taibaoui et al., 2020].

Hemicryptophytes are represented by one species of the family Poaceae, one species of Euphorbiaceae, one species of Asteraceae and one species of Boraginaceae. Bouallala [2013] confirmed that the presence of hemicryptophytes in sandy soils and dunes is represented by psammophytes. The absence of geophytes in aeolian formation and salt accumulation courses, confirming their regression in grasslands and steppe areas [Barbero et al., 1989; Henni et al., 2012]. The absence of this biological type in aeolian formation and saline accumulation rangelands is related to the climatic gradient favoring the development

of short-lived species [Aïdoud, 1983; Hachemi et al., 2015]. Phanerophytes are located in mesic habitats receiving irrigation water, such as wadi beds and irrigation channels [Bouallala, 2013; Bradai et al., 2015; Bouallala et al., 2020].

These very low values of alpha diversity alter the capacity of ecosystems to react to disturbances, thus reflecting a rarefaction or even disappearance of certain species, especially those of good pastoral value [Gamoun et al., 2010]. Similarly, Aïdoud [1989] measured an index of Shannon diversity of 2.69 and equitability of 0.5 in the Southern Oran steppes. This reduction is explained by a homogeneous system that is more fragile in its ecological contributions [N'zala, 1997]. According to [Dajoz, 1982], a low alpha diversity index reflects unfavorable living conditions. Low Jaccard index values indicate high dissimilarity in the floristic composition of different phytoecological groups [Neffar et al., 2018]. The recorded disturbance index rates show high anthropozoological pressure [Bekkouche et al., 2019; Zemmar et al., 2020].

## CONCLUSIONS

The diagnostic of the botanic diversity can further explain the relationships between the species distribution and the environmental factors. This study showed that the plant composition is principally marked by the dominance of Chenopodiaceae and Asteraceae families, and the co-dominance of Chamaephytes and Therophytes, in different phytoecological groups; this particular situation favors the installation of Chamaephytization and the phenomena of Therophytization.

The alpha diversity parameters of the different phytoecological groups have low values, which reflect a more fragile homogeneous ecosystem, unfavorable life conditions and the absence of certain species of high pastoral value. The high dissimilarity observed between phytoecological groups reflects a state of degradation in this arid steppic rangeland. Biodiversity studies provide a more complete understanding of vegetation in arid steppe and its functioning in the ecosystem, by analyzing plant components and patterns at multiple spatial and temporal scales. The region of El Haouch remains a strong link in the agropastoral economy of Algeria, to preserve this fragile ecosystem, it is necessary to consider rational management programs to restore and improve the steppe vegetation cover.

## Acknowledgements

The research was supported by the Ministry of Higher Education and Scientific Research of Algeria, and the Department of Agricultural Sciences at the University of Biskra.

## REFERENCES

1. Abd El-Khalik K., Al-Gohary I., Al-Sodany Y. 2017. Floristic composition and vegetation: environmental relationships of Wadi Fatimah, Mecca, Saudi Arabia. *Arid. Land Res. Manage*, 31(3), 316–334.
2. Abule E., Snyman H.A., Smit G.N. 2007. Rangeland evaluation in the Middle Awash Valley of Ethiopia: II. Woody vegetation. *J Arid Environ.*, 70, 272–292.
3. Aïdoud A. 1983. Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais : Phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Ph.D. Thesis, Algiers University. (in French)
4. Aïdoud A. 1989. Les écosystèmes steppiques pâturés d'Algérie : fonctionnement, évolution et dynamique des ressources végétales. Ph.D. Thesis, Algiers University. (in French)
5. Aïdoud A., Le Flo'h E., Le Houérou H.N. 2006. Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17(1), 19–30. (in French)
6. Amrani O. 2021. Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés de la région de Laghouat. Ph.D. Thesis, Ouargla University. (in French)
7. Arabi Z., Mederbal K., Benaouf Z. 2015. Contribution to the Study of Quantitative and Qualitative Aspects of Steppe. *Int. J. Environ. Res.*, 9(3), 53–960.
8. Azizi M., Chenchouni H., Belarouci M.E.H., Bradai L., Bouallala M. 2021. Diversity of psammophytes communities on sand dunes of the Sahara Desert. *J. King Saud Univ. Sci.*, 33(8), 101656.
9. Barbero M., Quézel P., Loisel R. 1989. Perturbations et incendies en région méditerranéenne. *Int. Estud. Pyrenaicos Jaca*, 12, 194–215. (in French)
10. Bekkouche A., Chalane F., Guenaia A., Yahiaoui F.Z., Chemouri F.Z., Bouazza M. 2019. Phyto diversity of steppe western, Algeria. *Plant Archives*, 19(1), 852–856.
11. Benkhetou A., Taïbi K., Benkhetou M., Azouzi B., Djili K. 2022. Assessment of floristic diversity in the arid steppe region of Tiaret, Algeria. *Trop Ecol.*, 63, 463–479.
12. Bensmira Z., Hellal B., Bouju S., Maire R. 2015. Les incidences du changement climatique sur l'espace pastoral steppique de l'Algérie occidentale

- (cas de la commune de Ras El Ma). Les Cahiers d'Outre-Mer, 271, 319–348. (in French)
13. Belala F., Hirche A., Muller S.D., Tourki M., Salamani M., Grandi M., Ait Hamouda T., Boughani M. 2018. Rainfall patterns of Algerian steppes and the impacts on natural vegetation in the 20th century. *J. Arid Land*, 10(4), 561–573.
  14. Bouallala M. 2013. Etude floristique et nutritive spatio-temporelle des parcours camelins du Sahara Occidental Algerien : Cas des régions de Bechar et Tindouf. Ph.D. Thesis, Ouargla University. (in French)
  15. Bouallala M., Neffar S., Chenchouni H. 2020. Vegetation traits are accurate indicators of how do plants beat the heat in drylands: diversity and functional traits of vegetation associated with water towers in the Sahara Desert. *Ecol. Ind.*, 114, 106364.
  16. Bouallala, M., Bradai, L., Chenchouni, H. 2022. Effects of Sand Encroachment on Vegetation Diversity in the Sahara Desert. *Proc. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, Cham.
  17. Boughani A., Sadki N., Médail F., Nedjraoui D., Salamani M. 2009. Analyse floristique et phytogéographique d'une région de l'Atlas saharien constantinois, les gorges du Ghouffi (Algérie). *Acta Botan. Gallica*, 156(3), 399–414. (in French)
  18. Boughani A. 2014. Contribution à l'étude Phytogéographique des Steppes Algériennes (Biodiversité et endémisme). Ph.D. Thesis, Algiers University. (in French)
  19. Bradai L., Bissati S., Chenchouni H., Amrani K. 2015. Effects of climate on the productivity of desert truffles beneath hyper-arid conditions. *Int. J. Biometeorol*, 59(7), 907–915.
  20. Braun-Blanquet J., Roussine N., Nègre R. 1952. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, CNRS, France. (in French)
  21. Chalane F. 2012. Evaluation de la phytodiversité et des caractéristiques édaphiques de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la Région de Saida (Algérie Occidentale). Master Thesis, Djilali Liabes University, Sidi Bel Abbés. (in French)
  22. Chaouch Khouane H., Belhamra M., Aidoud A. 2018. Evolution des communautés végétales des steppes d'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Courrier du Savoir*, 26, 107–118. (in French)
  23. Chenchouni H. 2012. Diversité floristique d'un lac du Bas Sahara algérien. Flora diversity of a lake at Algerian Low-Sahara. *Acta Bot. Malacitana*, 37, 33–44.
  24. Dajoz R. 1982. Précis d'écologie. Écologie fondamentale et appliquée. Gauthier-Villiers, Paris. (in French)
  25. Demnati F., Samraoui B., Allache F., Sandoz A., Ernoul L. 2017. A literature review of Algerian salt lakes: Values, threats and implications. *Environ Earth Sci*, 76, 1–15.
  26. Djebaili S. 1984. Recherches phytosociologiques et phytocéologiques sur la végétation des Hautes plaines steppique et de l'Atlas saharien. OPU, Alger. (in French)
  27. DPAT. 2021. Administration of planning and territorial development. Algiers.
  28. Ellenberg H., Mueller-Dombois D. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rubel. Zurich*, 37, 56–73.
  29. Fan C., Tan L., Zhang C., Zhao X., Von Gadow K. 2017. Analysing taxonomic structures and local ecological processes in temperate forests in North Eastern China. *BMC Ecol.*, 17(1), 1–11.
  30. Fatmi H., Maalem S., Harsa B., Dekak A., Chenchouni H. 2020. Pollen morphological variability correlates with a large-scale gradient of aridity. *Web Ecology*, 20, 19–32.
  31. Gamoun M., Chaïeb M., Ouled Belgacem A. 2010. Évolution des caractéristiques écologiques le long d'un gradient de dégradation édaphique dans les parcours du sud tunisien. In: *Ecologia mediterranea*, 36(2), 5–16. (in French)
  32. Gamoun M., Ouled Belgacem A., Hanchi B., Neffati M., Gillet F. 2012. Impact of grazing on the floristic diversity of arid rangelands in South Tunisia. *Rev. Ecol-Terre Vie*, 67, 271–282.
  33. Gamoun M., Belgacem A.O., Louhaichi M. 2018. Diversity of desert rangelands of Tunisia. *Plant Divers*, 40(5), 217–225.
  34. Ghiloufi W., Quéro Pérez J.L., García-Gómez M., Chaïeb M. 2015. Assessment of species diversity and state of *Stipa tenacissima* steppes. *Turkish Journal of Botany*, 39, 227–237.
  35. Hachemi A., El Alaoui-Faris F.E., Acherkouk M., Mahyou H. 2015. Rangeland arid in Morocco: restoration by rangeland fencing, forage shrub plantations and water/soil conservation. *Geo-Eco-Trop.*, 39(2), 185–204.
  36. Henni M., Mehdadi Z. 2012. Évaluation préliminaire des caractéristiques édaphiques et floristiques des steppes à armoise blanche dégradées réhabilitées par la plantation d'*Atriplex* dans la région de Saida (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*, 159(1), 43–52. (in French)
  37. Houamel S., Belhamra M. 2018. Etude diachronique et phytocéologique des steppes à armoise blanche (*Artemisia herba-alba asso*) dans la région est de l'Algérie. *Courrier du Savoir*, 26, 99–106. (in French)
  38. Hubert B. 1994. Pastoralisme et territoire. Modélisation de pratiques d'utilisation. *Cahier d'Agriculture*, 3, 9–22. (in French)
  39. Kideghesho J., Rija A.A., Mwamende K.A., Selemani I.S. 2013. Emerging issues and challenges in

- conservation of biodiversity in the rangelands of Tanzania. *Nat Conserv.*, 6, 1–29.
40. Kouba Y., Merdas S., Mostephaoui T., Saadali B., Chenchouni H. 2021. Plant community composition and structure under short-term grazing exclusion in steppic arid rangelands. *Ecol. Indic.*, 120, 106910.
  41. Lahmar-Zemiti B., Aidoud A. 2016. Suivi à long-terme dans la steppe d'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba* asso.) du Sud-Oranais (Algérie): facteurs et indicateurs de changements. *Rev Ecol (Terre et Vie)*, 71, 168–177. (in French)
  42. Le Floch E. 2000. Discours-programme : Réhabilitation des écosystèmes arides dégradés : nécessité du recours à du matériel végétal adapté. Session II : la dégradation et la réhabilitation des terres arides. Proc. Séminaire international ; La lutte contre la désertification; ressources en eau douce et réhabilitation des terres dégradées dans les zones arides, N'djamena, Tchad, 45–50. (in French)
  43. Le Houérou H.N. 2001. Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. *J. Arid Environ.*, 48(2), 103–128.
  44. Loisel R., Gamila H. 1993. Translation effects of clearing on forest ecosystems by forest pre-disturbance index. *Annales de la Société des sciences naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var*, 45, 123–132.
  45. Gamoun M., Chaieb M., Ouled Belgacem A. 2010. Évolution des caractéristiques écologiques le long d'un gradient de dégradation édaphique dans les parcours du sud tunisien. *Ecologia mediterranea*, 36(2), 5–16.
  46. Macheroum A., Kadik L., Neffar S., Chenchouni H. 2021. Environmental drivers of taxonomic and phylogenetic diversity patterns of plant communities in semi-arid steppe rangelands of North Africa. *Ecological Indicators*, 132, 108279.
  47. Magurran A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Malden, MA, Wiley-Blackwell, USA.
  48. McIntyre S., Lavorel S., Tremont R.M. 1995. Plant life-history attributes: their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology*, 83(1), 31–44.
  49. Merdas S., Kouba Y., Mostephaoui T., Farhi Y., Chenchouni H. 2021. Livestock grazing-induced large-scale biotic homogenization in arid Mediterranean steppe rangelands. *Land Degrad. Dev.*, 32(17), 5099–5107.
  50. N'zala D., Nongamani A., Moutsambote J.M., Mapangui A. 1997. Diversité floristique dans les monocultures d'eucalyptus et de pins au Congo. *Cahiers Agricultures*, 6(3), 169–174.
  51. Nedjraoui D., Bedrani S. 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo*, 8, 1–15. (in French)
  52. Neffar S., Menasria T., Chenchouni H. 2018. Diversity and functional traits of spontaneous plant species in Algerian rangelands rehabilitated with prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations. *Turk. J. Bot.*, 42(4), 448–461.
  53. Ozenda P. 1977. *Flore du Sahara*. CNRS, Paris. (in French)
  54. Ozenda P. 1991. *Flore et végétation du Sahara* (Ed. 2). CNRS, Paris. (in French)
  55. Ozenda P. 2004. *Flore et végétation du Sahara* (Ed. 3). CNRS, Paris. (in French)
  56. Pfeiffer M., Langan L., Linstädter A., Martens C., Gaillard C., Ruppert J.C., Scheiter S. 2019. Grazing and aridity reduce perennial grass abundance in semi-arid rangelands—Insights from a trait-based dynamic vegetation model. *Ecological Modelling*, 395, 11–22.
  57. Quézel P., Santa S. 1962-1963. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome 2. CNRS, Paris. (in French)
  58. Quézel P., Santa S. 1963. *Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome 2, CNRS, Paris. (in French)
  59. Rahman I.U., Hart R., Afzal A., Iqbal Z., Ijaz F., Abdallah E.F., Ali N., Khan S.M., Alqarawi A.A., Alsubeie M.S., Bussmann R.W. 2019. A new ethnobiological similarity index for the evaluation of novel use reports. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2765–2777.
  60. Rodriguez A.R., Mora J., Arbelo C., Bordon J. 2005. Plant succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). *Catena*, 59, 117–131.
  61. Salemkour N., Fadlaoui H., Lebidi A. 2017. La restauration de la richesse et la diversité floristique par la mise au repos dans une steppe à *Stipa tenacissima* (L.) de la région de M'Sila, Algérie. *Afrique SCIENCE*, 13(4), 369–380. (in French)
  62. Selemeni I.S. 2020. Indigenous knowledge and rangelands biodiversity conservation in Tanzania: success and failure. *Biodiversity and Conservation*, 29, 3863–3876.
  63. Senoussi A., Schadt I., Hioun S., Chenchouni H., Saoudi Z., Aissaoui Z.H., Ouarda Z., Mohammed N., Carpino S., Rapisarda T. 2021. Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria. *Grass Forage Sci.*, 76(2), 282–299.
  64. Slimani H., Aidoud A., Roze F. 2010. 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *Journal of Arid Environments*, 74(6), 685–691.
  65. Sorensen T.A. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *K dan Vidensk Selsk Biol Skr.*, 5, 1–34.



66. Taibaoui B., Douaoui A., Bouxin G. 2020. Diversité floristique de la steppe sud algéroise : cas de la région de Djelfa (Algérie). *Le Jeunia Revue De Botanique*, 203. (in French)
67. Wolda H. 1981. Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50, 296–302.
68. Yahiaoui F. 2011. Contribution to the evaluation of the impact of *Atriplex canescens*, on some chemical physico parameters of the ground of the zone of Sidi Ahmed wilaya of Saida. Master Thesis, Algiers University.
69. Zemmar N., M'hammedi B.M., Ababou A., Hedi D. 2020. Analysis of the floristic diversity in a Southern Mediterranean ecosystem. Case of Bissa forest, Chlef (Algeria). *Botanica Complutensis*, 44, 19–28.

**Annexe 2 : Répartition mensuelle de l'indice standardisé des précipitations sur 3 mois SPI-3, station de Biskra 1987– 2019**

Années	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sép.	Oct.	Nov.	Déc.
1987	N/A	N/A	0.49	0.00	-0.45	-0.53	-0.33	-0.45	-1.20	-0.79	-0.73	-0.06
1988	-0.22	-0.42	-0.92	1.57	1.48	1.98	0.54	0.83	-0.74	-0.97	-0.67	-0.34
1989	-0.19	-0.28	-0.67	-0.57	-0.83	0.37	0.41	0.77	0.03	-0.38	-0.61	-1.20
1990	0.18	0.30	0.08	-0.21	0.52	0.91	0.88	1.04	0.42	0.00	-0.57	-0.51
1991	-0.22	-0.22	0.82	0.68	0.45	-0.55	-0.56	-0.27	-0.01	0.50	0.17	0.33
1992	0.08	0.38	0.46	0.05	0.18	0.00	0.26	0.20	0.44	-0.14	1.31	1.27
1993	1.24	0.69	0.95	0.82	0.05	-0.64	-0.46	-1.70	0.88	0.61	0.62	2.24
1994	2.11	2.21	1.66	1.62	1.50	-1.23	1.45	1.68	2.14	2.04	1.81	0.40
1995	-1.34	-0.91	-0.49	-0.80	-0.84	-0.68	-1.06	-0.24	2.67	2.77	2.78	0.05
1996	1.29	1.68	1.80	0.95	0.53	-0.53	2.35	2.46	1.67	-0.44	-0.33	-0.27
1997	0.31	0.04	0.08	1.04	0.89	1.22	-0.39	0.15	-0.52	-0.36	0.44	0.95
1998	0.74	0.38	-0.33	0.68	0.66	1.18	0.69	0.41	-0.98	-1.26	-1.98	-1.85
1999	-2.15	-1.80	-2.97	-3.61	-3.37	-2.57	-2.71	-1.70	-2.45	-0.79	0.19	1.20
2000	1.00	0.42	-1.33	-0.82	-0.13	0.21	0.16	-1.70	0.26	0.04	-0.26	-0.80
2001	0.39	0.58	0.22	-2.85	-2.24	-1.60	-1.61	0.19	-0.29	-0.78	-0.85	-0.09
2002	0.09	-0.24	-1.58	-1.85	-1.62	-0.70	0.19	0.78	0.01	-0.47	-0.37	-0.08
2003	1.21	1.19	1.65	0.65	0.64	-0.46	-0.64	-0.50	-0.65	0.55	0.22	0.67
2004	-0.60	-0.31	1.46	2.14	2.31	1.57	1.01	0.55	0.01	-0.27	-0.12	0.81
2005	0.78	0.76	-0.06	-0.31	-1.18	0.15	0.64	1.02	-0.50	-1.31	-2.21	-0.85
2006	0.00	0.98	0.45	0.22	-0.58	0.15	-0.18	0.17	-0.08	-0.55	0.42	0.60
2007	0.67	-0.45	-0.53	-0.27	-0.27	-0.21	-1.23	-0.96	0.48	0.22	-0.18	-1.67
2008	-1.34	-1.02	-1.19	-2.29	-0.93	-0.50	-0.29	-1.70	0.02	0.28	0.31	0.80
2009	1.11	1.23	0.71	-0.16	0.07	0.13	0.27	-0.27	0.47	0.02	-0.40	-0.84
2010	0.01	0.75	0.69	0.81	0.57	1.00	0.86	1.06	-0.10	-0.04	0.56	0.64
2011	0.56	-0.72	0.44	0.89	1.54	1.42	1.49	-0.21	0.39	1.46	1.24	1.11
2012	-1.37	-1.26	-0.86	-0.88	-0.89	-0.87	-1.76	-0.96	-0.91	1.16	1.24	1.55
2013	1.23	1.15	1.13	0.27	0.24	0.67	0.37	1.05	-0.02	0.65	0.04	0.52
2014	-0.26	0.18	0.04	-0.49	-0.53	-0.74	-0.59	-0.24	0.22	-0.16	-0.51	-1.85
2015	-1.44	-0.12	0.49	0.28	-0.12	-1.02	-0.92	-0.30	0.05	0.60	0.28	0.11
2016	-1.47	-2.08	-1.26	0.54	0.52	1.15	0.35	0.70	0.39	0.08	0.25	-0.17
2017	0.04	-0.64	-0.88	-0.59	-0.52	-0.12	-0.74	-0.21	-0.38	-0.43	-0.92	-0.88
2018	-1.37	-0.41	-0.21	-0.47	0.58	0.75	1.27	-0.45	-0.13	0.32	-0.11	-0.24
2019	-1.67	-1.45	-0.64	0.19	0.52	0.73	0.20	-0.10	0.20	-0.22	-0.52	-1.12

**Annexe 3 : Répartition mensuelle de l'indice normalisé des précipitations sur 12 mois SPI-12, station de Biskra 1987–2019**

Années	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sép.	Oct.	Nov.	Déc.
1987	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.65
1988	-0.92	-1.31	-1.55	0.36	0.30	0.54	0.52	0.52	0.56	0.49	0.54	0.52
1989	0.53	0.59	0.56	-0.94	-0.95	-0.93	-0.89	-0.86	-0.64	-0.71	-0.92	-0.97
1990	-0.60	-0.67	-0.70	-0.44	-0.01	-0.24	-0.20	0.12	-0.05	-0.07	0.11	0.10
1991	-0.28	-0.05	0.48	0.20	-0.11	-0.11	-0.13	-0.42	-0.29	0.10	-0.13	0.02
1992	0.20	0.08	-0.26	-0.16	-0.09	-0.08	0.03	0.02	0.11	-0.27	0.67	0.62
1993	0.41	0.81	0.90	0.78	0.74	0.72	0.64	0.63	0.89	0.90	0.21	1.52
1994	1.55	1.18	1.99	1.94	1.86	1.81	2.11	2.09	2.37	2.67	2.66	1.85
1995	1.92	1.91	0.98	0.99	0.97	0.95	0.44	0.42	1.42	1.11	1.26	1.44
1996	1.90	2.02	2.41	2.32	2.29	2.24	2.71	2.70	1.45	1.45	1.54	1.49
1997	1.13	0.96	0.50	1.16	1.13	1.12	0.21	0.12	0.09	0.22	0.43	0.62
1998	0.45	0.56	0.49	0.20	0.40	0.44	0.44	0.44	0.38	0.28	-0.26	-0.49
1999	-0.54	-0.77	-0.84	-1.95	-2.61	-3.36	-3.25	-3.29	-3.63	-2.77	-1.36	-0.69
2000	-0.75	-0.71	-0.70	-0.52	-0.26	-0.24	-0.22	-0.21	0.10	0.02	-0.49	-0.97
2001	-0.44	-0.41	-0.49	-0.64	-0.89	-0.84	-0.81	-0.64	-1.08	-1.21	-1.00	-0.83
2002	-1.65	-1.60	-1.66	-1.56	-1.54	-1.37	-1.05	-1.08	-1.15	-0.95	-0.93	-1.23
2003	-0.15	-0.11	0.56	0.57	0.59	0.56	0.43	0.37	0.42	0.76	0.59	0.74
2004	-0.03	-0.02	0.57	1.14	1.41	1.37	1.34	1.42	1.41	1.11	1.39	1.57
2005	1.60	1.70	0.89	0.16	-0.34	0.00	0.04	-0.10	-0.13	-0.18	-0.68	-0.97
2006	-0.74	-0.53	-0.68	-0.44	-0.39	-0.61	-0.63	-0.63	-0.45	-0.47	0.13	0.10
2007	-0.14	-0.50	-0.36	-0.37	-0.38	-0.46	-0.44	-0.43	-0.18	-0.14	-0.89	-1.05
2008	-1.06	-1.06	-1.33	-1.62	-1.39	-1.33	-1.28	-1.25	-1.70	-1.25	-0.96	-0.51
2009	-0.05	0.06	0.20	0.29	0.36	0.36	0.39	0.39	0.51	0.29	0.10	-0.04
2010	-0.39	-0.21	-0.09	0.18	0.08	0.40	0.36	0.40	0.19	0.33	0.77	0.68
2011	0.58	0.39	0.55	0.62	1.06	0.80	0.82	0.77	0.91	1.43	1.14	1.18
2012	1.15	1.15	0.88	0.52	-0.12	-0.11	-0.13	-0.12	-0.48	-0.42	-0.15	-0.14
2013	0.59	0.60	0.74	0.91	0.91	1.06	1.03	1.11	1.14	0.79	0.58	0.74
2014	0.11	0.15	0.11	-0.22	-0.20	-0.39	-0.37	-0.51	-0.27	-0.88	-0.88	-1.16
2015	-1.40	-1.06	-0.88	-0.85	-0.84	-0.83	-0.80	-0.74	-0.89	-0.37	-0.37	-0.36
2016	-0.43	-0.67	-1.19	-0.25	-0.25	0.00	0.01	0.00	0.14	-0.26	-0.04	0.05
2017	0.06	0.07	0.08	-0.48	-0.49	-0.70	-0.65	-0.65	-1.05	-0.92	-1.45	-1.50
2018	-1.67	-1.40	-1.29	-1.57	-0.57	-0.58	-0.56	-0.51	-0.47	-0.24	-0.25	-0.29
2019	-0.32	-0.41	-0.48	-0.02	-0.47	-0.44	-0.40	-0.36	-0.28	-0.69	-0.60	-0.57

## Résumé

Cette étude est basée sur deux approches ; 1) approche phytoécologique qui a pour diagnostiquer la diversité botanique et taxonomique des communautés végétales des steppes arides au Sud-Est d'Algérie (El-Haouch), et d'évaluer l'influence des paramètres édaphiques sur la répartition de la végétation steppiques ; 2) approche géomatique pour l'évaluer, le suivi et la cartographie diachronique de la dynamique spatio-temporelle des types de couverture végétale pendant 33 ans (1987-2019), en se basant sur des images satellitaires Landsat multi-dates, l'indice spectral de végétation (Modified Soil Adjusted Index MSAVI) et les systèmes d'information géographique SIG (technique de détection des changements). L'analyse de la diversité botanique et taxonomique des communautés végétales des steppes arides au Sud-Est d'Algérie (El-Haouch) abouti de 985 individus ont été classés en 27 espèces, 27 genres et 14 familles, avec une prédominance des Chenopodiaceae et des Asteraceae, les paramètres de diversité alpha et bêta des différents groupes phytoécologiques ont des valeurs faibles et des valeur élevés d'indice de perturbation, reflètent un écosystème homogène plus fragile, des conditions de vie défavorables et l'absence de certaines espèces à haute valeur pastorale. Concernant les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques du sol, montrent que la dynamique des paramètres physico-chimiques des sols dans un écosystème steppique aride est un processus très lent. Les résultats d'évaluation et la cartographie de parcours steppique de Sud-Biskra montrent que durant cette période, le paysage de la région a considérablement changé. La superficie des terres de parcours a diminué de 19,939 ha (1987) à 3,605 ha (2019), où 58% de la végétation préexistante a été transformée en sol nu. Cette dégradation peut être attribuée à des facteurs climatiques tels que la réduction des précipitations et les sécheresses qui en découlent, et à des facteurs anthropiques tels que l'expansion des nouvelles zones d'aménagement du territoire qui sont passées de 3,754 ha (1987) à 24,410 ha (2019). Cette tendance s'est retrouvée dans toute la région, y compris dans les zones à vocation pastorale comme Oumache et El Haouch ; entraînant un surpâturage avec une perte d'environ 2% du couvert végétal. Tous ces facteurs ont conduit à une dégradation sévère et continue des ressources pastorales dans un environnement vulnérable. La préservation de ces ressources limitées nécessite une gestion appropriée de l'écosystème et une exploitation rationnelle de ses ressources en végétation, en sol et en eau.

**Mot clés :** Diversité botanique. Paramètres physico-chimiques. Parcours. Landsat. MSAVI. Aride.

## Abstract

This study is based on two approaches; 1) phytoecological approach to diagnose the botanical and taxonomic diversity of plant communities of the arid steppes in southeastern Algeria (El-Haouch), and to assess the influence of edaphic parameters on the distribution of steppe vegetation; 2) geomatic approach for the evaluation, monitoring and diachronic mapping of the spatio-temporal dynamics of vegetation cover types for 33 years (1987-2019), based on Landsat multi-date satellite images, the spectral vegetation index (Modified Soil Adjusted Index MSAVI) and GIS geographic information systems (change detection technique). The analysis of botanical and taxonomic diversity of plant communities in the arid steppes of southeastern Algeria (El-Haouch) resulted in 985 individuals were classified into 27 species, 27 genera and 14 families, with a predominance of Chenopodiaceae and Asteraceae, The alpha and beta diversity parameters of the different phytoecological groups have low values and high values of disturbance index, reflecting a more fragile homogeneous ecosystem, unfavorable living conditions and the absence of some species with high pastoral value. Regarding the results obtained from the physico-chemical analysis of the soil, show that the dynamics of physico-chemical parameters of soils in an arid steppe ecosystem is a very slow process. The results of evaluation and mapping of steppe rangeland of South Biskra show that during this period, the landscape of the region has changed considerably. The area of rangeland has decreased from 19,939 ha (1987) to 3,605 ha (2019), where 58% of the pre-existing vegetation has been transformed into bare soil. This degradation can be attributed to climatic factors such as reduced precipitation and subsequent droughts, and anthropogenic factors such as the expansion of new land development areas from 3,754 ha (1987) to 24,410 ha (2019). This trend was found throughout the region, including areas with pastoral vocation such as Oumache and El Haouch; resulting in overgrazing with a loss of about 2% of vegetation cover. All these factors have led to a severe and continuous degradation of pastoral resources in a vulnerable environment. The preservation of these limited resources requires an appropriate management of the ecosystem and a rational exploitation of its vegetation, soil and water resources.

**Key words:** Botanical diversity. Physico-chemical parameters. Rangelands. Landsat. MSAVI. Arid.

## الملخص

تستند هذه الدراسة إلى نهجين؛ (1) نهج علم البيئة النباتية الذي يجب أن يشخص التنوع النباتي والتصنيفي للمجتمعات النباتية في السهوب القاحلة في جنوب شرق الجزائر (El-Haouch)، وتقييم تأثير المعلمات التكوينية على توزيع نبات السهوب؛ (2) نهج الجيوماتك لتقييم ورصد ورسم خريطة الديناميات المكانية والزمانية لأنواع الغطاء الأرضي على مدى 33 عامًا (1987-2019)، استنادًا إلى صور الأقمار الصناعية لاندسات متعددة التواريخ، والنباتات الطيفية (مؤشر تعديل التربة المعدل (MSAVI) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). أدى تحليل التنوع النباتي والتصنيفي للمجتمعات النباتية في السهوب القاحلة في جنوب شرق الجزائر (الحوش) إلى تصنيف 985 فردًا إلى 27 نوعًا و 27 جنسًا و 14 عائلة، مع غلبة Chenopodiaceae و Asteraceae، فإن معلمات التنوع ألفا وبيتا لمجموعات علم البيئة النباتية المختلفة لها قيم منخفضة وقيم مؤشر اضطراب عالية، وتعكس نظامًا بيئيًا متجانسًا أكثر هشاشة، وظروف معيشية غير مواتية وغياب بعض الأنواع عالية القيمة. فيما يتعلق بالنتائج التي تم الحصول عليها من التحليلات الفيزيائية والكيميائية للتربة، تبين أن ديناميات المعلمات الفيزيائية والكيميائية للتربة في النظام البيئي للسهوب القاحلة هي عملية بطيئة للغاية. تظهر نتائج التقييم ورسم خرائط مسارات السهوب في جنوب بسكرة أنه خلال هذه الفترة (1987-2019)، تغيرت المناظر الطبيعية للمنطقة بشكل كبير. انخفضت مساحة المراعي من 19,939 هكتار (1987) إلى 3,605 هكتار (2019)، حيث تم تحويل 58٪ من الغطاء النباتي الموجود مسبقًا إلى تربة جرداء. يمكن أن يُعزى هذا التدهور إلى عوامل مناخية مثل انخفاض هطول الأمطار وما يترتب على ذلك من جفاف، والعوامل البشرية مثل التوسع في مناطق استخدام الأراضي الجديدة من 3,754 هكتار (1987) إلى 24,410 هكتار (2019). وقد وجد هذا الاتجاه في جميع أنحاء المنطقة، بما في ذلك في المناطق الرعوية مثل Oumache و El Haouch؛ يؤدي إلى الرعي الجائر مع فقدان حوالي 2٪ من الغطاء النباتي. كل هذه العوامل أدت إلى تدهور حاد ومستمر لموارد الرعي في بيئة هشة. يتطلب الحفاظ على هذه الموارد المحدودة إدارة مناسبة للنظام البيئي والاستغلال الرشيد لنباتاته وتربته وموارده المائية.

## الكلمات المفتاحية

التنوع النباتي. المعلمات الفيزيائية والكيميائية. مراعي. لاندسات. MSAVI. جافة