



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة قاصدي مرباح - ورقلة
Université kasdi merbah Ouargla
كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم البيولوجية
Département des sciences Biologiques

THESE

Présenté en vue de l'obtention de diplôme de
Doctorat Es-Sciences
Spécialité : Sciences Biologiques
Option : Ecologie

Thème :

Etude de la dynamique de la végétation par l'application combinée de la télédétection de la géostatistique et du SIG dans la steppe sud algéroise

Présenté par : TAIBAOUI Brahim

Soutenue publiquement le 24/10/2022 devant le jury composé de :

Président :	M. HAMDY AISSA Belhadj	Professeur	Univ K.M. Ouargla
Directeur de thèse :	M. DOUAOUI Abdelkader	Professeur	C.UNI M. A. Tipaza
Examineurs :	M. CHEHMA Abdelmadjid	Professeur	Univ K.M. Ouargla
	M. GUIT Brahim	Professeur	Univ Z.A. Djelfa
	Mme SLIMANI Rabia	MCA	Univ K.M. Ouargla
	M. YAHIAOUI Ibrahim	MCA	Univ D. B. Khemis. M

Année universitaire : 2021-2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

تم بعون من الله سبحانه تعالى وثوفيق من العلي القدير إنجاز هذا البحث.

وهدي هذا العمل المتواضع لي من علماني كيف وقف بكل ثبات فوق الأرض

أبي المحترم وأبي الموقرة

لي إخوتي وإخواتي الأعزاء

لي أقرب الناس لي نفسي

زوجتي وأولادي.

لي روح كل من علمني حرفاً من العلم

لي جميع من تلقيت منهم النصح والدعم

لي كل طالب علم يسعى لي المعالي

وهديكم خلاصة جهدي العلمي.

الحمد لله رب العالمين

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de ma haute reconnaissance.

Mes sincères et vifs remerciements s'adressent à mon directeur de thèse M. Douaoui Abdelkader professeur au centre universitaire de Tipaza (Algérie) Pour sa patience, sa disponibilité permanente et surtout pour ses encouragements et ses judicieux conseils qu'il m'a prodigués. Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques.

Ma profonde reconnaissance à HAMDI AISSA Belhadj Professeur à l'U.K.M. Ouargla de me faire l'honneur d'avoir accepté d'être président du jury de ma soutenance.

Je remercie vivement les membres du jury, pour l'acceptation de juger, d'évaluer cette thèse et d'apporter leurs appréciations de qualité à ce travail : M. CHEHMA Abdelmadjid Professeur à l'U.K.M. Ouargla, M. GUIT Brahim Professeur à U. Z. A. de Djelfa, M. YAHIAOUI Brahim Maître de conférences à U. D. B. de Khemis Miliana et Mme SLIMANI Rabia Maître de conférences à l'U.K.M. Ouargla.

Ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à toute l'équipe pédagogique et à tous les responsables de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Kasdi Merbah de Ouargla.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

A tous ceux qui ont contribué à ma formation j'exprime ma profonde gratitude et reconnaissance et en particulier mes enseignants chercheurs du laboratoire d'Ecologie Végétale de l'université de l'USTHB (Alger).

Je remercie également mes collègues, les enseignants chercheurs de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Djelfa et en particulier : Pr. SOUTTO K., Dr. HADJAJ K., sans oublier MM. DAOUDI B. et HAZERCHI A. MM. du Centre National de Développement des Ressources Biologiques de Djelfa-Algérie, pour leurs contributions leurs encouragements et leurs soutiens.

Je remercie aussi les responsables et fonctionnaires du HCDS (Haut commissariat au développement de la steppe), de la direction des forêts de Djelfa, de la direction des services agricoles du Djelfa, pour leurs contributions surtout en ce qui concerne les sorties sur terrains.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Enfin, je tiens à témoigner aussi toute ma reconnaissance aux personnes, qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Le résumé

Le présent travail consiste à étudier la dynamique spatiotemporelle de la végétation steppique du sud algérois, située dans la région de Djelfa. Les formations végétales ont subi une dégradation généralisée, due essentiellement à l'action du facteur anthropique, aggravée par un assèchement climatique. Pour cela trois approches complémentaires ont été adoptées

Un diagnostic phytoécologique et l'utilisation de la télédétection, de la géostatistique et du SIG comme outils puissants d'analyse et d'investigation des changements d'occupation de sols. L'analyse phytoécologique a donné l'individualisation de sept groupements végétaux répartis sur les quatre formations végétales : forestière, préforestière, steppique et steppique présaharienne, liés aux conditions phytoclimatiques de chaque zone écologique.

A partir du SIG, nous avons élaboré les différentes cartes thématiques qui ont permis la mise en évidence d'une typologie phytoclimatique de quatre zones floristiquement et écologiquement distinctes : zone à vocation forestière et préforestière, zone à vocation steppique et une zone à vocation steppique présaharienne ;

Par ailleurs, L'approche de la géomatique faite dans le but de suivre la dynamique des unités d'occupation des sols, en se basant sur les résultats du traitement des images satellitaires des trois scènes landsat : TM de 1987, ETM de 2001 et celle d'OLI 8 de 2018, combinées à l'analyse géostatistique et aux relevés floristiques, a donné les principaux résultats suivants :

- Régression générale des unités de végétation au profit des unités sans végétation, unités de sols nus et celles d'ensablement, avec celles de culture.
- Régression de l'aire de répartition des formations steppiennes à *Stipa tenacissima*, avec sa migration en altitude vers les zones à vocation forestière et préforestière.
- Extension des unités des groupements végétaux présahariennes de dégradation sur l'aire de répartition des formations steppiennes à *Stipa tenacissima*.
- Près de 75% de La zone d'étude a atteint des niveaux de dégradation élevés avec et un risque de dégradation probable pouvant atteindre les 90%.

Malgré la richesse floristique importante enregistrée dans notre zone d'étude, plus 170 taxons recensés qui constituent 3,95% de la flore algérienne, celle-ci reste toujours menacée de disparition devant l'extension du phénomène de désertification qui ne cesse de s'amplifier d'année en année.

Mot clés : Steppe ; Djelfa ; SIG ; télédétection ; Géostatistique ; Flore ; Dynamisme.

الملخص

يتكون العمل الحالي من دراسة الديناميكيات الزمانية المكانية للنباتات السهوب جنوب الجزائر الواقعة في منطقة الجلفة. تعرضت التكوينات النباتية لتدهور عام، ويرجع ذلك أساساً إلى تأثير عامل بشري، يتفاقم بسبب التجفيف المناخي؛ لهذا، تم اعتماد مجموعة مناهج متكاملة: التشخيص البيئي النباتي واستخدام الاستشعار عن بعد، التحليل الإحصائي الجغرافي ونظم المعلومات الجغرافية كأدوات قوية لتحليل واستقصاء التغيرات في استخدام الأراضي.

التحليل البيئي النباتي أعطى التفرد لسبع مجموعات نباتية موزعة على التكوينات النباتية الأربعة: الغابات، والأحراج الغابية، والسهوب، وسهوب ما قبل الصحراء، مرتبطة بالظروف المناخية النباتية لكل منطقة بيئية. إنطلاقاً من نظام المعلومات الجغرافية، قمنا بإعداد الخرائط الموضوعية المختلفة، والتي جعلت من الممكن تسليط الضوء على تصنيف مناخي نباتي لأربع مناطق متميزة من الناحية النباتية والبيئية: مناطق بها غابات وما قبل الغابات، ومنطقة ذات سهوب. وأخيراً منطقة ذات السهوب قبل الصحراء؛

بالإضافة إلى ذلك، تم وضع نهج الجيوماتكس بهدف متابعة ديناميكيات وحدات استخدام الأراضي، بناءً على نتائج معالجة صور الأقمار الصناعية لمشاهد لاندسات الثلاثة TM: لعام 1987، و ETM لعام 2001 و OLI لعام 2018، جنباً إلى جنب مع التحليل الإحصائي الجغرافي والمعطيات النباتية، مما أعطانا النتائج الرئيسية التالية:

- الانحدار العام لوحدة الغطاء النباتي لصالح الوحدات الخالية من الغطاء النباتي، ووحدات التربة المكشوفة وتلك الخاصة بالترمل، أو تلك الخاصة بالزراعة.
- انحدار منطقة توزيع تكوينات السهوب لنبات الحلفاء (*Stipa tenacissima*)، مع هجرتها مع الارتفاع نحو مناطق الغابات وما قبل الغابات.
- تمديد مساحات وحدات مجموعات التدهور النباتية قبل الصحراء على مناطق توزيع تكوينات السهوب لنبات الحلفاء (*Stipa tenacissima*).
- ما يقرب من 75 ٪ من منطقة الدراسة قد وصلت إلى مستويات عالية من التدهور مع خطر محتمل للتدهور يصل إلى 90 ٪.

على الرغم من الثراء النباتي الكبير المسجل في منطقة دراستنا، تم تحديد أكثر من 170 صنف ما تشكل 3.95 ٪ من النباتات الجزائرية، حيث أنها لا تزال مهددة بالزوال في مواجهة انتشار ظاهرة التصحر التي تتفاقم من سنة إلى أخرى.

الكلمات المفتاحية: السهوب؛ الجلفة؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ الاستشعار عن بعد؛ التحليل الإحصائي الجغرافي؛ النباتات؛ التعاقبية.

The abstract

The present work consists in studying the spatiotemporal dynamics of the steppe vegetation of southern Algiers, located in the region of Djelfa; the vegetation formations have undergone widespread land degradation, mainly due to the action of an anthropogenic factor, aggravated by climatic drying. Therefore, three complementary approaches were adopted:

A phytoecological diagnosis and the use of remote sensing, geostatistical analysis and GIS, as powerful tools for the analysis and investigation of land use changes. The phytoecological analysis provides the individualization of seven vegetation groups distributed over the four vegetation formations: forest, pre-forest, steppe, and pre-Saharan steppe, related to the phytoclimatic conditions of each ecological zone.

From the GIS, we have elaborated various thematic maps, which have made it possible to highlight a phytoclimatic typology of four zones that are floristically and ecologically distinct: zones with forest and pre-forest vocation, zone with steppe vocation and one zone pre-Saharan steppe vocation;

Moreover, the geomantic approach made with the aim of following the dynamics of land use units, based on the results of the processing of satellite images of the three Landsat scenes: TM of 1987, ETM of 2001 and that of OLI 8 of 2018, combined with the geostatistical analysis and floristic surveys; which gave us the following main results:

- General regression of vegetation units in favor of units without vegetation, bare soil units and those of silting, or those of culture;
- Regression of the area of distribution of the steppe formations at *Stipa tenacissima*, with its migration in altitude towards forest and pre-forest areas;
- Extension of the units of pre-Saharan vegetation groups of degradation on the distribution area of steppe formations in *Stipa tenacissima*.
- Nearly 75% of the study area has reached high levels of degradation with a probable risk of degradation of up to 90%.

Despite the significant flora richness recorded in our study area, over 170 taxa identified which constitutes 3.95% of the Algerian flora, it is still threatened with disappearance, in the face of the spread of the phenomenon of desertification, which continues to amplify from year to year.

Key words: Steppe; Djelfa; GIS; Remote sensing; Geostatistics; Flora; Dynamism

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Cadre d'étude	5
1. Présentation de la zone d'étude	6
1.1. Situation géographique	6
1.2. Model numérique de terrain	7
1.3. Hydrographie	8
1.4.1. Le crétacé	9
1.4.2. Le Néocène	9
1.4.3. Le quartenaire continental.....	9
1.5. Géomorphologie	10
1.5.1. Les reliefs.....	10
1.5.2. Les glacis	10
1.5.2. Les dépressions	12
1.5.3. Les formations éoliennes	12
1.6. Pédologie	12
1.6.1. Les sols calcimagnésiques :	13
1.6.2. Les sols minéraux brutes	13
1.6.3. Les sols peu évolués On distingue deux types.....	13
1.6.4. Les sols isohumiques	13
1.7. Complexe sols- géomorphologie	14
2. Caractères climatiques et bioclimatiques	15
2.1. Précipitation.....	15
2.1.1. Variation annuelle de la précipitation	16
2.1.2. Régimes saisonniers.....	19
2.2. Température.....	21
2.3. Autres paramètres climatiques.....	21
2.3.1. Vent.....	22
2.3.2. Gelées.....	22
2.3.3. La neige.....	22
2.2. Synthèse Bioclimatique	22
2. 2.1. Quotient pluviothermique d'Emberger	22

2.2.2. Diagrammes Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен	24
3. Données socioéconomiques	26
4. Classification des groupements végétaux	29
4.1. Aride supérieur (P : 300 < mm < 400)	29
4.1.1. Variante à hiver froids (1300-1400) et $-2^{\circ}\text{C} < m < +1^{\circ}\text{C}$	29
4.1.2. Variante à hivers froids à frais : $-2 < m < 3$ avec un Altitude entre 1100 - 1300 m.	30
4.2. Aride moyen : (200 < P (mm) < 300)	30
4.2.1. Variante à hivers frais : ($1^{\circ} < m < 3^{\circ}$ avec un Altitude entre 900 - 1100 m.)	31
4.2.2. Variante à hiver frais à tempéré $+1^{\circ}\text{C} < m < +5^{\circ}\text{C}$	32
4.2.3. Variante à hiver tempéré $+5^{\circ}\text{C}$:	32
Chapitre II : Synthèse bibliographique.....	34
5. Généralités sur la steppe algérienne	35
5.1. Définition de la steppe	35
5.2. Délimitation géographique des steppes algérienne	35
5.3. La végétation steppique	36
5.4. Les différents types de parcours steppiques	37
5.4.1. Les steppes à alfa (<i>Stipa tenacissima</i>)	37
5.4.2. Les steppes à armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>)	37
5.4.3. Les steppes à sparte (<i>Lygeum Spartum</i>)	37
5.4.4. Les steppes à Remt (<i>Arthrophytum scoparium</i>)	38
5.4.5. Les steppes à psammophytes	38
5.4.6. Les steppes à halophytes	38
6. Problématique de la steppe algérienne	39
7. La désertification dans le milieu steppique	40
8. Carte de sensibilité à la désertification	43
9. Généralités sur le SIG (Système d'Information Géographique)	45
10. Généralités sur la télédétection	48
10.1. Principe de télédétection.....	49
10.1.1. Rayonnement électromagnétique	49
10.1.2 Spectre électromagnétique	50
10.2. Interactions rayonnement EM –matière	51
10.3. Signatures spectacles	52
10.3.1. Propriétés optiques des surfaces	52

10.3.2. Végétation chlorophyllienne	52
10.3.3. Sol découverte.....	52
10.3.4. Surface d'eau	53
10.4. Source d'informations satellitaires.....	54
10.4.1. Satellites Landsat	54
10.5. Les caractéristiques fondamentales des images satellitaires	57
10.5.1. Indices radiométriques de végétation.....	58
10.5.2. Normalized difference vegetation index (NDVI)	59
10.5.3. Enhanced Vegetation Index (EVI).....	60
10.5.4. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	60
11. Complémentarité entre le SIG à la télédétection	61
11.1. Apport du SIG et de la télédétection dans le domaine de lutte contre la désertification.....	62
Chapitre III : Matériels et méthodes.....	63
12. Echantillonnage :.....	64
12.1. Relevés floristiques	64
12.1.1. L'aire minimale	65
12.3. Evaluation de la biodiversité	66
12.3.1. Évaluation quantitative de la biodiversité.....	67
12.4. Types biologiques.....	69
12.5. Le spectre par famille botanique	70
12.6. Les types biogéographiques.....	70
13. Cartographie	71
13.1. Données utilisées	71
13.2. Choix des images satellitaires.....	71
13.3. Traitement des images	72
13.3.1. Prétraitements des images.....	72
Les traitements les plus fréquents sont : - Correction géométrique - Correction radiométrique	72
13.3.2. Correction géométrique.....	73
13.3.3. Correction atmosphérique	73
13.3.4. Traitement numérique	73
13.4. Classification	75
13.4.1. Classification non supervisée.....	75

13.4.2. Classification supervisée.....	76
13.5. L'élaboration de la carte d'occupation de sols	76
13.5.1. L'échelle perception.....	76
13.5.2. Les cartes de changements d'occupations de sols	77
13.5.3. Elaboration des cartes thématiques	77
14. La géostatistique.....	77
14.1. Krigeage ordinaire	78
14.2. Krigeage d'indicatrices.....	78
15. Les outils utilisés	79
15. 1. Logiciel ENVI	79
15.2. Les outils pour SIG logiciel ARCGIS, Vertical Mapper (VM).....	79
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	80
16. Analyse floristiques des groupements végétaux de notre zone d'étude.....	81
16.1. Résultats de l'analyse factorielle des correspondances	82
16.2. Classification hiérarchique ascendante.....	84
16.3. Caractérisation floristique et écologique de différents groupements végétaux	86
16.3.1. Formations forestières.....	86
16.3.2. Formations steppiques poste forestières	89
16.3.3. Formations steppiques présahariennes.....	93
16.4. Variation de la Phytodiversité globale de notre zone d'étude	96
16.5. La Phytodiversité globale	98
16.5.1. La richesse en famille botanique.....	98
16.5.2. Types biogéographiques et phytogéographiques globale de notre zone d'étude..	98
16.6. La Rareté.....	101
16.7. Discussion.....	102
17. Caractérisation géomorphologique de la zone d'étude	104
17.1. Carte des altitudes.....	104
17.2. Les différentes zones phytoécologiques	105
17.3. La carte de pentes	108
17.4. La carte d'expositions.....	110
18. Etude statistique sur les images utilisées	112
18.1. Analyse statistique de l'image TM 1987	112
18.2. Analyse statistique de l'image ETM 2001	113

18.3. Analyse statistique de l'image TM 2018	115
19. Résultats des transformations des trois images utilisées	116
19.1. Transformation ACP.....	116
19.2. Transformation SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)	118
19.3. Analyse des images SAVI des trois scènes étudiées 1987, 2001 et 2018 :	122
20. Classification des trois scènes étudiées de 1987, de 2001 et celle de 2018	123
20.1. L'occupation de sols pour l'année 1987	128
20.2. L'occupation du sol de 2001	128
20.3. L'occupation de sols de 2018	129
21. Etude de changement du couvert végétal par l'utilisation des cartes du SAVI.....	129
21.1. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2001.....	133
21.2. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 2001 et 2018.....	133
21.3. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2018.....	133
22. Le changement d'occupation de sols	133
22.1. Etude de la dynamique de différentes formations végétales	137
23. Analyse spatiale et cartographie de l'indice IP par l'approche géostatistique	139
23.1. Statistiques descriptives de l'IP	140
23.2. Variabilité spatiale de l'Indice de Perturbation par la géostatistique.....	140
Conclusion.....	154
Références bibliographiques.....	161

Liste des tableaux

Tableau 1: Variations de la précipitation de la région Djellal - Ain El bel.....	15
Tableau 2: Variations de la précipitation de zone de Messaàd	15
Tableau 3: Répartition pluviométrique saisonnière de la région d'étude (19985-2014).....	19
Tableau 4: les valeurs de la température enregistrées durant la période (1985-2016).....	19
Tableau 5: Quelques paramètres climatiques enregistrés (1985-2016).....	20
Tableau 6: Quotient pluviométrique et étage bioclimatique	22
Tableau 7: Répartition générale des terres par commune et données socio-économiques	26
Tableau 8: Les spectres électromagnétiques les plus utilisés en télédétection	50
Tableau 9: Caractéristiques des satellites	55
Tableau 10: quelques indices de végétation les plus couramment utilisés.....	59
Tableau 11: Les caractéristiques de différentes images satellitaires utilisées.....	72
Tableau 12: Taux d'inertie cumulés des 05 premiers facteurs.....	82
Tableau 13: Analyse statistique de l'image 1987.....	113
Tableau 14: Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image TM 1987.....	113
Tableau 15: Analyse statistique de l'image 2001	114
Tableau 16: Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image ETM 2001	114
Tableau 17: Analyse statistique de l'image 2018.....	115
Tableau 18: Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image OLI 8 de 2018	116
Tableau 19: Corrélation des trois premiers axes de l'ACP	117
Tableau 20: Statistiques des trois images SAVI	122
Tableau 21: Evaluation des cartes d'occupations de sols.....	123
Tableau 22: Les appréciations pour les valeurs du coefficient Kappa (K)	124
Tableau 23: Dynamique d'occupation de sols par rapport les différentes zones écologiques.....	137
Tableau 24: Paramètres statistiques du IP.....	140
Tableau 25: Valeurs des paramètres des deux variogrammes aux seuils de l'IP>3 et IP>6... ..	145
Tableau 26: Superficies obtenues par krigeage ordinaire et krigeage d'indicatrices	152

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude.....	6
Figure 2 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude.....	7
Figure 3: Réseau hydrographique dans la région Messaàd-Ain El Ible.....	8
Figure 4 : Schéma théorique des principaux reliefs de notre zone d'étude (Pouget, 1980).....	11
Figure 5: Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques (Pouget, 1980)...	11
Figure 6: Schéma Nord sud pour le synclinal de Djelfa	14
Figure 7: Précipitation moyenne mensuelle de notre zone d'étude (1985-2016).....	15
Figure 8: Evolution de la précipitation dans la région d'Ain El Ible 1985-2016.....	16
Figure 9: Evolution de la précipitation dans la région d'Ain El Ible 1985-2016.....	16
Figure 10: Evolution de la précipitation dans la région Messaàd 1985-2016.....	19
Figure 11: Régime saisonnier de la zone d'étude	18
Figure 12: Situation de la zone d'étude sur climagramme d'Emberger.....	22
Figure 13: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de Djellal (1985-2016)....	25
Figure 14: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен d'Ain El Ible(1985-2016)	25
Figure 15: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de Messaàd (1985-2016)	26
Figure 16: Etude comparative entre les différentes données socioéconomiques	27
Figure 17: Délimitation géographique de la steppe algérienne.....	35
Figure 18: Climat de la steppe Algérienne.....	36
Figure 19: Mouvement des pasteurs après transformation des systèmes d'élevage	40
Figure 20: Carte synthèse de sensibilité à la désertification (2000-2005)	43
Figure 21: Carte nationale de sensibilité à la désertification au 1/200.000.....	44
Figure 22: Carte de sensibilité à la désertification de la Wilaya de Djelfa	44
Figure 23: Structures de données du SIG.....	47
Figure 24: Utilisation et superposition des couches d'information par les SIG.....	48
Figure 25: Principe de télédétection (Chuvico, 1990).....	49
Figure 26:: Spectre électromagnétique et transparence de l'atmosphère.....	51
Figure 27: Représentation schématique d'une onde électromagnétique	51
Figure 28: Interaction rayonnement matière	52
Figure 29: La signature spectrale de l'eau du sol et de la végétation dans les canaux du TM.	54
Figure 30: Dates et périodes de lancement des séries landsat.....	56
Figure 31: Les formes biologiques de Raunkiaer in (Alzaz, 2010)	69

Figure 32: Analyse factorielle de correspondance (plan factoriel 1-2)	83
Figure 33: Analyse factorielle des correspondances (plan factoriel 1-3).....	84
Figure 34: Dendrogramme obtenu par la classification hiérarchique ascendante.....	85
Figure 35: Spectre biologique et spectre phytogéographique, du Groupement à <i>Pinus</i>	87
Figure 36: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Juniperus phoenicea</i>	88
Figure 37: Formations forestières : forêt dégradée à <i>Pinus halepensis</i> (Djellal Chergui	88
Figure 38: Formations préforestières (Matorral): forêt dégradée à <i>Juniperus phoenicea</i>	89
Figure 39: Steppe à alfa (<i>Stipa tenacissima</i>) (Djelfa)	90
Figure 40: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Stipa tenacissima</i> ,.....	91
Figure 41: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Stipa</i>	92
Figure 42: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Loeflingia</i>	93
Figure 43: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Astragalus-Bromus</i> ..	94
Figure 44: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à <i>Astragalus- Arthro</i> ...	95
Figure 45: Formation présaharienne à <i>Astragalus Armatus Arthrophytum scoparium et</i>	95
Figure 46: Formation présaharienne dégradée à (Messaàd-Djelfa)	96
Figure 47: l'influence de l'aridité sur la biodiversité dans notre zone d'étude	97
Figure 48: La richesse en famille botanique globale dans notre zone d'étude	98
Figure 49: Spectre biologique globale	98
Figure 50: Spectre phytogéographique globale.....	100
Figure 51: Fréquences des espèces recensées	101
Figure 52: Carte des altitudes de notre zone d'étude	105
Figure 53: Carte des zones écologiques de notre zone d'étude.....	106
Figure 54: Répartition des superficies sur les différentes zones écologiques	107
Figure 55: répartition de superficies sur les différentes classes de pentes	108
Figure 56: Carte de classes des pentes de notre zone d'étude.....	109
Figure 57: Répartition des superficies sur les différentes expositions	110
Figure 58: Carte de classes des pentes de notre zone d'étude.....	111
Figure 59: Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude	112
Figure 60: Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude	114
Figure 61: Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude	115
Figure 62: Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 1987	119
Figure 63: Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 2001	120
Figure 64: Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 2018	121
Figure 65: Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 1987 (ACP1, ACP2, SAVI).	125

Figure 66: Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 2001 (ACP1, ACP2, SAVI).	126
Figure 67: Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 2018 (ACP1, ACP2, SAVI).	127
Figure 68: Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2001.....	130
Figure 69: Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 2001 et 2018.....	131
Figure 70: Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2018.....	132
Figure 71: Dynamique d'occupation du sol entre les trois scènes 1987, 2001 et 2018	135
Figure 72: Changement d'occupation de sols entre 1987 et 2001	135
Figure 73: Changement d'occupation de sols entre 2001 et 2018	136
Figure 74: Changement d'occupation de sols entre 1987 et 2018	136
Figure 75: Dynamique de l'occupation de sols pour les différentes zones écologiques.....	137
Figure 76: Dynamique de l'occupation de sols entre les formations forestières.....	138
Figure 77: Dynamique de l'occupation de sols des formations steppiques	138
Figure 78: Plan d'échantillonnage de l'indice IP	139
Figure 79: Variogramme moyen de l'indice de perturbation	141
Figure 80: Carte de répartition des trois classes de dégradation de l'IP de la zone d'étude ..	143
Figure 81: Répartition des classes du IP sur notre aire d'étude	144
Figure 82: Variogrammes des valeurs indicatrices aux seuils de l'IP>3 (a) et IP>6 (b).....	145
Figure 83: Carte de probabilité du krigeage d'indicatrice au seuil IP>0,3	146
Figure 84: Carte de probabilité du krigeage d'indicatrice au seuil IP>0,6	148
Figure 85: Les risques d'extension dégradation des formations végétales sur les.....	149
Figure 86: Variogramme moyen de l'espérance mathématique de l'IP	150
Figure 87: Carte de l'espérance mathématique de l'indice de perturbation.....	151

Liste des abréviations

- ACP** Analyse en composantes principales
AFC Analyse factorielle des correspondances
APC Assemblé Populaire Communale
CNTS Centre National des Techniques Spatiales
CRBT Centre de Recherches sur les Systèmes Biologiques et Terrestres
DPAT Direction de Planification et Aménagement de Territoire
DSA Direction des Services Agricoles
ETM Enhanced Thematic Mapper
ETM Plus Enhanced Thematic Mapper Plus
HCDS Haut Commissariat au Développement de la Steppe
NDVI Normalized Difference Vegetation Index
OL Operational Land Imager
ONM Office National de Météorologie
ONS Office National des Statistiques
PDAU Plan de Développement Agricole et rural
PIR Proche Infra Rouge
PNDA Plan National de Développement Agricole
R Rouge
SIG Système d'Information Géographique
TLD Télédétection
TIRS Thermal Infrared Sensor
TM Thematic mapper
UF Unité Fourragère
URBT Unité de recherches sur les systèmes biologiques et terrestres

Introduction

Introduction

Les écosystèmes steppiques arides sont marqués par une grande diversité paysagère en relation avec une grande variabilité des facteurs écologiques (Nedjraoui & Bedrani, 2008). Les écosystèmes des steppes du sud algérois, en particulier, jouissent d'une grande importance écologique et économiques de par leur situation entre le Sahara et la méditerranée où se trouvent des ressources naturelles diversifiées (Bencherif, 2011) offrant une richesse floristique remarquable dans ses différentes formations végétales (Taibaoui et *al.*, 2020) ;

Cependant les écosystèmes en Algérie et spécialement des hautes plaines steppiques connaissent une surexploitation des ressources naturelles et une dégradation progressive; celle-ci est définie, selon le rapport spécial du GIEC (2020) sur le changement climatique et les terres, comme « l'évolution négative de l'état des terres, provoquée par des processus directs ou indirects induits par l'homme, y compris le changement climatique anthropique, exprimée en réduction à long terme et en perte d'au moins l'un des éléments suivants: productivité biologique, intégrité écologique ou valeur pour l'homme ». Dans cette définition, la dégradation des sols s'applique à toutes les terres, y compris les terres boisées et non pas seulement aux terres arides.

L'état écologique de la steppe est, depuis déjà de longues années, extrêmement préoccupant. La désertification s'étend de façon dramatique : les zones dégradées, relativement modestes et localisées dans les années cinquante se sont devenues jointives sur de vastes superficies des zones steppiques (Le Houerou, 1985).

La désertification des terres arides et semi arides constitue un problème d'environnement d'envergure mondiale. En effet, la réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal aboutissant à l'extension des paysages désertiques nouveaux est caractérisée par des regs, des hamadas et des ensembles dunaires (Le Houerou, 1968).

Selon la Convention des Nations Unies pour la Lutte Contre la Désertification (CNULD), faite à Paris en 1994, à la suite de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le développement de Rio en 1992 (CNUED) : La désertification correspond à une « dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ».

Les écosystèmes steppiques ont une vocation essentiellement pastorale, la diminution du couvert végétal et le changement de la composition floristique est les éléments qui caractérisent l'évolution régressive de la steppe (Nedjraoui, 2004).

L'accroissement exponentiel, qu'il soit dans la démographie ou des cheptels, accentué par un assèchement climatique, dans la steppe du sud algérois, situé dans la région de Djelfa d'une part, et devant un manque d'une stratégie nationale intégrée du développement de ces écosystèmes à conditions précaires d'autre part, ont eu pour conséquences une dégradation considérable du couvert végétal. Il en ressort que la production pastorale dans ces parcours a globalement été marquée par un déclin significatif surtout au cours des cinq dernières décennies (Nedjraoui, 2006 Aidoud et *al*, 2006, Taibaoui, 2008, Hirche et *al*, 2010).

L'effort national destiné à étendre la couverture forestière n'arrive même pas à compenser les pertes dues principalement aux facteurs anthropiques, incendies, surpâturage et l'exploitation anarchique de la forêt. La végétation forestière est, par conséquent, en constante régression (DGF, 2004). Par ailleurs, les efforts déployés par le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe le (HCDS) dans le domaine d'aménagement pastoral et la réhabilitation des parcours steppiques n'ont pas donné les résultats escomptés ; c'est ce qui explique la poursuite du processus de désertification dans les zones steppiques algériennes qui continue même à s'amplifier.

L'étude sur la sensibilité à la désertification menée par l'agence spatiale algérienne ASAL en 2010, a mis en exergue le danger qui menace la région de Djelfa où environ 39213,83 hectares de terres sont désertifiés et 48148,50 hectares sont très sensibles à la désertification (Khouane et *al.*, 2018). Le constat majeur actuellement est celui d'une diminution de la superficie de ces écosystèmes et de leur dégradation qui est parfois extrême.

En vue de lutter contre ce fléau de dégradation et de remédier à ce grand problème de désertification qui ne cesse de menacer la vie dans les régions steppiques algériennes, on doit suivre des approches d'aménagement intégrés qui devront prendre en considération toutes les composantes de ces écosystèmes : écologiques, économiques et sociales. Cependant la réalisation d'une telle ambitieuse vision dans les zones arides requiert une gamme d'actions stratégiques et larges, depuis le suivi et l'évaluation des zones dégradées jusqu'à la proposition des solutions appropriées.

En vue de caractériser l'état écologiques de ces écosystèmes, des hautes plaines steppiques algériennes, de nombreux travaux cartographiques et phytoécologiques ont été réalisés Pouget (1971 ; 1977 ; 1980) ; Djebaili, 1978 ; C.R.B.T (1978,1987) ; Aidoud (1989, 1994) Aidoud-Lounis (1984,1997), Melzi, (1985 ;1993) ; Le Houerou (1985,1995) ; Nedjraoui, (1981 ; 1990) ; Aidoud-Lounis, 1997 ; Kadi Hanifi-Achour., 1998 ; Hirche & *al.* (2007), Nedjraoui & Bedrani, (2008) ; Hirche& al (2010 ; 2015) ; Djeddaoui et *al.* 2017 ; Mezrag (2018), Habib & *al.*, 2020).

L'apport des outils de la géomatique et de la cartographie dans le domaine du suivi de la dynamique des différents phénomènes environnementaux n'est plus à démontrer. La télédétection est un outil très important qui permet de suivre efficacement la dynamique de la végétation ainsi que l'ensablement des terrains, en mesurant la surface à partir de divers supports tel que les images aériennes et satellitaires afin d'analyser le rythme des fluctuations et les séquences de régression à différentes échelles spatio-temporelles (Mezrag, 2018). En effet, le suivi par l'utilisation du SIG (Système d'Information Géographique) et de la télédétection des changements écologiques a permis d'évaluer la désertification sur de grandes étendues et de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent aux processus de dégradation (Nedjraoui & Bédrani, 2008).

Dans ce même contexte, notre contribution du présent travail vise à réaliser un suivi de la dynamique spatio-temporelle de la végétation par l'utilisation combinée de la télédétection et de la géostatistique et du SIG, compléter par un diagnostic phytoécologique qui a pour but de donner un état des lieux de la biodiversité des groupements végétaux de différentes formations végétales, à travers une analyse floristique, phytogéographique et dynamique de la végétation de notre zone d'étude.

Dans l'ambition d'atteindre nos objectifs, nous avons adopté les deux approches complémentaires que ce soit phytoécologique et géomatique.

Les objectifs fixés par cette étude est la suivante :

- Une discrimination de différents groupements végétaux caractérisant les différentes formations végétales de notre zone d'étude.
- Une analyse de la biodiversité des formations végétales de notre zone d'étude d'un point de vue floristique, biogéographique et dynamique.
- Une étude de la dynamique spatiotemporelle du couvert végétal de notre zone d'étude, à travers une étude multi-temporelle.
- Une étude des risques d'extension du phénomène de dégradation dans notre zone d'étude.

En fin il est nécessaire de pouvoir caractériser et identifier les facteurs significatifs qui produisent des situations critiques, en vue d'une éventuelle proposition d'aménagement phytoécologique intégré.

Pour cela nous avons structuré notre travail en quatre parties complémentaires :

Dans la première partie, nous aborderons le cadre d'étude en présentant le cadre climatique et socioéconomique de notre zone d'étude ;

Dans le deuxième chapitre, on concernera une synthèse bibliographique sur les formations végétales steppiques et les facteurs causant leurs dégradations ;

Quant au troisième chapitre, nous allons présenter les matériels utilisés et la méthodologie adoptée ;

Les résultats phytoécologiques, cartographiques et géostatistiques seront discutés dans le quatrième chapitre.

Et enfin, on terminera notre travail par une conclusion générale, perspectives et une proposition d'aménagement.

Chapitre I : Cadre d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

D'une superficie de 270000 ha hectares, notre zone d'étude se situe sur le versant Sud des massifs montagneux des monts des Ouleds Nails, qui constituent une partie intégrante l'Atlas Saharien central.

Administrativement, elle est située sur la wilaya de Djelfa et touche plusieurs communes, telles que Moudjebara, Ain El Ible, Tadmit, Messaàd ; elle s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes (Figure 1) :

- Latitude : Nord : 34°05' et 34° 30'
- Longitude : Est : 3°10' et 3°30'

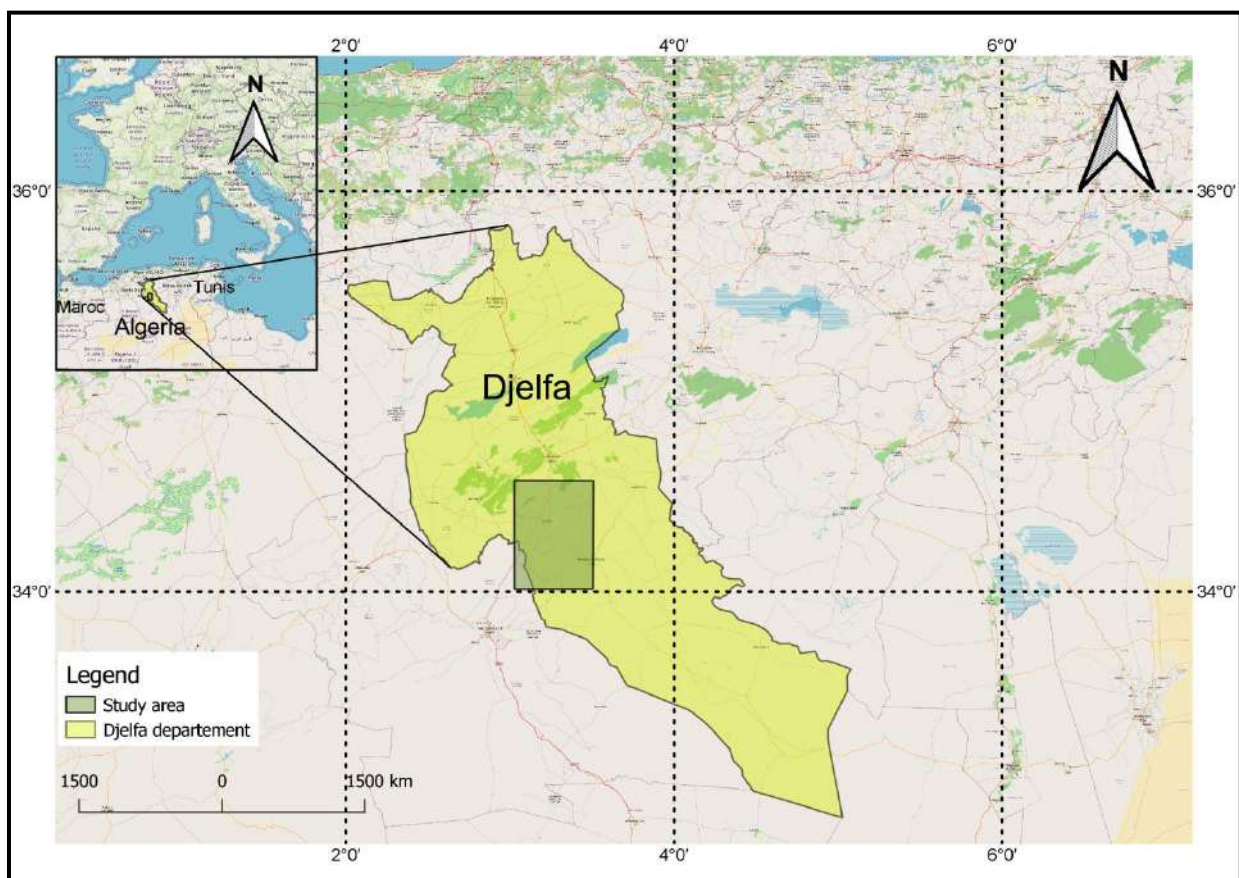


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude.

1.2. Model numérique de terrain

Un Model numérique de terrain a été établi en se basant sur l'exploitation des données SRTM DEM (30-m résolution) téléchargées directement via le serveur de l'USGS Earth.

L'altitude s'abaisse progressivement de plus 1450 m au Nord, Djebel Djellal Chergui, à moins de 750 m dans la partie sud de notre zone d'étude. (Figure 2)

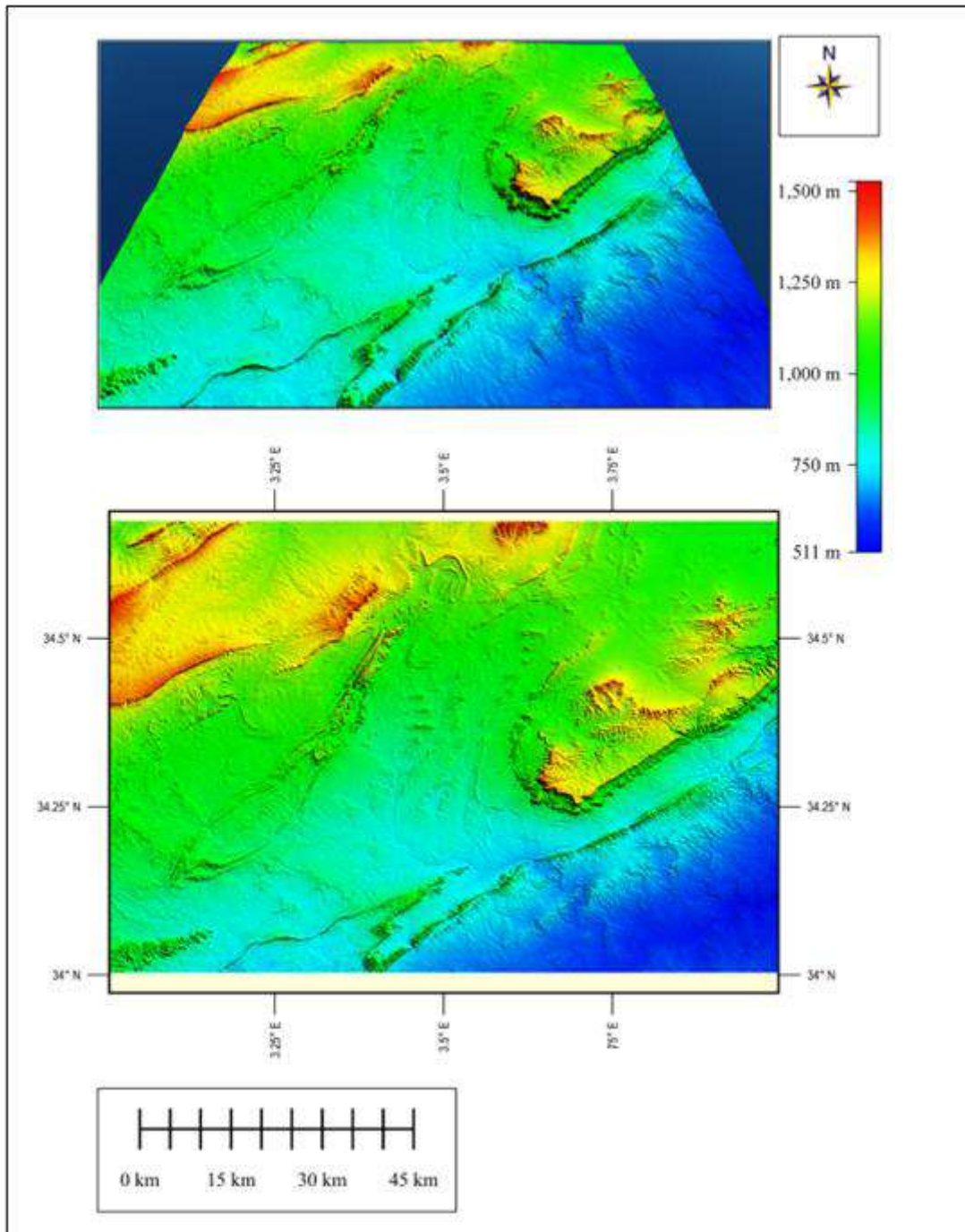


Figure 2 : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude

1.3. Hydrographie

Dans la région d'étude le réseau hydrographique est très ramifié (Figure 3). Il est constitué presque uniquement d'Oueds plus ou moins intermittents, et fortement influencés par la direction atlasique des reliefs.

La direction S-W, N-E constitue la direction générale des monts des Ouleds Nails, ce qui fait que la direction des principaux Oueds est le Nord- Ouest- Sud-Est tels que : l'Oued Tadmit, Oued Melaga, Oued Roumia et Oueds Moudjebara qui convergent tous vers l'Oued Messaàd. Celui-ci draine vers l'Oued principal qui est l'Oued Djedi, qui longe la bordure méridionale de l'Atlas et se jette dans le chott Melghir.

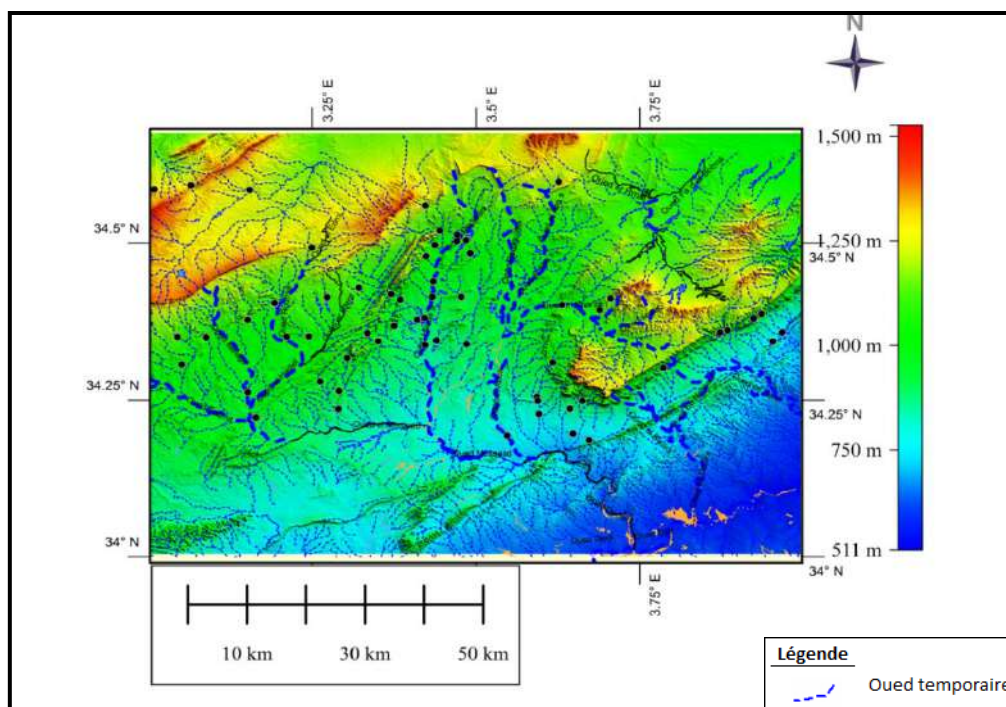


Figure 3: Réseau hydrographique dans la région Messaàd-Ain El Ible

Par ailleurs, la plupart des Oueds dans cette région ne coulent que lorsqu'il pleut. Notons aussi que l'endoréisme constitue la caractéristique essentielle de l'ensemble des réseaux hydrographique dans la wilaya de Djelfa. (D.P.T.A., 2017)

1.4. Géologie

Nous présentons très brièvement les différentes formations géologiques qui sont à l'origine de la nature lithologique qui constitue un des facteurs de la formation des sols et des formes des reliefs dans les zones arides.

D'après les travaux de plusieurs géologues qui ont travaillé sur la steppe Sud Algéroise et la région steppique algérienne (Cornet, 1952 ; Trayssac, 1981 ; Pouget, 1980) :

Notre zone d'étude constituée par des roches sédimentaires, du secondaire, du tertiaire et du quaternaire.

1.4.1. Le crétacé c'est le mieux représenté dans notre zone d'étude, il est caractérisé par :

- **Le crétacé inférieur** qui présente des faciès très diversifiés est formé par des roches calcaires tendres, des séries gréseuses, des séries de calcaires de l'Aptien, des séries gréseuses de l'Albien etc.

- **Le crétacé moyen ou lagunaire**, divisé éventuellement en Turonien et Cénomaniens.

- **Le Turonien** : est entièrement marin dans toute l'Atlas saharien. Il est essentiellement calcaire avec une épaisseur qui diminue d'Est en Ouest. Et d'une pétrographie du calcaire à débris et des calcaires marneux.
- **Le cénomanien** : les dépôts de cet étage comprennent surtout des marnes dans lesquelles s'intercalent les bancs de calcaires variés avec parfois des bancs de gypse qui montrent le caractère lagunaire et peu profond de la mer dont ils dérivent. Ils forment une ceinture autour de la chaîne Djebel Djellal Chergui dans la région d'étude.

- **Le crétacé supérieur** : est formé par l'alternance d'une série à dominance de marnes et marno – calcaires avec des alternances décimétriques à métriques de calcaire dur.

1.4.2. Le Néocène : représenté dans notre zone d'étude par le tertiaire continental (Néocène supérieur et pliocène), il est constitué d'argiles sableuses rouges à ocres venus combler les dépressions dans les hautes plaines et l'Atlas saharien. Après les grands mouvements orogéniques du milieu du tertiaire et la surrection de l'Atlas (Pouget, 1980).

1.4.3. Le quaternaire continental : représenté par les alluvions anciennes qui sont formées de couches sableuses grisâtres ou blanchâtres ; on rencontre également des ergs et des terrasses.

En fait la géologie n'a pas une influence directe sur la distribution de la végétation, mais elle est liée à l'origine lithologique et à la distribution de différentes unités géomorphologiques de notre zone d'étude (Pouget, 1980, Djebaili, 1984).

1.5. Géomorphologie

L'importance de la caractérisation géomorphologiques dans la zone aride réside dans la liaison étroite entre la répartition de différents types de sols avec celles des unités géomorphologiques (URBT, 1987). Celles-ci avec les ensembles lithologiques servent de cadre pour la présentation des principaux types de sols dans la région steppique (Pouget, 1980).

Selon Tricart & Cailleux (1969) et Pouget (1971 ; 1980) la géomorphologie se subdivise en trois unités topographiques principales : les reliefs, les surfaces plus ou moins planes et les dépressions. On distingue plusieurs formes de glacis qui s'emboîtent les unes dans les autres.

1.5.1. Les reliefs

- Djebels Djellal Chergui au Nord-Ouest, fait partie des monts d'Ouled Naïls dans l'Atlas Saharien, (bordure du synclinal de Djelfa).

- Djebels Zerga-Tafara, vaste anticlinal orienté Sud-Ouest, Nord- Est traversé par la route Aïn el lbel-Messaàd.

- Djebel Bou Kahil à l'Est domine la cuvette de Messaàd comme un immense et inaccessible château-fort (Figure 4).

- La bordure Sud-Atlasique est une ligne de reliefs formant une barrière avec la zone saharienne (région des dayas).

1.5.2. Les glacis

Les plus hauts sont ceux du quaternaire ancien correspondra à la haute surface moulouyenne. Ce type de glacis est incisé le plus souvent par des dayas de taille variable, favorables à la céréaliculture (Figure 5).

- Une deuxième forme de glacis, attribuée au quaternaire moyen, demeure par excellence le domaine de la steppe graminéenne (à alfa ; à sparte) et chamaephytiques à armoise blanche.

- Les formes récentes, constituées de dépôts alluviaux ou colluviaux, occupent les chenaux d'Oueds et les dépressions marécageuses où l'accumulation calcaire est beaucoup moins importante. Elles se présentent en amas ou en nodules et parfois en encroûtement, recevant des apports d'eau de ruissellement et sont localement cultivées.

Il existe d'autres formations alluviales du quaternaire récent : ex les Oueds, terrasses d'Oueds

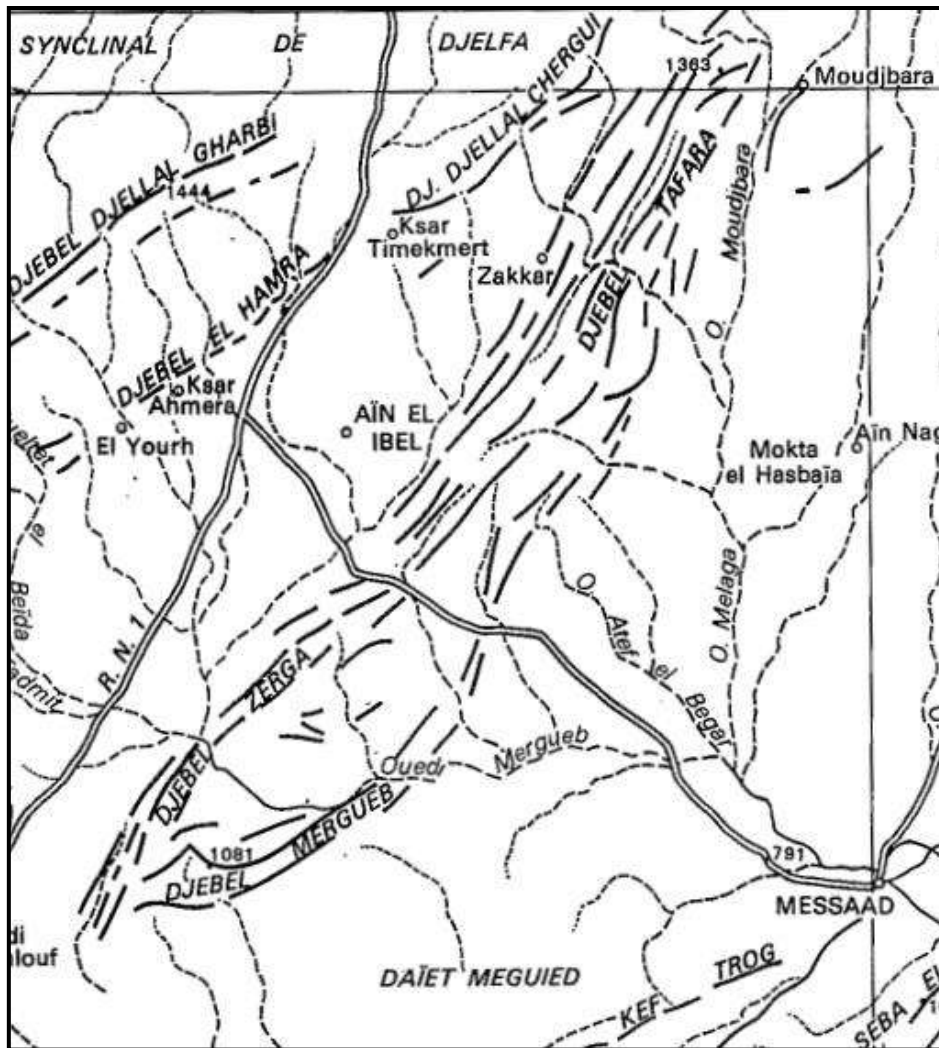


Figure 4 : Schéma théorique des principaux reliefs de notre zone d'étude (Pouget, 1980)

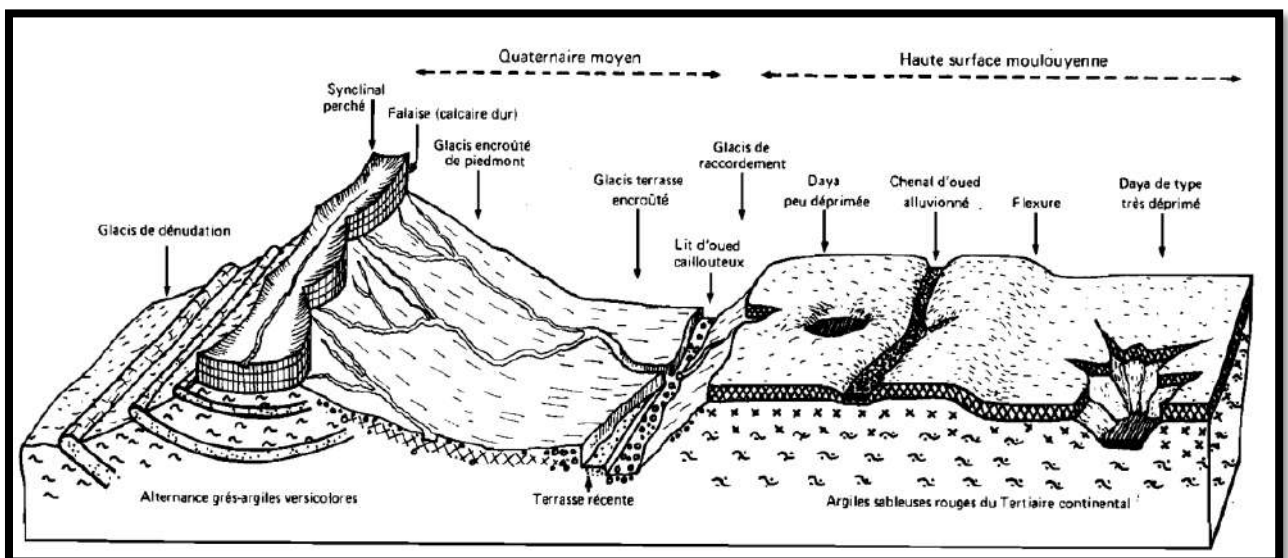


Figure 5: Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques (Pouget, 1980)

1.5.2. Les dépressions

Les dépressions forment un système endoréique et elles constituent l'aboutissement final d'une grande partie des eaux de ruissellement des hautes plaines steppiques.

Selon la Figure 04, l'ensemble anticlinal des Djebels Zerga-Tafara, se situent dans deux vastes zones déprimées à l'Ouest, dépression d'Aïn El Ibel, évasé dont l'axe passe par une ligne Ain El Ibel, Ksar Timekmert. Le flanc Ouest est laminé par une grande faille de direction SW-NE passant par Oued Seddeur et Aïn Roumia.

Djebel El Azreg formant la limite Ouest (à l'extérieur de la zone) ; à l'Est dépression de Aïn Naga-Messaàd.

Par ailleurs les dayas sont définies comme étant : une dépression non salée à diamètre variable et à bord faiblement incliné, elles se trouvent surtout au niveau des hautes surfaces Moulouyennes.

1.5.3. Les formations éoliennes

Elles varient selon l'importance du sable accumulé. On peut distinguer :

• les voiles sableux

Ils sont des dépôts discontinus peu épais et plus ou moins mobiles, situés sur les glacis et les versants des montagnes.

Ils favorisent le développement des psammophytes annuelles telles que *Schismus barbatus* et *Plantago albicans*.

• les placages sableux

Ils se situent principalement sur les versants et les piémonts et l'accumulation de sable y est plus importante.

- Les nebkas pièges

Le sable est piégé par un obstacle de petite dimension (touffe de végétation bloc rocheux).

- Les microdunes

Ce sont des accumulations sableuses, généralement plus importante que les Nebkas, elles sont plus ou moins fixées par des psammophytes vivaces, telles que *Aristida pungens*

1.6. Pédologie

La plupart des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, réduisant la profondeur de sol utile. Ils sont généralement pauvres en matière organique et sensibles à la dégradation. Les bons sols dont la superficie est limitée se situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial). Ils sont soit linéaires et constitués par les lits d'Oueds soit fermés et appelées Dayas (Pouget, 1980).

Pour caractériser les différents types de sols qui existent dans notre zone d'étude, nous nous sommes basés sur la carte pédologique de Pouget (1977).

1.6.1. Les sols calcimagnésiques : Ces sols occupent la majeure partie de notre zone d'étude. Ils sont généralement saturés en calcium dès la surface. Nous pouvons les répartir en trois groupes : les rendzines, les sols bruns calcaires sans encroûtement, les sols bruns calcaires à encroûtement.

- **Les rendzines** : se localisent sur les montagnes boisées et se forment sur des roches calcaires dures à forêts de pin d'Alep. Leur teneur en calcaire total est faible (inférieure à 10%) parfois nulle (Pouget, 1980).
- **Les sols bruns calcaires sans encroûtement** : Ces sols sont peu profonds ont une bonne teneur en matière organique et une teneur en calcaire généralement inférieure à 25%.
- **Les sols bruns calcaires à encroûtement** : ce sont des sols de glacis d'érosion et de dépression.

1.6.2. Les sols minéraux brutes : sols minéraux bruts groupe d'érosion possèdent des caractères encore très proche de ceux de la roche- mère. Ils sont constitués par des débris sans apport notable de matière organique. Ils résultent le plus souvent, d'érosion qui permet la formation des régosols et lithosols.

- **Les régosols sur marnes ou argiles** : Correspondent, en effet aux affleurements de la roche mère ; la présence en surface d'un horizon (A) peu épais indique une simple désagrégation physique des marnes en polyèdres plus ou moins fin (Pouget, 1980). Ils se développent contrairement aux lithosols sur roches tendres, et ils se localisent au niveau des Oueds et les glacis de dénudation.

1.6.3. Les sols peu évolués On distingue deux types

- **Les sols peu évolués d'érosion**

Ces sols se caractérisent par une texture sableuse à sablo-limoneuse avec une matière organique faible. Ils se localisent sur les affleurements de grès des Djebels.

- **Les sols peu évolués d'apport alluvial**

Les apports alluviaux sont récents sur ces sols qui occupent les lits des oueds, les zones d'épandages et les dayas. Ces sols sont occupés soit par la céréaliculture ou par une végétation poste culturale (Djebaili, 1984)

1.6.4. Les sols isohumiques

Ils sont représentés surtout par les siérozems encroûtés à encroûtement calcaire ou à amas et nodules calcaires et se localisent sur les glacis en général.

1.7. Complexe sols- géomorphologie

L'exemple le plus claire est celles des travaux des ensembles des chercheurs qui ont travaillé sur notre zone d'étude, et qui ont fait des correspondances entre les relations sols géomorphologie et on met l'accent beaucoup plus sur les travaux de Pouget, et al (1977).

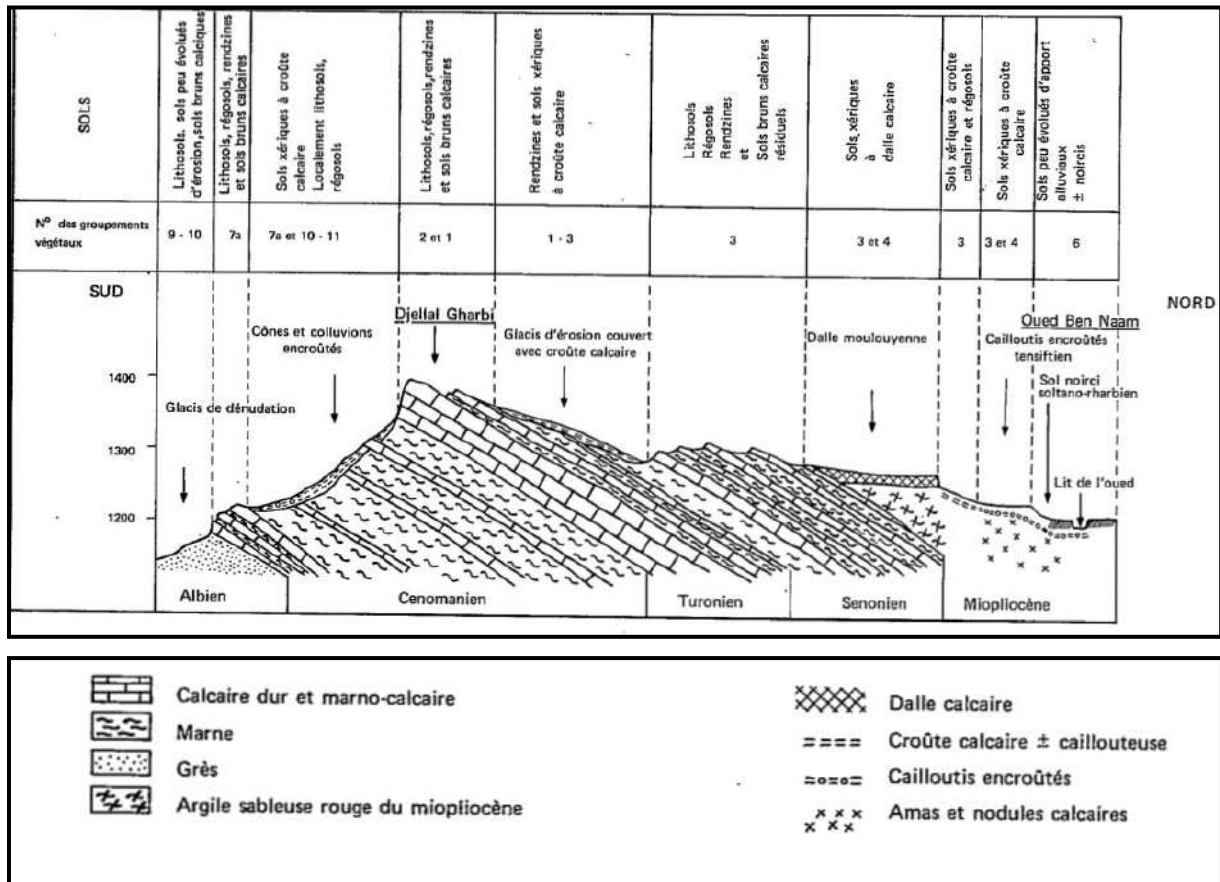


Figure 6: Schéma Nord sud pour le synclinal de Djelfa

D'après la figure n°6 qui représente un schéma Nord-Sud pour le synclinal de Djelfa, qui présente les relations existantes entre sols et géomorphologie dans notre zone d'étude.

Suite à une analyse des travaux de Pouget et al (1977) et Le Houerou et al.1977, en vue de faire une série de cartes phytoécologiques : bioclimatiques, carte géomorphologiques pédologiques, des groupements végétaux, d'aptitudes de milieu de chaque partie de notre zone d'étude.

2. Caractères climatiques et bioclimatiques

Plusieurs sont les auteurs qui ont étudié le climat des hautes plaines steppiques algériennes tels que les travaux de Seltzer, (1946) ; Gaussen, (1948) ; Le Houerou et *al* 1977 et Djebaili 1987 ; 1984 ; Djellouli, 1981, 1990 ect...),

La région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année ;

Le type du climat dans la steppe sud algéroise est de type méditerranéen (Le Houerou et *al.*, 1977) qui se caractérise par une forte continentalité. Il comporte deux périodes très marquées : une période sèche et chaude plus longue qui coïncide avec les mois à jours longues et une période pluvieuse et froide qui coïncide avec les mois à jours courtes (Emberger, 1955).

En vue d'une caractérisation climatique et bioclimatique de la zone étudiée, sur une période couvrant 31 ans (1985-2016), nous avons utilisé les données climatiques relatives à deux stations météorologiques, relevant de l'ONM de Djelfa et celle de Laghouat. Ces deux postes météorologiques, qui sont choisis comme stations de références de notre zone d'étude, ce qui nous a permis de procéder à des corrections climatiques selon le gradient pluviométrique de Djebaili (1984) pour les steppes sud-algéroises. Le gradient pluviométrique de Djebaili est de 20mm/100m (Djebaili, 1984). En ce qui concerne les températures, les gradients thermiques retenus sont ceux proposés par Seltzer (1946) à savoir 0.4 °C /100 m pour la température moyenne minimale du mois le plus froid « m » et 0.7 °C /100 m pour la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M ».

2.1. Précipitation

La précipitation moyenne annuelle reste la donnée la plus utilisée pour caractériser la quantité de pluie en un lieu donné. De plus, cette quantité d'eau reçue annuellement est un élément essentiel pour la vie végétale avec la précipitation moyenne mensuelle et la répartition des pluies influent sur la vie des végétaux (Djellouli, 1981).

D'après Djebaili (1978, 1984), la pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'une autre part. Les précipitations varient selon trois paramètres :

- La latitude puisque la pluviosité diminue du nord vers le sud ;
- La longitude selon laquelle on note une diminution des précipitations d'Est en Ouest ;
- L'altitude ; la pluie augmente avec l'altitude.

Tableau 1: Variations moyennes mensuelle et annuelles de la précipitation de la région

Djellal - Ain El bel

Mois	Jan	Fev	Mar	AV	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oc	No	De	Cumul
P (mm) Djella l	33,30	28,52	30,84	29,94	35,37	19,96	9,56	20,52	32,99	29,09	27,22	27,55	324,86
P (mm) Ain el Ible	29,01	24,85	26,87	26,09	30,82	17,39	8,33	17,88	28,74	25,34	23,72	24,00	283,04

Source ONM de Djelfa, 2016 (modifié)

D'après le tableau 1 et le tableau 2 et la Figure 7, on remarque bien que la précipitation moyenne annuelle diminue en allant du Nord vers le Sud, ce qui fait que la région de Djellal a la quantité de précipitation la plus importante avec 324,86 mm suivie par la région de Ain El Ible (283.04 mm) puis la région de Messaàd (167.61 mm).

Dans les deux premières stations, station de Djellal et station de Ain El Ible, nous avons remarqué deux périodes humides l'une est enregistrée durant la saison hivernale est représentée par le mois de janvier avec respectivement (33.30 mm, 29.01 mm), suivie par un maxima printanier en mois de Mai (35.37 mm, 30.82 mm), le deuxième est automnal et il est représenté par le mois de septembre avec respectivement : 32.99 mm, 28.74 mm.

Tableau 2: Variations moyennes mensuelles et annuelles de la précipitation de zone de Messaàd

Mois	Jan	Fev	MA	AV	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oc	No	De	Cumul
P (mm) Messaàd	18,87	6,61	12,49	17,05	15,61	11,30	5,12	10,72	21,07	20,50	11,31	16,96	167,61

Source ONM de Laghouat, 2016 ((Modifié)

D'après le tableau 1 qui concerne la région de Messaàd la saison la plus humide est celui de l'automne avec un record de 21.07mm en mois de septembre.

Cependant le mois le plus sec, pour notre zone d'étude, est le mois de juillet avec des valeurs comprises entre 5.12mm (Messaàd) et 09.56 mm (région de Djellal).

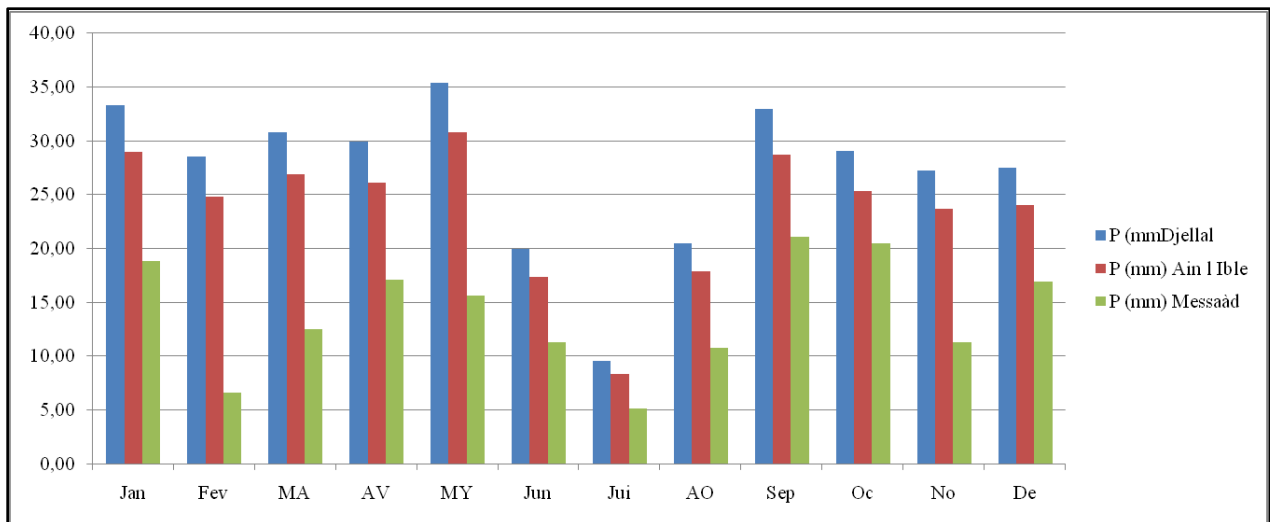


Figure 7 : Précipitation moyenne mensuelle de notre zone d'étude (1985-2016)

2.1.1. Variation annuelle de la précipitation

L'augmentation de la variabilité interannuelle accentue l'aridité du climat avec des années sèches de plus en plus nombreuses et longues (Le Houerou, 1969).

L'analyse de la variabilité interannuelle de précipitations moyenne annuelle entre 1985-2016, dans notre zone d'étude a montré les résultats suivants :

En ce qui concerne la région nord : du Djellal et Ain El Ible, les coefficients de variations ont des CV% = 25%, alors que le CV de la région de Messaâd est presque le double par rapport aux deux premières stations, avec un CV= 42%, ce qui montre bien que la variabilité interannuelle des précipitations augmente avec la latitude (vers le sud).

Pour la région nord de notre zone d'étude, les précipitations de la région de Djellal, varient entre 153.72, et 133.94mm pour la région d'Ain El Ible (enregistrés en 2000), et 456.72mm et 397,32 mm (en 1991) enregistrés respectivement dans les deux premières régions.

Une simple analyse visuelle de la courbe de tendance linéaire (Figures 8, 9), de l'évolution des modules pluviométrique des deux premières stations, région de Djellal et région de Ain El Ible, entre 1985-2016, montre bien qu'il y a une diminution notable des quantités de précipitations. Ceci a été traduit par la succession des séries années sèches, durant lesquelles la quantité de précipitation annuelles enregistrées passe en dessous des moyennes des deux premières stations qui sont respectivement : 314.71mm et 274.20mm.

Le plus important épisode des séries d'années sèches a été déclenché à partir de 1997 jusqu'à 2003 (durant 06 ans), puis 2006 et 2007, puis 2012, 2013 et 2014 et en fin et 2016. (Date de fin de série de notre analyse).

Les nombres des années sèches qui ont pris des valeurs en dessous de la moyenne sont au nombre de 16, ce qui représente 50% par rapport au nombre total de la série des années analysées (1985-2016).

Par ailleurs on a enregistré un déficit de quantité moyenne de précipitations dans les régions de Djellal et Ain El Ible, entre les deux moitiés de la série d'étude de 1985-2016 (1985-2000 et 2001-2016), de l'ordre 16%, par rapport à la quantité moyenne de précipitation de toute la série dans les deux stations d'étude, soit respectivement 50.4mm et 43.9mm.

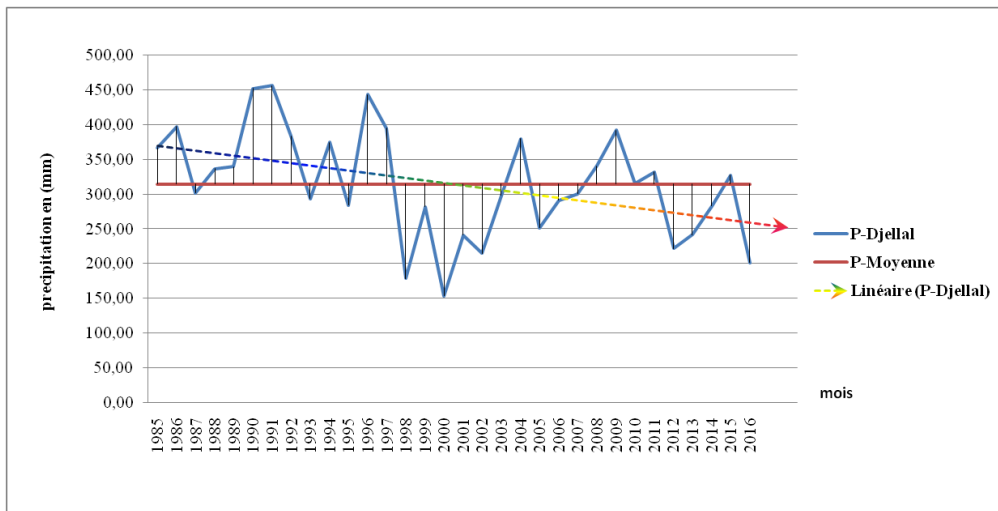


Figure 8: Evolution de la précipitation dans la région d'Ain El Ible 1985-2016

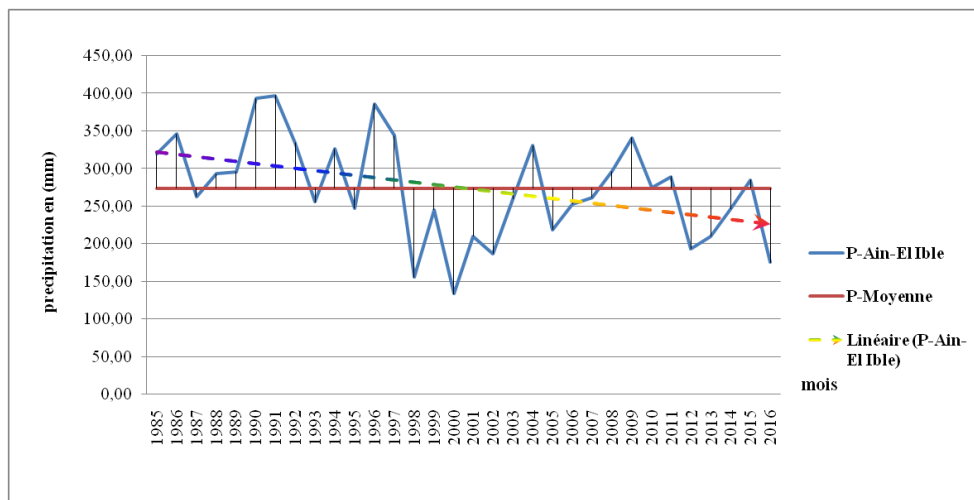


Figure 9: Evolution de la précipitation dans la région d'Ain El Ible 1985-2016

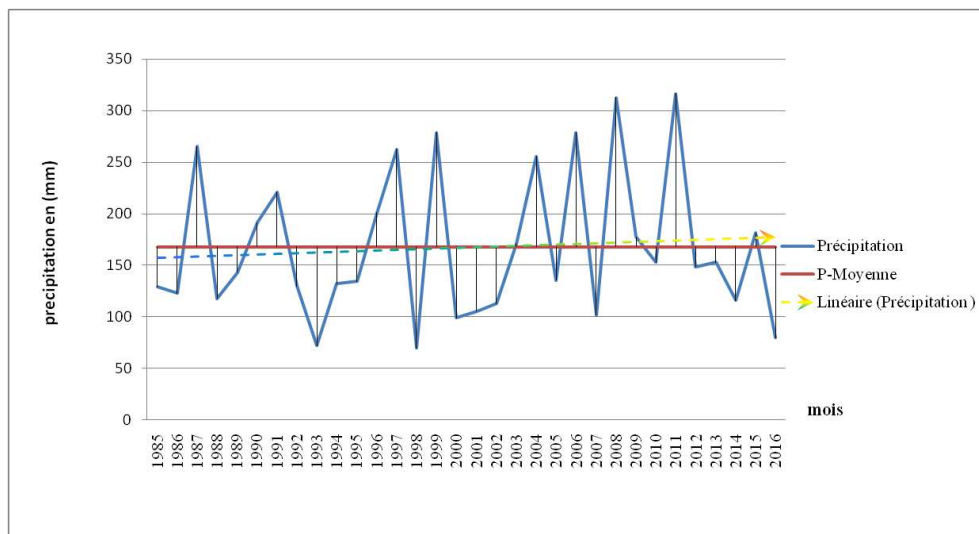


Figure 10: Evolution de la précipitation dans la région Messaàd 1985-2016

L'analyse de la courbe d'évolution de précipitation, dans la région de Messaàd (figure 10), montre bien qu'il y avait une variation de précipitation interannuelle plus importante par rapport aux deux premières stations, qui varient entre 69.60 mm (en 1998) et 312.87mm (en 2008), ce qui montre un écart important de l'ordre de 243.09mm, ceci a été confirmé par l'importance du coefficient de variation (CV), il est de l'ordre de 42% dans cette région d'étude.

2.1.2. Régimes saisonniers

La méthode consiste à calculer la somme des précipitations des saisons par ordre décroissant de pluviosité en désignant chaque saison par l'initiale P.H.E.A ; désignant respectivement le printemps, l'hiver, l'été et l'automne.

Ainsi, les pluies d'automne-hiver, ou pluies profondes, assurent l'existence des arbres ; les pluies de printemps-été, ou pluies superficielles, permettent la végétation des herbes.

D'où une division de l'Algérie en zones agricoles correspondant aux différents régimes pluviométriques (Hildebert, 1950).

Cette répartition saisonnière est particulièrement importante pour le développement des annuelles dont le rôle est souvent prédominant dans la physionomie de la végétation. Si les pluies d'automne et de printemps sont suffisantes, elles seront florissantes ; si par contre la quantité tombée pendant ces deux saisons est faible, leur extension sera médiocre (Corre, 1961).

Tableau 3: Répartition pluviométrique saisonnière de la région d'étude (1985-2016)

Station	H	P	E	A	Régime saisonniers
Djellal	89,37	96,16	50,03	89,30	PHAE
Ain El Ibel	77,86	83,78	43,59	77,81	PHAE
Messaåd	42,45	45,14	27,14	52,89	APHE

Nous remarquons que le régime saisonnier de la zone étudiée (Tableau 3, figure 11) est de type « PHAE » dans les deux premières stations, Djellal et Ain El Ible, alors que pour la troisième station de Messaåd, le régime est de type « APHE ». Les pluies automnales sont plus importantes par rapports à celle du printemps, d'hiver et de l'été.

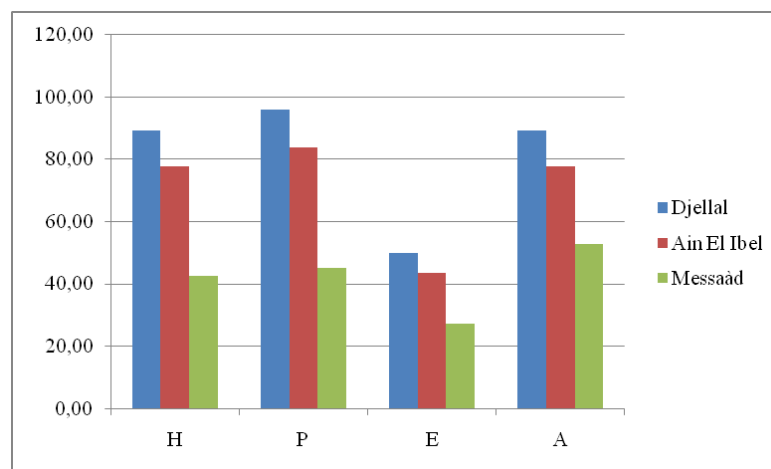


Figure 11 : Régime saisonnier de la zone d'étude

2.2. Température

Dans la croissance et le développement des végétaux, la température a un rôle essentiel. Les deux facteurs limitants sont la durée du froid hivernal et la sécheresse estivale (Kadik, 1984).

La température est l'élément du climat le plus important (Dajoz, 2000), qui caractérise la chaleur que contient un volume d'air. Elle est mesurée par degré Celsius.

Dans le tableau n°03 sont insérées les valeurs de la température enregistrées durant la période (1985-2016) de notre zone d'étude.

Tableau 4: les valeurs de la température enregistrées durant la période (1985-2016) dans la région d'étude

	Mois	J	F	M	Av	M	Jn	Jt	At	S	O	N	D
Djellal	T (max) (c°)	9,68	11,44	14,86	18,00	23,79	29,80	33,90	33,28	27,28	21,08	18,57	10,79
	T m (c°)	0,07	1,28	3,26	6,11	10,57	15,21	18,50	18,25	14,29	9,75	4,61	1,68
	T moy (c°)	4,88	6,36	9,06	12,06	17,18	22,51	26,20	25,76	20,79	15,41	11,59	6,24

Ain El Ible	T (max) (c°)	11,0 8	12,84	16,26	19,40	25,19	31,20	35,30	34,68	28,68	22,48	19,97	12,1 9
	T m (c°)	0,87	2,08	4,06	6,91	11,37	16,01	19,30	19,05	15,09	10,55	5,41	2,48
	T moy (c°)	5,98	7,46	10,16	13,16	18,28	23,61	27,30	26,86	21,89	16,51	12,69	7,34

Source ONM de Djelfa, 2016 (modifié)

	Mois	J	F	M	Av	M	Jn	Jt	At	S	O	N	D
Messaàd	T (max) (c°)	11,9	14,5	17,8	22	25,6	31,2	35,4	34,6	29,4	23,4	15,7	12,4
	T m (c°)	1,96	3,26	6,16	9,06	12,86	17,76	20,86	20,06	16,46	11,26	4,96	2,76
	T moy (c°)	6,93	8,88	11,98	15,53	19,23	24,48	28,13	27,33	22,93	17,33	10,33	7,58

Source ONM de Laghouat, 2016 (modifié)

T Moy (C°) Températures moyennes mensuelles avec $T = (M+m) / 2$.

M (C°) Températures moyennes des maximas du mois le plus chaud.

M (C°) Températures moyennes des minimas du mois le plus froid

Les températures moyennes minimales du mois le plus froid « m », nous constatons que le mois de Janvier est le mois le plus froid avec des valeurs allant de 0.07 à 1,96 C°, en allant du nord, région de Djellal au sud, la région de Messaàd.

Pour les températures moyennes maximales du mois le plus chaud « M » sont enregistrées durant le mois de Juillet ; Celui-ci reste le mois le plus chaud des températures élevées pour toutes les stations avec, respectivement, du Nord vers le Sud : 33,90 C° ; 35,30 C° ; 35,40C°.

Ce qui fait que les écarts thermiques dans notre zone d'étude sont plus importants, et dépassent 33C°, dans les trois stations, avec respectivement du nord vers le sud : 33,83C° ; 34,43C° ; 33, 44C°, ce qui montre bien que notre zone d'étude se caractérise par un climat très contrasté avec un hiver froid à frais et un été chaud et sec.

2.3. Autres paramètres climatiques

Tableau 5: Quelques paramètres climatiques enregistrés (1985-2016)

Paramètres	Jan	Fev	Ma	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	No	Dé	Moy
Vitesse du vent m/s)	3.7	3.8	4.1	4.5	3.9	3.3	3.1	2.8	2.7	2.9	3.3	5.5	3.71
Direction dominante	SW	SW	N	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	SW	SW
Gelée nombre de j/mois	11.2	9.1	3.4	0.93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.6	9.7	5.6
Neige nombre de j/mois	2.3	1.8	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	1.3	5.8

2.3.1. Vent

Les effets du vent sont partout sensibles et se traduisent par le transport et l'accumulation du sable, le façonnement des dunes, la corrosion et le polissage des roches et surtout l'accentuation de l'évaporation (Monod, 1992). Dans notre zone d'étude, la vitesse moyenne du vent varie de 2.7 à 5.5 m/s, avec une direction dominante : SW.

2.3.2. Gelées

D'après Seltzer (1946), la menace de gelée commence lorsque le minimum de la température tombe au-dessous de 10°C, la moyenne est de 5.6 jours de gelée. Les jours de Gelée enregistrée dans notre zone d'étude pendant les années (1985 – 2016), sont d'octobre à Avril, avec un maximum de 11 jour au mois de Janvier.

2.3.3. La neige

En hiver, au sommet du massif, les précipitations tombent sous forme de neige. Selon Le Houerou et *al.* (1975), la durée de l'enneigement est d'un à deux mois.

2.2. Synthèse Bioclimatique

Les facteurs climatiques n'ont une véritable indépendance ni en météorologie, ni en écologie (Sauvage, 1960). D'où l'intérêt de formules climatiques proposées par les auteurs pour une étude synthétique du climat recherchant une classification des types de climat qui puisse rendre compte au mieux du comportement de la végétation. Biologiquement, le climat méditerranéen est avant tout une question de rythme pluviométrique. En relation avec ce trait, toute vie végétative est dominée par la sécheresse estivale (Emberger, 1941). Il s'agit d'exprimer dans cette étude le degré de sécheresse du climat à partir des données de la température et de la pluviosité qui sont les deux facteurs limitant pour la vie végétale (Belgat & Meziani, 1984).

2. 2.1. Quotient pluviothermique d'Emberger

Emberger (1930, 1955, 1971) proposait de définir des sous-classes dans le bioclimat méditerranéen sur la base de l'humidité globale du climat et sa rigueur hivernale. Cela est caractérisé par le quotient pluviothermique **Q₂**:

$$Q_2 = \frac{2000 P}{(M+m)(M-m)}$$

Expression dans laquelle P désigne le module pluviothermique annuel, « M » la moyenne des maximas du mois le plus chaud et « m » la moyenne des minimas du mois le plus froid.

En Algérie, STEWART (1969) a développé une reformulation du quotient pluviothermique, d'Emberger (1952) de la manière suivante :

$$Q_3 = 3,43 \times \frac{P}{M-m}$$

Stewart (1969) a montré que les valeurs du Q_2 et celles obtenues par la formule du Q_3 sont très peu différentes, l'erreur maximale est inférieure à 2%.

Tableau 6: Quotient pluviométrique et étage bioclimatique

Stations	Q2	m (C°)	Bioclimat	Variante
Djellal	23,8	0,07	Semi-Aride	Hiver frais
Ain El Ible	28,2	0,87	Aride	Hiver frais
Messaàd	17,19	1,96	Saharien	Hiver frais

D'après le climagramme d'Emberger (Figure 12) et tableau 6, notre zone d'étude représentée par les trois stations d'étude, et qui présentent un gradient bioclimatique, en allant du Nord vers le sud, région de Djellal, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride variante à hivers frais, la deuxième station, région de Ain El Ible, a été situé dans l'étage bioclimatique Aride variante à hivers frais, tandis que notre dernière station de Messaàd a été situé dans l'étage bioclimatique saharien (présaharien).

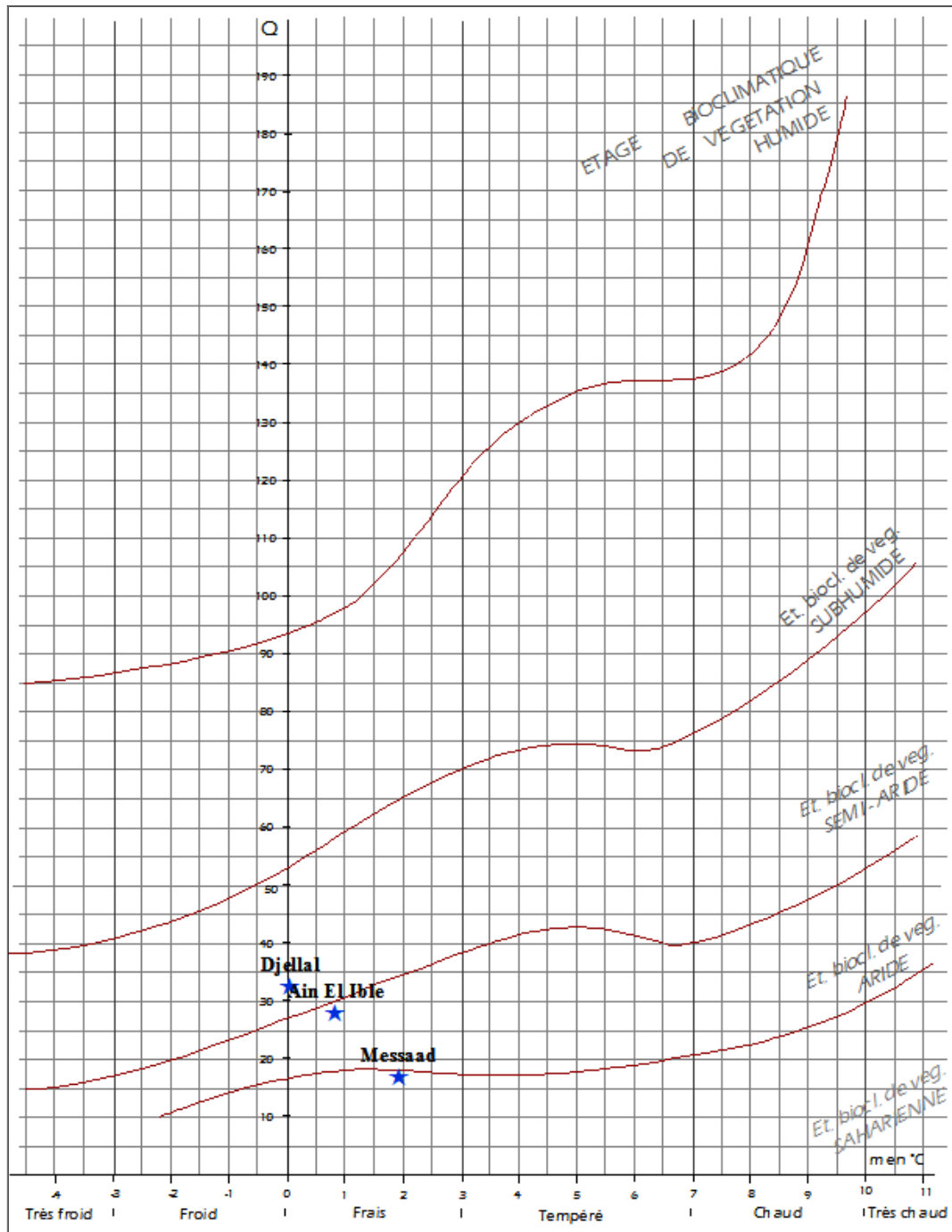


Figure 12 : Situation de la zone d'étude sur climagramme d'Emberger

2.2.2. Diagrammes Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Selon Bagnouls et Gausson (1953), sera considéré comme sec un mois où le total des précipitations (**P**) exprimé en millimètres (mm) est égal ou inférieur au double de la température moyenne (**T**) du mois exprimé en degré Celsius (°C) : $P \leq 2T$.

La longueur de la saison sèche ($P < 2T$) intervient dans la définition des climats et des bioclimats entre la méditerranée et le Sahara (Rognon, 1996).

L'utilisation des données corrigées de précipitations et de températures nous a permis de tracer le diagramme Ombrothermique des stations d'étude, et enfin, de dégager la période sèche qui est par définition, celle où se manifestent, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique plus ou moins intenses et plus ou moins continues (Le Houerou, 1995).

Cette formule peut se présenter graphiquement avec :

- ✓ En abscisse sont portés les mois de l'année
- ✓ En ordonnée à droite sont portées les températures en échelle par rapport aux précipitations
- ✓ En ordonnée à gauche sont portées les précipitations

L'aire comprise entre ces deux courbes représente l'importance de la saison sèche.

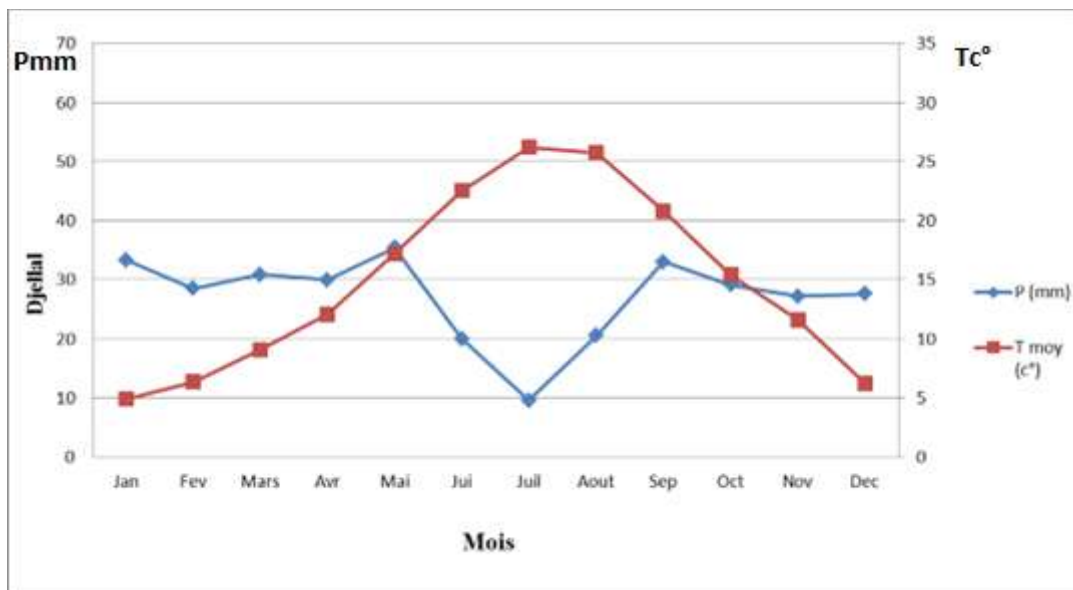


Figure 7: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de Djellal (1985-2016)

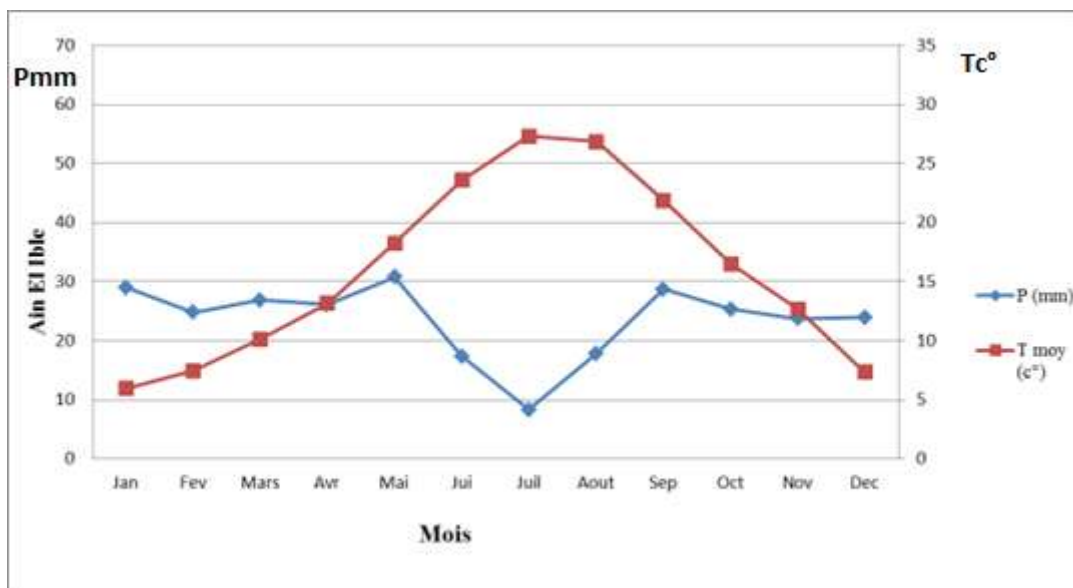


Figure 14: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен d'Ain El Ible (1985-2016)

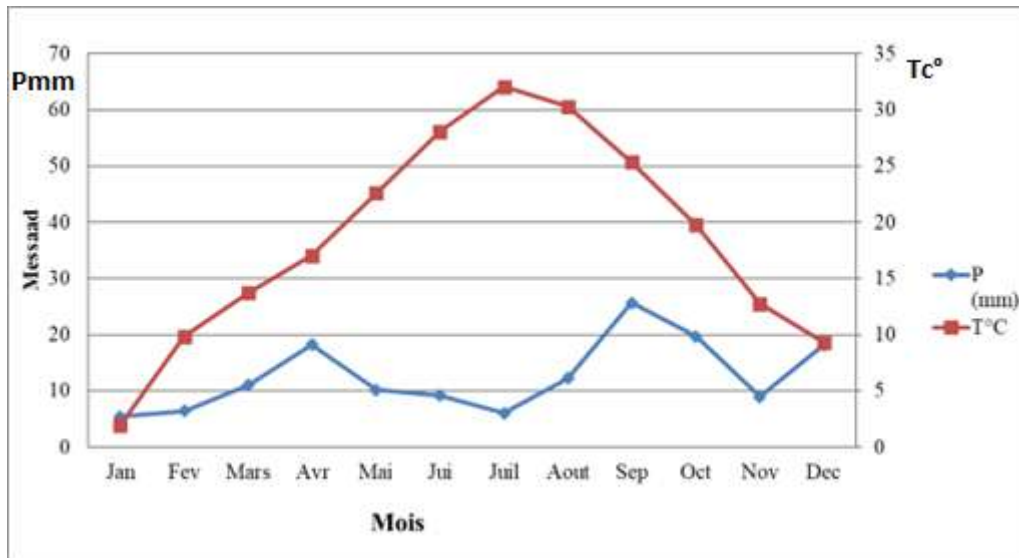


Figure 15 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de Messaàd (1985-2016)

L'analyse de différentes courbes Ombrothermique (Figures 13, 14, 15), stations de notre zone d'étude, fait ressortir que la période sèche augmente en allant du Nord vers le Sud, comme suit :

- Région de Djellal : la période sèche dure 05 mois.
- Ain El Ible : la période sèche dure 07 mois.
- Messaàd : la période sèche dure 11 mois.

3. Données socioéconomiques

Le tableau 7, ci-dessus, et la figure 16 présentent la répartition générale des terres de notre zone d'étude, avec leurs données socioéconomiques des communes de notre zone d'étude. C'est la commune de Deldoul qui présente la superficie agricole la plus importante, avec 156 123 ha, soit 46,68% comprenant des parcours qui dépassent les 140 000 ha. La répartition de l'alfa (parcours à alfa) est variée entre 3 750 ha à Messaàd à 3782 ha Deldoul.

La wilaya de Djelfa est caractérisée par des activités agro-pastorales dominées par l'élevage ovin conduit en extensif, en association avec une céréaliculture maigre et aléatoire cultivée dans les terrains de parcours alors que dans les Dayas et les zones d'épandage des eaux de pluies elle enregistre parfois des rendements spectaculaires (DPSB., 2017). La wilaya de Djelfa a le nombre de cheptel le plus important en Algérie, et qui a connu une croissance exponentielle depuis l'indépendance, devant une diminution importante des parcours steppiques (Boussaid, 2018) ; selon Smail (1991). Il comptait un million de têtes en 198, et a augmenté en à 2 millions en 1997 et il a dépassé les 3 millions en 2009 (DSA, 2009). Actuellement, il dépasse les 4 millions de têtes représentant 1/5 du cheptel national (DSA, 2021).

Tableau 7: Répartition générale des terres par commune et données socio-économiques

Commune	Superficie (ha)	Terrains agricoles (ha)	Parcours (ha)	Parcours d'Alfa(ha)	Cheptel	Population	Densité (Hab/Km ²)
Aïn El Ibel	58379	35 913	23 947	17 744	628450	36 968	63,32
Moudjebara	86259	54 590	28 862	25 170	167330	17 926	20,78
Tadmit	92234	69 364	31 495	5 900	167800	15 676	17
Zaccar	22834	5 725	973	12 260	26700	1 959	8,58
Messaàd	15080	12 750	8 312	3 750	80700	127 754	847,17
Deldoul	183442	156 123	143 599	37 382	72510	12 160	6,63
Total	458 228	334 465	237 188	102 206	1 143 490	212 443	160,58 (Hab/Km ²) (Densité moyenne)

(DPSB., 2017)

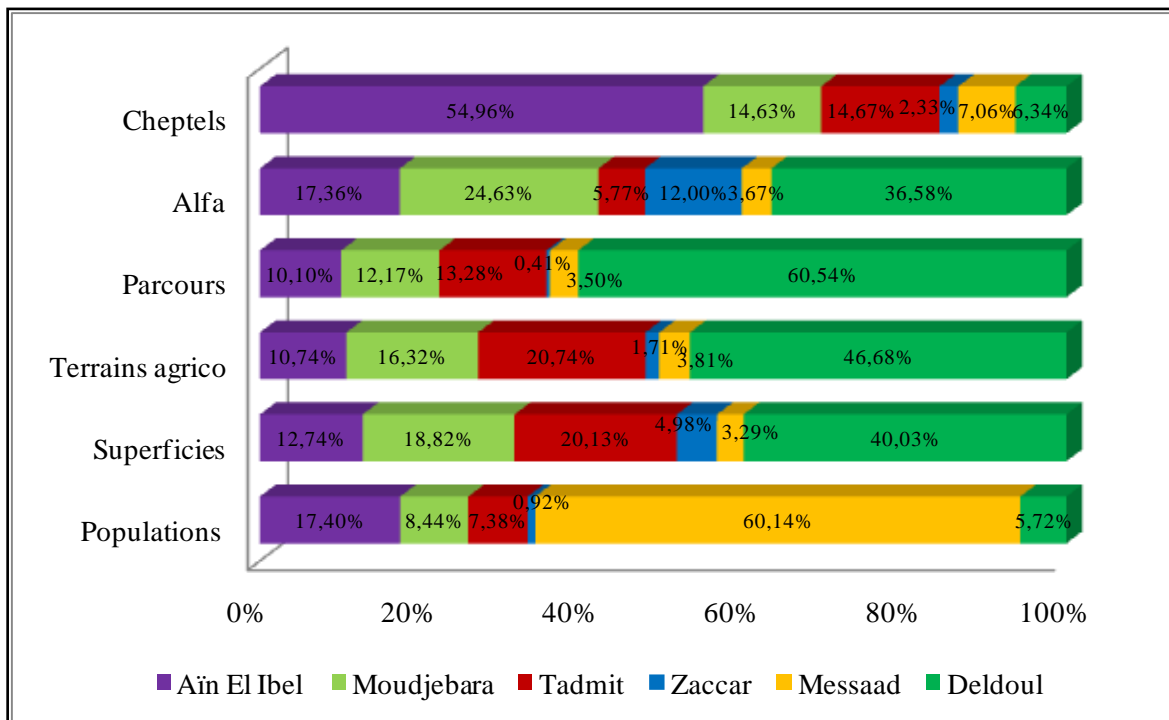


Figure 16 : Etude comparative entre les différentes données socioéconomiques

L'accroissement de la population urbaine et rurale, l'augmentation du cheptel (ovin, caprin), ainsi que l'absence de règles de gestion conduisent à une amplification de la pression sur les ressources via des pratiques inadaptées et néfastes (surpâturages, extension de défrichement, déforestation.). L'amplification de ces pratiques dans un paysage aride participe à l'intensification de la désertification (Nedjraoui, 2001 ; Hadeid, 2008) ;

La comparaison entre les données socioéconomiques des différentes communes de notre zone d'étude montre bien que les communes des chefs-lieux des deux daïras dans notre zone d'étude, en l'occurrence la commune de Messaàd et celle Aïn El Ibel, représentent les communes les plus peuplées avec des nombres de population respectivement de 127 754 Hab (60,14%) et 36 968 Hab (17,40%) ; la densité de population est de 847,17 Hab/Km² pour la première et 63,32 Hab/Km² pour la deuxième commune. Par contre, la densité de population la plus faible (6,63 Hab/Km²) a été enregistrée au niveau de la commune de Deldoul, qui a la superficie la plus importante de notre zone d'étude avec 183442 ha soit 40%.

Par ailleurs, le nombre du cheptel le plus important a été enregistré dans la commune de Aïn El Ibel, avec 628450 têtes, soit 54,96% par rapport à la totalité des cheptels enregistrés dans notre zone d'étude, suivie par les deux communes de Moudjebara et Tadmit, qui ont respectivement 167330 têtes (14,63%) et 167800 (14,67%), par rapport à l'effectif total des cheptels de notre zone d'étude.

4. Classification des groupements végétaux

D'après Pouget (1977), la classification des groupements végétaux dans notre zone d'étude donne les formations végétales suivantes : la forêt, le matorral, la steppe et les cultures, qui sont organisées comme suit :

4.1. Aride supérieur (P : 300 < mm < 400)

4.1.1. Variante à hiver froids (1300-1400) et $-2^{\circ}\text{C} < m < +1^{\circ}\text{C}$

La forêt claire de Pin d'Alep (Synclinal de Djelfa); C'est la série du Pin d'Alep à genévrier de Phénicie, qui commence par une forêt claire (Le Houerou, 1969).

On distingue les groupements végétaux suivants :

C'est la série du Pin d'Alep, qui commence par une forêt claire (Le Houerou, 1969).

- ✓ Gr. forestier à *Pinus halepensis* et *Juniperus oxycedrus*.

Sur les djebels et affleurements rocheux des Djellal Gharbi et Chergui (Synclinal de Djelfa) avec localement les glacis encroûtés du Quaternaire moyen.

- ✓ Gr. de dégradation forestière à *Juniperus phoenicea*, *Rosmarinus tournefortii*; et *Stipa tenacissima*.

Ces groupements sont localisés sur les Djebels et affleurements rocheux des Djellal Gharbi et Chergui (Synclinal de Djelfa) avec localement les glacis encroûtés du Quaternaire moyen avec une diversité du sol calcaire dur, marno-calcaire et grès. Cette formation occupe les mi versants, la hauteur des arbres étaient supérieure à 7m.

La deuxième formation qui succède à la formation de forêt claire, c'est le Matorral arboré.

Il est très vite envahi par l'alfa, d'autant que les genévriers, romarin et cistes ont été activement détruits (bois de chauffage et surpâturage).

Les formations forestières se succèdent par les formations steppiques herbacées comme suit :

- ✓ Gr. steppique à *Stipa tenacissima*, *Thymelea tartonraira* et *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*.
- ✓ Gr. steppique à *Artemisia herba alba* et *Helianthemum hirtum*.

Ce groupement, intéressant pour sa valeur pastorale, est lui aussi détruit par le surpâturage et surtout les labours répétés (céréales); L'armoise blanche et les espèces pastorales vivaces (*Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*). Il est constitué par les faciès suivants :

_ Faciès à *Artemisia herba-alba*, *Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum* et *Onobrychis argentea* s'installe en particulier sur les argiles sableuses rouges du Miopliocène faiblement salées et gypseuses ou dans certaines zones déprimées.

_ Faciès à *Artemisia herba-alba* et *Helianthemum hirtum*, provient de la dégradation (disparition de l'alfa) du groupement précédent. Localement, lorsque la croûte calcaire devient un peu salée, le sparte devient très abondant : S/G : *Lygeum spartum*.

D'autre part, sous l'effet du surpâturage, le couvert végétal se dégrade fortement avec un grand développement de *Noaea mucronata* (faciès dégradé à *Noaea mucronata*).

C'est généralement une belle steppe d'alfa qui sous l'effet de la mise en culture épisodique et d'une exploitation intensive cède la place au groupement suivant :

- ✓ Gr. steppique à *Artemisia herba-alba*, *Helianthemum hirtum* ssp. *Ruficomum* et *Onobrychis argentea*.

Ce groupement, intéressant pour sa valeur pastorale, est lui aussi détruit par le surpâturage et surtout les labours répétés (céréales).

- ✓ Gr. cultigènes et jachères à *Artemisia herba-alba* et *Ziziphus lotus*.

4.1.2. Variante à hivers froids à frais : - 2 < m < 3 avec un Altitude entre 1100 - 1300 m.

- ✓ Groupement de dégradation forestière à *Juniperus phoenicea*, *Rosmarinus tournefortii* et *Stipa tenacissima*

- *Sous groupement a à *Cistus libanotis*.

- *Sous groupement b à *Atractylis humilis*

- *Sous groupement c à *Pithuranthos scoparius*

- ✓ Groupement steppique à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada*.

- * Sous groupement à *Pithuranthos scoparius*

- ✓ Gr. cultigènes et jachères à *Artemisia campestris*, *Artemisia herba-alba* et *Ziziphus lotus*.

4.2. Aride moyen : (200 < P (mm) < 300)

La steppe à *Stipa tenacissima* fait suite dans la série de dégradation aux trois groupements forestiers et préforestiers précédents. C'est généralement une belle steppe d'alfa qui, sous l'effet de la mise en culture épisodique et d'une exploitation intensive, cède la place aux groupements postes culturels à armoise blanche et *Ziziphus lotus* (Pouget, 1977). Elles étaient à la fois les plus abondantes et les plus diversifiées. L'espèce existait aussi bien sur les versants des djebels que sur les glaciers encroûtés, assurant ainsi la transition entre les formations forestières et celles steppiques à chamaephytes telles que *Artemisia herba alba* ou graminéennes à *Lygeum spartum*. Cette formation existe souvent dans tous les sous étages bioclimatiques avec étage altitudinale entre 900 et plus 1400m.

Les groupements qui occupent cette formation sont les groupements qui sont localisés sur les Djebels et sur les Glacis de quaternaire ancien et moyen aux différents types du sol. Donc s'étendent sur toute la région de Messaàd- Ain El Ible.

4.2.1. Variante à hivers frais : ($1^{\circ} < m < 3^{\circ}$ avec un Altitude entre 900 - 1100 m.)

Cette formation représentée par les faciès suivant :

- ✓ Gr. steppique à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada* C'est un faciès intermédiaire entre la steppe arborée et les groupements à *Stipa tenacissima* sur calcaire dur avec deux sous-groupements en fonction du substrat :

*S/Gr. Atypique sur calcaire dur. Localement sur les strates marneuses plus ou moins gypseuses et salées on note *Salsola vermiculata* var. *villosa*. (L'anticlinal du Djebel Zerga).

* S/Gr. b à *Pithuranthos scoparius* sur les affleurements de grès. Entre les dalles de grès ou sous les touffes d'alfa ;

- ✓ Groupement steppique à *Stipa tenacissima* et *Erodium glaucophyllum*.
- ✓ Gr. steppique complexe à *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba*, *Thymelea microphylla* et *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum*.
- ✓ Gr. Steppique à *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba* et *Salsola vermiculata* var. *brevifolia*.
- ✓ Gr. steppique à *Artemisia herba-alba* et *Herniaria fontanesii*.
- ✓ Gr. steppique complexe à *Artemisia herba-alba*, *Thymelea microphylla* et *Artemisia campestris*).
- ✓ Gr. steppique à *Lygeum spartum*, *Salsola vermiculata* var. *villosa* et *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*.

Les steppes présahariennes : steppe à *Arthrophytum scoparium* et ou *Thymelea microphylla*

Pour les steppes à *Arthrophytum scoparium* :

Cette steppe est localisée beaucoup plus au Sud de notre région d'étude sur sol limono-sableux avec dalle calcaire (Quaternaire ancien).

En ce qui concerne les **steppes à *Thymelea microphylla***, Cette formation est liée à la présence d'ensablement causé essentiellement par les affleurements de grès soumis à une érosion éolienne plus ou moins intense (Nebkas de sable mobile et zones de déflation)

On distingue deux variantes climatiques :

4.2.2. Variante à hiver frais à tempéré +1°C<m<+5°C

Gr. à *Stipa tenacissima*, *Launaea acanthoclada* et *Gymnocarpos decander*.

S/Gr : *Salsola vermiculata* var. *brevifolia*.

Gr. A *Thymelea microphylla* et *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum*.

Gr. A *Thymelea microphylla* et *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum*.

S/Gr : à *Stipa tenacissima*.

S/Gr : à *Salsola vermiculata* var. *villosa*.

Gr. A *Stipa tenacissima*, *Hamada scoparia* et *Artemisia herba alba*.

S/Gr : à *Thymelea microphylla*.

4.2.3. Variante à hiver tempéré +5°C :

Gr. à *Farsetia aegyptiaca* et *Thymelea microphylla*.

Gr. à *Hammada scoparia* et *Artemisia herba-alba*.

S/Gr. à *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum*.

S/Gr. à *Salsola vermiculata* var. *villosa*.

Gr. à *Farsetia aegyptiaca* et *Helianthemum hirtum* ssp. *bergevini*.

Gr. à *Anabasis oropediorum*, *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum* et *Noaea mucronata*.

Gr. à *Gymnocarpos decander* et *Helianthemum Kahiricum*.

S/Gr. : faciès à *Stipa tenacissima*.

S/Gr. : *Salsola vermiculata* var. *villosa*.

S/Gr. : à *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*.

Gr. à *Thymelea microphylla*, *Artemisia campestris*, *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum* et *Ziziphus lotus*.

Gr. A *Hamada scoparia*, *Artemisia herba-alba* et *Ziziphus lotus*.

Toute la zone localisée au Nord d'Ain Naga se caractérise par une très nette dominance des affleurements gréseux.

Les cultures et jachères

Ces groupements se localisent exclusivement dans les thalwegs (chenaux d'oueds alluvionnés) et zones d'épandage de débordement recevant un appoint d'eaux de ruissellement (terrasses anciennes et ressentes). Les sols sont assez profonds (texture moyenne) avec une croûte ou en encroûtement calcaire à moyenne profondeur et sol peu évolué.

Les groupements végétaux à *Artemisia herba-alba*, *Ziziphus lotus*, *Helianthemum lippii* var. *sessiflorum*, *Nerium oleander*, existent dans tous les sous étages bioclimatiques.

Les zones cultivables occupent une superficie très restreintes raison de l'importance des affleurements rocheux (sols squelettiques et topographie accidentée) et de l'omniprésence de l'horizon d'accumulation calcaire à faible profondeur (dalle, croûte calcaire). De plus, l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviosité exigent pour les cultures un apport d'eau supplémentaire.

Synthèse

Notre zone d'étude se subdivise en trois zones phytoécologiques qui se distinguent essentiellement par leurs bioclimats différents

- Zone à vocation forestière avec une altitude supérieure à 1100 m, localisée dans le Nord et représentée essentiellement dans la région de Djellal.

Elle est occupée essentiellement par des formations forestière et préforestières, et des formations steppiques poste forestière, issues d'une dégradation actuelle de la forêt claire.

- La zone de l'aride moyenne variante à hivers frais, avec une altitude qui varie entre 900 m et 1100 m, c'est une région à vocation steppique ; Elle est occupée essentiellement par les formations steppiques à *Stipa tenacissima* et leurs faciès de dégradation.
- La zone de l'aride inférieur à hivers tempéré (l'altitude inférieurs à 900 m) : elle est occupée essentiellement par les formations présahariennes à *Hamada scoparia* et les formations psammophytes à *Thymelea microphylla*, et leurs formations de dégradation.

Les sous groupements dans les différentes formations climaciques sont liés aux différents degrés de dégradation des groupements climaciques dans chaque zone écologique de notre zone d'étude.

On peut constater que la typologie des groupements végétaux dans notre zone d'étude est liée essentiellement aux deux facteurs principaux : le facteur climatique et le facteur anthropique.

Chapitre II : Synthèse bibliographique

5. Généralités sur la steppe algérienne

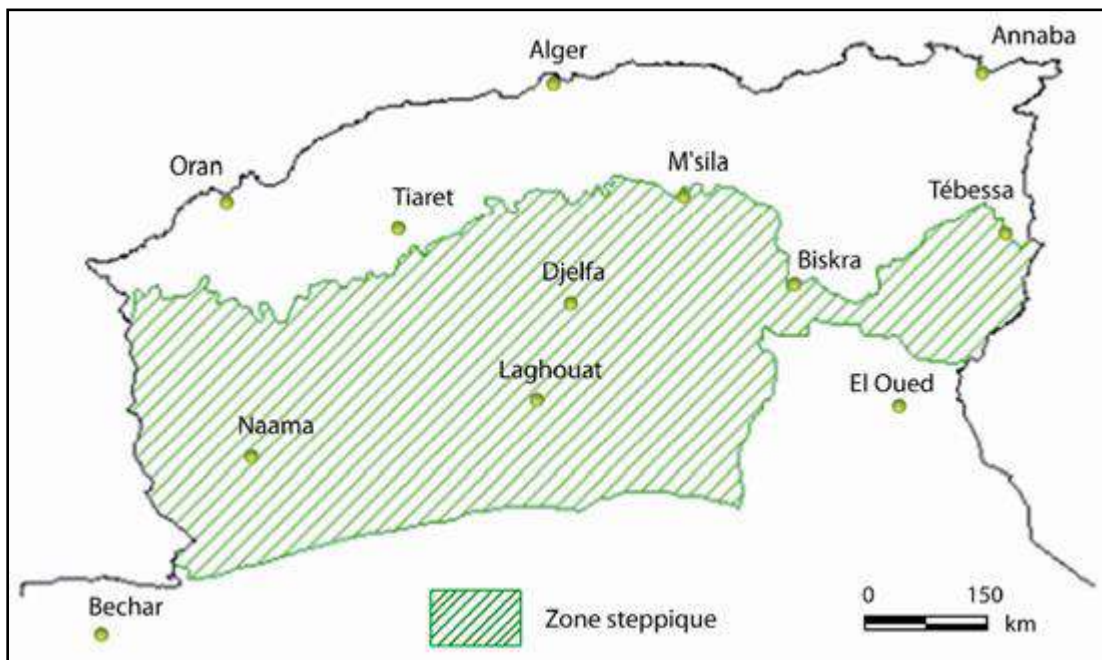
5.1. Définition de la steppe

Selon Bourbouze & Donadieu (1987) La steppe est définie comme « 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 ». Alors que Le Houerou (1995) la définit en tant qu'immenses étendues plus ou moins arides, à reliefs peu accusés, couvertes d'une végétation basse et clairsemée.

Par ailleurs, selon Kadi Hanifi (2004) les écosystèmes steppiques se caractérisent par une formation végétale hétérogène discontinue plus ou moins dense, composée de plantes herbacées et arbustives xérophiles de hauteur limitée, et par des sols généralement maigres à faible taux en matière organique.

5.2. Délimitation géographique des steppes algérienne

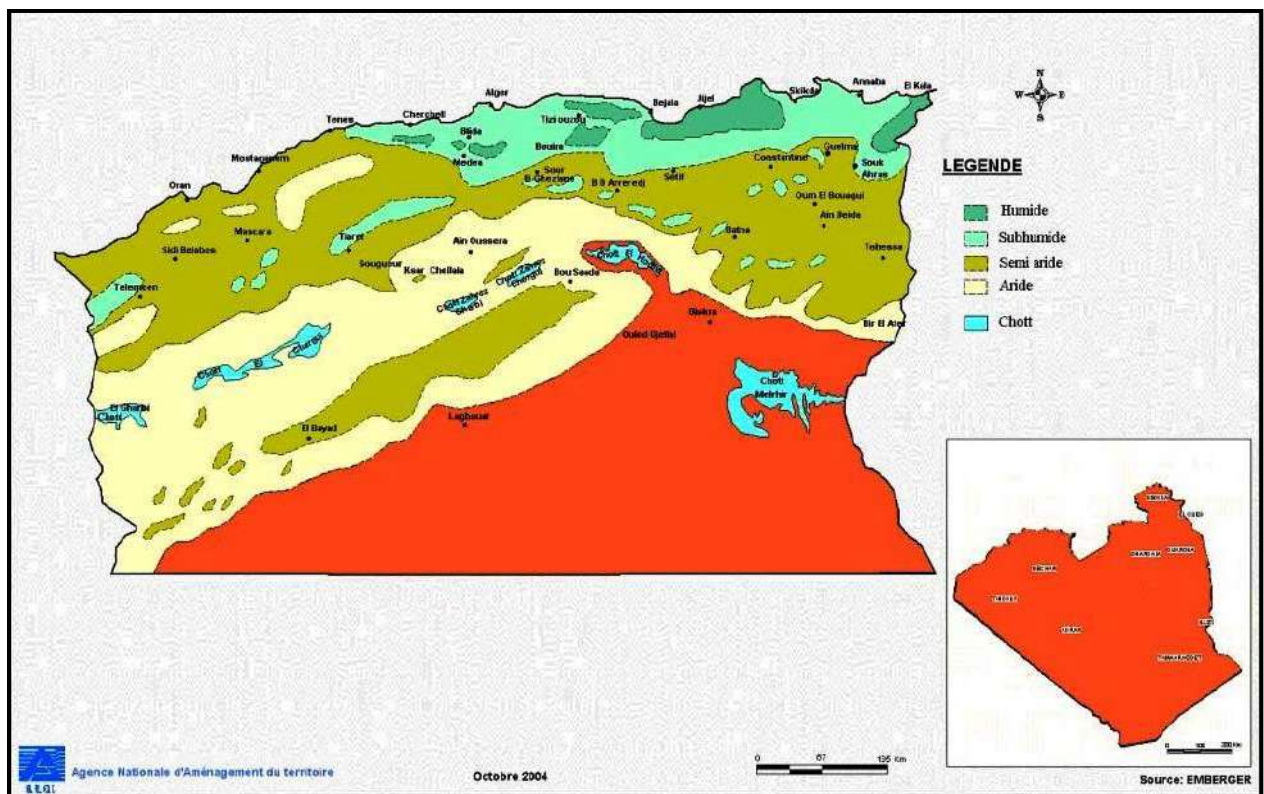
La steppe algérienne, délimitée entre les deux isohyètes 400mm au Nord et 100 mm au Sud (Figure 17) ;



Source : DGF, 1985

Figure 8: Délimitation géographique de la steppe algérienne

Elles couvrent une superficie de 20 millions d’hectares, qui sont limitées par l’isohyète 400 mm au nord, qui coïncide avec la limite sud de cultures céréalières en sec, et par l’isohyète 100 mm au Sud, qui est considéré comme la limite méridionale de l’extension de l’alfa (*Stipa tenacissima* L.); Ces steppes colonisent tous les substrats géologiques de 400 à 1200 m d’altitude ; Les étages bioclimatiques s’étalent du semi-aride inférieur frais et froid au nord, au per aride inférieur tempéré au sud (Figure n°18). (Djebaili, 1978 ; Le Houreou, 1995 ; Djellouli, 1990) ;



Sources ANAT, 2004

Figure 9: Climat de la steppe Algérienne

5.3. La végétation steppique

D’après Aidoud (1996) une steppe aride est un milieu qui n’offre que des conditions extrêmes pour l’établissement et le maintien d’une végétation pérenne ; Elle se caractérise par l’importance des espèces vivaces, ligneuses ou graminéennes, couvrant 10 à 80% de la surface du sol avec un développement très variable des espèces annuelles liées aux pluies.

5.4. Les différents types de parcours steppiques

5.4.1. Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*)

Les steppes d'alfa ont été les plus affectées par la dégradation récente. Ces steppes, d'aucuns qualifiaient de fossiles-vivants (Manjauze, 1947, Marion, 1956) in (Aidoud et *al.*, 2006), ont réussi pourtant à résister aux aléas climatiques et à l'exploitation par l'homme et ses troupeaux durant des siècles (Aidoud et *al.*, 2006) ; Dont l'aire potentielle était de 4 millions d'hectares présentant une forte amplitude écologique (Kadi-Hanifi, 1998). La production de l'alfa peut atteindre 10 tonnes MS/ha mais la partie verte qui est la partie exploitable a une production de 1000 à 1500 kg MS/ha. L'alfa présente une faible valeur fourragère de 0,3 à 0,5 UF/kg MS, cependant, les inflorescences sont très appréciées (0,7 UF/kg MS). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Nedjraoui, 2004).

5.4.2. Les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*)

Les steppes à armoise blanche tiennent une place importante en milieux steppique et dans l'économie des hautes plaines dont la vocation est essentiellement pastorale. Les bonnes caractéristiques de ces parcours ont causé une pression pastorale qui a entraîné une dégradation aussi bien du couvert végétal que du sol (Lahmar, 2001) ; Elles recouvrent 03 millions d'hectares en aire potentielle. L'armoise ayant une valeur fourragère importante de 0.45 à 0.70 UF/Kg MS. Ces steppes sont souvent considérées comme les meilleurs parcours (Nedjraoui, 1981). La charge pastorale est de 01 mouton par 1 à 3 hectares (Nedjraoui, 2004).

5.4.3. Les steppes à sparte (*Lygeum Spartum*)

Représentent 02 millions d'hectares, 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. L'espèce *Lygeum spartum* ne présente qu'un faible intérêt pastoral (0,3 à 0,4 UF kg MS). Les steppes à sparte sont peu productives avec une production moyenne annuelle variant de 300 à 500 kg MS/ha, mais elles constituent cependant des parcours d'assez bonne qualité (Nedjraoui, 2004) ; Leur intérêt vient de leur diversité floristique et de leur productivité relativement élevée en espèces annuelles et petites vivaces, elle est de 110 kg MS en moyenne (confère à ces types de parcours une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/an et une charge de 2 à 5 ha/mouton. (Nedjraoui, 2004).

5.4.4. Les steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*)

Forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophile (20–200 mm/an), thermophile, variantes chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou siérozems encroûtés font de ces steppes des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral (Nedjraoui, 2001). La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/kg/MS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kg MS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an ; Avec une charge pastorale de 10 à 12 ha/mouton. Ce type de steppe est surtout exploité par les camelins (Nedjraoui, 2004).

5.4.5. Les steppes à psammophytes

Sont liées à la texture sableuse des horizons de surface et aux apports d'origine éolienne. Ces formations sont inégalement réparties et occupent une surface estimée à 200 000 ha. Elles suivent les couloirs d'ensablement et se répartissent également dans les dépressions constituées par les chotts. Elles sont plus fréquentes en zones aride et présaharienne ; Ces formations psammophytes sont généralement des steppes graminéennes à *Aristida pungens* et *Thymelea microphylla* ou encore des steppes arbustives à *Retama retam* (Le Houerou, 1969 ; Celles 1975 ; Djebaili, 1978) ; Leurs valeurs pastorales varient de 200 à 250 UF/ha (Deghnouche, 2011). Ce type de steppe est surtout exploité par les camelins (Nedjraoui, 1981)

5.4.6. Les steppes à halophytes

Constituent d'excellents pâturage dont la permanence pendant la saison sèche assure l'alimentation de nombreux troupeaux des hautes plaines ; Ce sont surtout les *Salsola* et aussi les *Atriplex* ; Ils sont localisés là où la rétention de l'eau et le taux élevé de salinité ne constitue pas un problème ; Les halophiles, dont *Atriplex halimus* d'assez bonne valeur fourragères ; Les espèces les plus répondues sont : *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, *Suaeda fruticosa* et *Frankenia Thymifolia* (Bensaid, 2006).

Enfin, la typologie des parcours steppiques peut, valablement, être calquée sur les types physiologiques définis par des végétaux pérennes spontanés dominants qui demeurent des indicateurs écologiques et d'usages. (Aidoud et al., 1996) ; Il existe d'autres formations végétales dans les hautes plaines steppiques algériennes, qu'on peut rencontrer, sur la zone d'altitudes, qui sont installées généralement sur les massifs montagneux de L'Atlas Saharien, tels que les formations forestières, préforestières (Matorral) à *Pinus halepensis* et *Juniperus Phaenicia*, ou bien celle de leurs formations de dégradation, poste forestières, telles que les steppe arborées à *Stipa tenacissima* et *Juniperus Phaenicia*, ou encor des associations

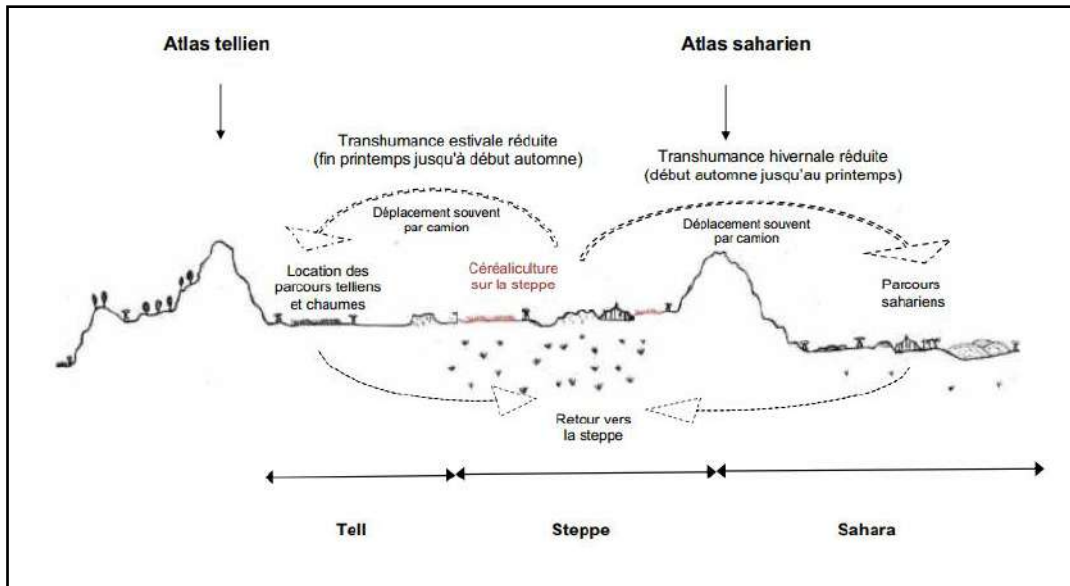
d'annuels (thérophytes) formants des pelouses poste forestières, sur des milieux fortement dégradée.

6. Problématique de la steppe algérienne

Il est généralement admis que traditionnellement l'activité dominante dans la steppe était le nomadisme ; Ce mode de vie est basé sur la transhumance vers le nord et vers le sud ; Cette transhumance était dictée par un besoin en fourrage dans des zones favorables (parcours Présahariens en hiver, zones céréalières en été), réglemantée par des ententes tacites entre tribus, c'est ce qu'on n'appelle communément système de transhumance « Achaba-Azzaba ». (Figure n°19) Ces déplacements, s'effectuant en été vers les zones telliennes (Achaba) et en hivers vers les parcours présahariens (Azzaba), allègent la charge sur les parcours steppiques, leurs permettant ainsi de se régénérer. (Nedjimi & Homida, 2012) ; Aujourd'hui la situation a évolué dans le sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme (Merouane, 2014).

Elles ont contrarié les règles tribales anciennes et elles ont précipité le phénomène d'appropriation des terres steppiques, sub-steppiques et sahariennes par tous les moyens possibles : labour hors saison, défrichement des parcours pour marquer la présence, mise en défens saisonnière (« Gdall ») ...etc. Les effectifs croissants des troupeaux de la steppe ont conduit les éleveurs à développer la céréaliculture, qui a gagné d'année en année une bonne partie des parcours sur des terres marginales peu propices. (Bencherif, 2011) ;

Par ailleurs dans la zone des Hauts Plateaux steppiques, à vocation agro-pastorale, la cause de dégradation des sols est principalement l'érosion éolienne. Celle-ci affecte les parcours arides et semi-arides sous l'action des phénomènes naturels (sécheresse, diminution des capacités nourricières du couvert végétal, tarissement des points d'eau, etc.), mais également de nouvelles données socio-économiques s'amplifiant depuis quelques années tels que la surcharge du cheptel, la désorganisation des parcours de pacage et le « vide juridique » en matière d'appropriation des anciennes terres collectives (*Arch*).



Source : Bencherif, 2011

Figure 10: Mouvement des pasteurs après transformation des systèmes d'élevage

A ces facteurs, s'ajoute le mode de vie pastoral, encouragé par les conjonctures diverses, notamment, la disparition quasi-totale du nomadisme, la sédentarisation des éleveurs, le recours aux défrichements des parcours par des labours profonds et mécanisés et l'expansion de la céréaliculture à faible rendement sous la couverture de la loi « APFA » (Accession à la Propriété Foncière Agricole). En somme, le déclenchement de cette course à l'exploitation « minière » du sol, sans aucune contrepartie (travaux de restauration et d'amélioration foncière, fertilisation, mise en place de réseau de brise-vent, ...) (Ben Slimane et *al.*, 2008).

La steppe aride des hauts plaines algériennes se présentent comme des écosystèmes qui s'exacerbent l'ensemble des contraintes méditerranéennes par le déficit hydrique qui devient permanent (sècheresse) et la pression anthropique qui dans la plupart des cas de plus en plus intense (AYAD et *al.*, 2007).

7. La désertification dans le milieu steppique

En vue de définir ce grand fléau d'envergure mondiale qui menace l'existence 1/6 de la population mondiale, occupant le 1/4 des terres de la planète, plusieurs définitions ont fait l'objet pour la décrire, depuis sa première utilisation par Aubréville (1949), en observant le remplacement des formations forestières dans les zones tropicales et subtropicales, en Afrique par des savanes, (*ce sont des vrais déserts qui naissent sous nos yeux, dans des pays où il tombe annuellement de 700 à plus de 1500 mm de pluie* ; on signale aussi la définition établis par UNCOD, 1977; qui la définit comme étant : « la diminution ou la destruction du potentiel biologique des terres pouvant conduire

à son terme ultime à des conditions désertiques ». en fin sa définition par la Convention des Nations unies de lutte contre la désertification (CNULD) en 1994, adopté par la communauté internationale, qui désigne « la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines » ; selon cornet (2002) dans cette définition son texte précise que la dégradation des terres désigne « la diminution ou la disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que :

- L'érosion des sols causée par le vent et /ou l'eau ;
- La détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques ;
- La disparition à long terme de la végétation naturelle.

La désertification, en Algérie, concerne essentiellement les steppes des régions arides et semi-arides qui ont toujours été l'espace privilégiée de l'élevage ovin extensif. Ces parcours naturels qui jouent un rôle fondamental dans l'économie agricole du pays sont soumis à des sécheresses récurrentes et à une pression anthropique croissante : surpâturage, exploitation de terres impropres aux cultures... Depuis plus d'une quarantaine d'années, ils connaissent une dégradation de plus en plus accentuée de toutes les composantes de l'écosystème (flore, couvert végétal, sol et ses éléments, faune et son habitat). Les espèces ligneuses qui protègent le sol contre l'érosion ont été détruites et remplacées par d'autres espèces de faible valeur fourragère ou même non palatable.

En vue d'étudier les tendances d'évolution des écosystèmes, soumises à de forte pression anthropique et climatique, nous avons fait une synthèse des résultats de plusieurs chercheurs qui ont mis en évidence les différents étapes de dégradation perceptibles, dans les écosystèmes des zones arides avant l'arrivée à la phase finale, du phénomène de désertification (Le Houerou, 1968; 1995 ; Cornet, 2000 ; Jauffret, 2001 ; Douaoui et al., 2004 ; Aidoud et al., 2006 ; Taibaoui, 2008 ; Nedjraoui et Bédrani, 2008 ; Oss, 2009; Douaoui & Lépinard, 2010) :

- o Changement physiognomique de la végétation climacique, riche en espèces vivace productives, avec celle des formations secondaires, riche en espèces thérophytes occasionnelles et chamaephytiques à faible biomasse ; les faciès non dégradés de la formation pouvant éventuellement disparaître.

- o Extension de faciès post-cultureux, dominés par des espèces indicatrices de dégradation de faible valeurs écologiques et fourragères ; Suite à la dégradation de la végétation primitive en place ;
- o Changement de la composition floristique, avec la diminution des taux des espèces palatables (ou appréciées du bétail) au profit des espèces moins palatables ;
- o Régression de la phytomasse, liée à la variation des cycles climatiques et les événements stochastiques (sécheresse exceptionnelle, feu, maladie ect...);
- o Réduction du couvert végétal (< 30%) favorisant ainsi l'érosion éolienne et hydrique, combinée avec une diminution de la stabilité structurale ;
- o Diminution de la diversité et de la productivité ;
- o Dégradation du fonctionnement hydrique (disponibilité en eau du sol et de son efficacité d'utilisation ; érosion de la fertilité (taux de matière organique, taux d'azote, capacité d'échange cationique) ; modification des états de surface du sol (pellicule de battance, ensablement...) :
- o Salinisation d'origine anthropique, résultant d'une irrigation inadaptée entraînant la stérilisation des sols.
- o Changement d'unité d'occupation et d'utilisation des sols.

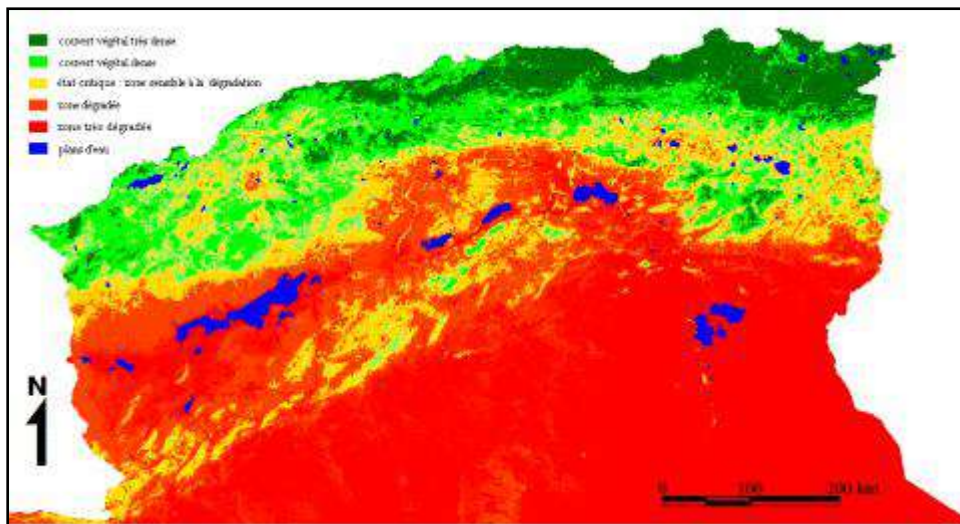
Le constat à faire est que la plus grande part des parcours steppiques se trouve soit dégradée, soit dans un état avancé de dégradation ; Ce processus peut être adapté pour caractériser la disparition progressive des populations animales (domestiques ou sauvages) dans un contexte de désertification.

Conceptuellement, lutter contre la désertification revient à conserver et à gérer de manière durable la biodiversité qui constitue, avec l'eau, l'une des ressources majeures garante de la survie et du bien-être humain. Inventorier et évaluer la biodiversité lato sensu est donc une phase essentielle pour le suivi-évaluation des biens et services que les écosystèmes peuvent rendre à l'homme. (Oss, 2009)

8. Carte de sensibilité à la désertification

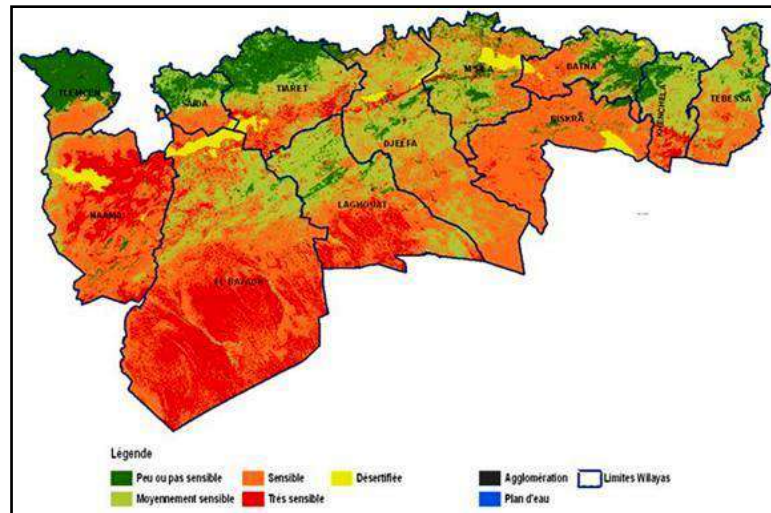
Bien évidemment, d'autres causes de dégradation des parcours steppiques existent. Cependant, pour se limiter qu'aux facteurs les plus redoutables, les résultats obtenus pour la région steppique nous permettent de conclure que les sols dont l'état est considéré comme « très dégradé » représentent 9,5% de la superficie des parcours steppiques, soit une superficie de 945 000 ha (Asal, 2010).

En 2010 l'agence spatiale algérienne (ASAL) et le ministère de l'agriculture et du développement rural, ont élaboré la carte de sensibilité à la désertification (Figure n° 20), dans l'Algérie steppique, s'étalant sur 27 millions 435 mille hectares a concerné les douze (12) wilayas steppiques suivantes : Naama, Tlemcen, El Bayadh, Saida, Tiaret, Laghouat, Djelfa, M'sila, Batna, Biskra, Khenchela, Tébessa.



Source Ben Slimane et al., 2008

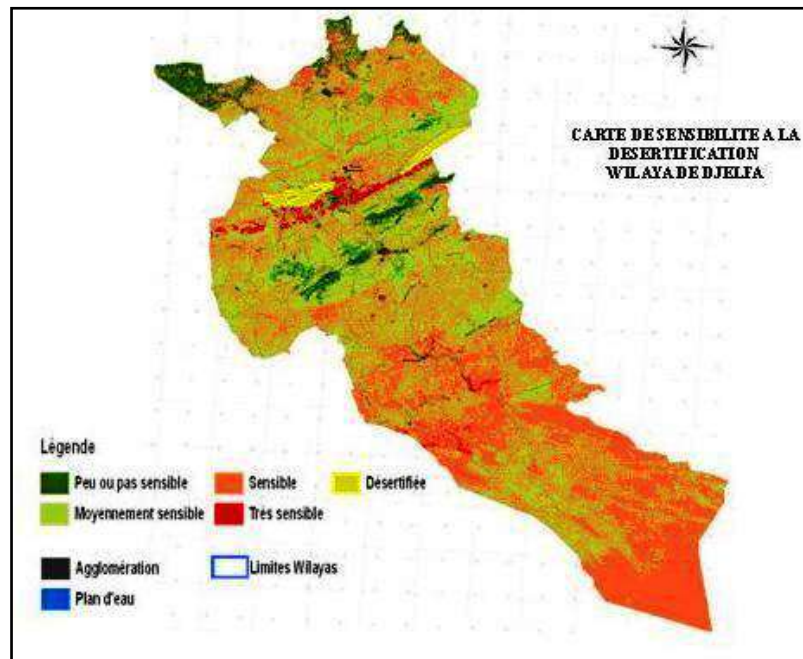
Figure 11: Carte synthèse de sensibilité à la désertification (2000-2005)



(Source Asal, 2010)

Figure 12: Carte nationale de sensibilité à la désertification au 1/200.000

L'étude s'est concrétisée par une cartographie au 1/200.000^{ème} sur l'ensemble des 12 wilayas steppiques (27 millions 435 mille hectares), selon le niveau de sensibilité à la désertification (Figure n°21), et en s'appuyant sur l'imagerie satellitaire et les systèmes d'information géographiques ; Elle constitue un outil d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'un plan d'action de lutte contre la désertification pour le programme quinquennal 2010 – 2014.



(Source Asal, 2010)

Figure 13: Carte de sensibilité à la désertification de la Wilaya de Djelfa
Au 1/100.000

Cette étude a permis de classer la wilaya de Djelfa comme très sensible sur la carte de sensibilité à la désertification (Figure n° 22). Les paysages forestiers et à matorrals sont classés comme moyennement sensibles tandis que les paysages steppiques, le cordon dunaire et le chott sont classés comme désertifiés.

9. Généralités sur le SIG (Système d'Information Géographique)

Selon la Société française de photogrammétrie et de la télédétection en 1989: « Un SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. » ; il est aussi défini comme système informatisé qui facilite la collecte, la maintenance, le stockage, l'analyse, la production et la distribution de données et d'informations spatiales ; Alors que (2018) a indiqué que, la notion de système d'information géographique (SIG) comprend le logiciel, le support matériel informatique, les données et même l'homme, concepteur ou utilisateur des données.

Les SIG ne traitent pas seulement les données géographiques. Ils sont en mesure de traiter toute donnée, dès lors qu'elle possède une extension spatiale ; L'organisation et la structuration des données font la différence fondamentale entre un logiciel quelconque et un SIG.

Les SIG sont des outils d'aide à la décision, car il permet les analyses et les synthèses pouvant être utilisées pour la prise de décision ; Un SIG nous aide à analyser ces relations et interactions spatiales. Il particulièrement utile pour afficher des données spatiales et pour communiquer les résultats de l'analyse spatiale. Dans de nombreux cas, les SIG constituent le seul moyen de résoudre des problèmes liés à l'espace (Bolstad, 2016).

L'information combinée des données géométriques et thématiques, dont chaque thème est représenté par une couche, qui rassemble un ensemble d'objets homogènes (parcelles, routes, population), associant la représentation cartographique des objets spatiaux et la table d'informations statistiques. Cela permet d'établir des cartes de synthèse ; Le SIG facilite l'intégration de diverses données hétérogènes (Joliveau, 1993).

Les différents modes d'un SIG : Au niveau le plus simple, un SIG est un environnement qui fournit des informations sur les objets spatiaux. Sa principale fonction est d'offrir à l'utilisateur une interface graphique, permettant la localisation des objets à décrire leurs données attributaires on peut distinguer deux modes :

Deux types de structure de base utilisés : Les types rasters, qui est représenté par des images à grilles consistent en un tableau régulier de nombres numériques représentant des éléments d'image n ou des pixels de dimensions x et y égales ;

- **Mode Vecteur**

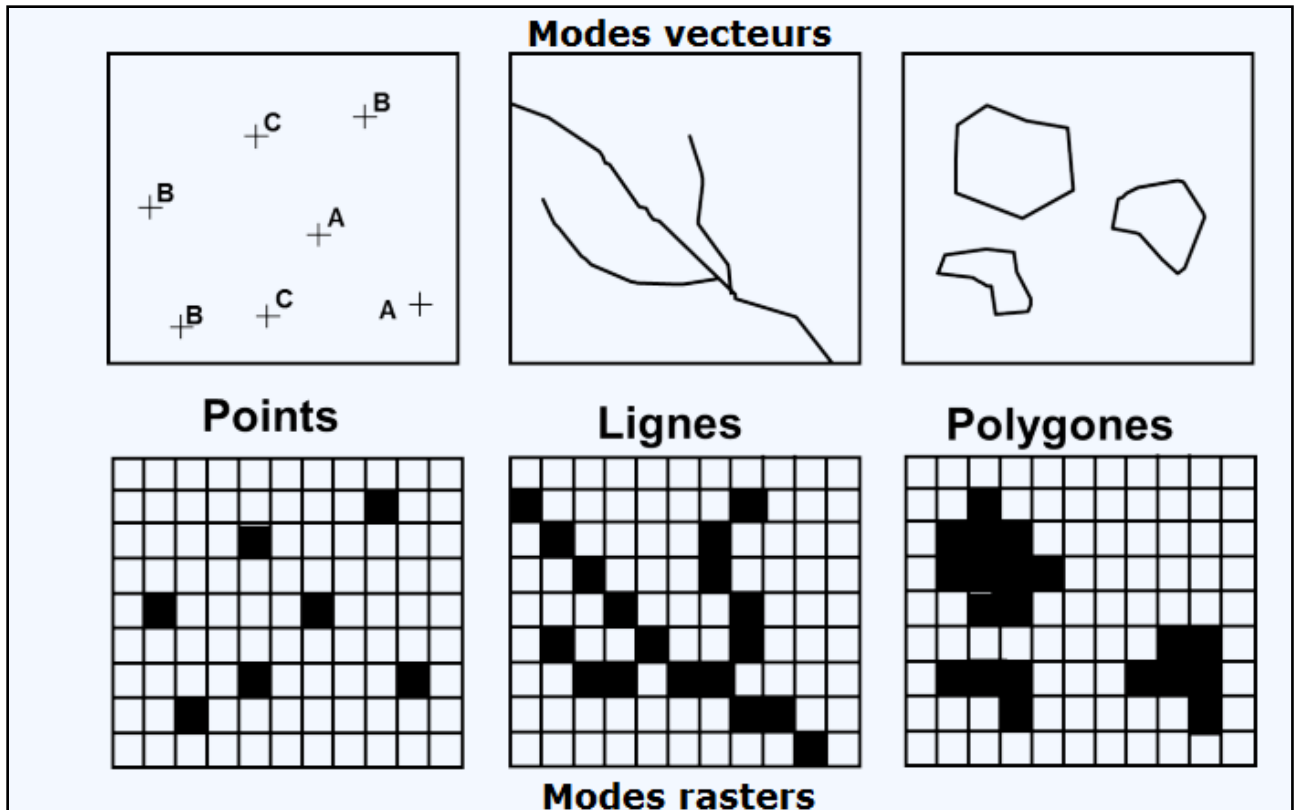
Le mode vectoriel (Figure n°23) correspond à une vue discrète du monde, constitué d'entités distinctes, contrairement au mode **raster** qui correspond à un modèle continu. Dans le mode vecteur les entités (parcelles, communes, tronçons de route) du monde réel sont traduites au moyen de formes géométriques exprimant leur contour ; La création et l'édition de données vecteur est une fonction importante d'un SIG, car il est l'un des principaux moyens par lesquels vous pouvez créer des données personnelles pour les choses qui vous intéressent.

Ce mode répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible les unités spatiales d'observation sont elles même des objets spatiaux (points, ligne et zone). Ces derniers sont décrits par leur position, leurs relations avec d'autres objets et leurs attributs (caractères non spatiaux). Séparément des informations sur ses attributs décrivant ce que représente l'entité, stockées dans un fichier de base de données.

Ce mode donne une représentation plus conforme au monde réel la localisation des objets, leurs dimensions, et les distances sont calculées avec précision.

- **Mode Raster :**

Dans sa forme la plus simple, un raster se compose d'une grille, ou d'une matrice de cellules (ou pixels) organisées en lignes et en colonnes dans laquelle chaque cellule contient une valeur représentant des informations, Ce mode est simple, car les données sont stockées sous forme de tableaux et sont de ce fait facile à manipuler par un ordinateur. Certaines données (images satellitaires) se présentent directement sous cette forme et leur acquisition est immédiate, de même les croisements des données sont faciles à réaliser, puisque toutes les grandeurs sont ramenées à la même unité de base : la cellule (ou pixel). Sous forme de raster, les entités ponctuelles, linéaires et surfaciques sont représentées sous forme de pixels individuels ou de groupes de données vectorielles ou discrètes stockant la forme géométrique et l'emplacement d'une entité particulière.



<https://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire.html>, 2013 - UVED

Figure 14: Structures de données du SIG

Pour représenter les caractéristiques ou les objets, il existe Plusieurs types d'architecture de logicielles SIG et de différents types d'analyses, conçus de manière à être plus efficaces avec l'un ou l'autre type, tels que Idrisi or ERDAS Imagine (raster), ENVI (Environment for Visualizing Images) et MapInfo ou ArcGIS. (Heywood et *al.*, 2006) ;

Un SIG contient généralement plusieurs sortes d'objets géographiques qui sont organisés en thèmes que l'on affiche souvent sous forme de couches. Chaque couche contient des objets de même type (routes, bâtiments, cours d'eau, limites de communes, entreprises...). Chaque objet est constitué d'une forme (géométrie de l'objet) et d'une description, appelé aussi sémantique.

Le SIG permet de croiser l'information contenue dans la base de données des différentes façons :

La superposition de différentes couches d'information : permet de mettre en relation des information issues de sources variées et a priorité incompatibles (recensement, télédétection, relevés etc.) et de nature différent (réseau routier, parcellaire, bâti etc.) l'intersection, l'inclusion, l'union, permet de délimiter des ensembles spatiaux correspondant à critères, ces opérations donnent lieu à la création de nouvelles information géométrique.

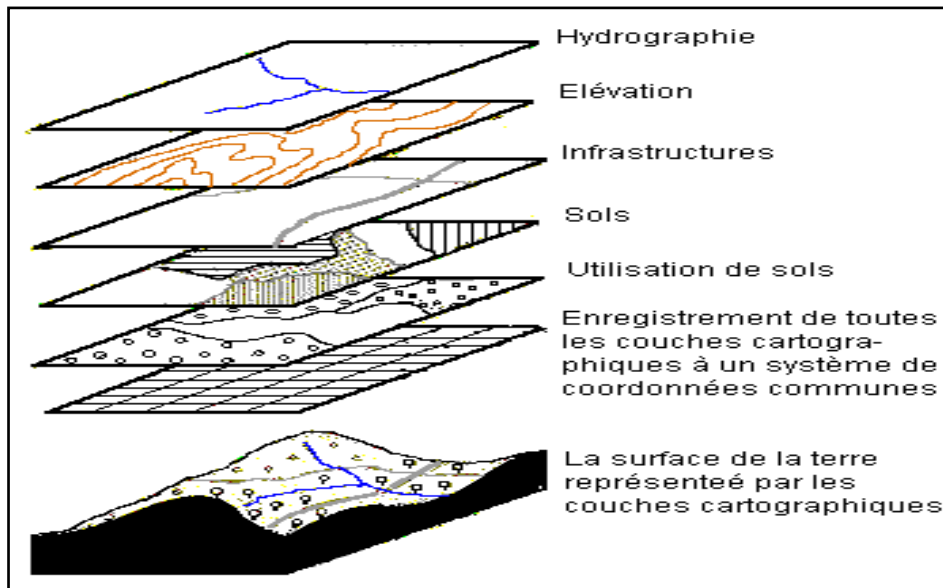


Figure 15: Utilisation et superposition des couches d'information par les SIG

Nous sommes préoccupés par la conservation et une gestion rationnelle de nos ressources face à une, surexploitation des ressources naturelle, causant des différents phénomènes de dégradation citant entre autre : le surpâturage des parcours steppiques, la déforestation, la désertification, et des phénomènes liées aux changements climatiques ; Une gestion informée nécessite au minimum une connaissance de tous les facteurs connexes et, peut-être surtout, de la disposition spatiale de ces facteurs.

10. Généralités sur la télédétection

Dans le cadre de la lutte contre la désertification (LCD), la télédétection facilite le suivi et la surveillance à long terme des zones à risques, la définition des facteurs de désertification, l'aide à la prise de mesures adéquates de gestion environnementale par les décideurs et l'évaluation de l'impact de ces mesures (Guillet, 1991).

La télédétection est un outil qui permet de distinguer les classes d'occupation du sol à partir du rayonnement reçu par le capteur, en vue de leur cartographie, et mesure certaines caractéristiques d'entités vivantes ou non, afin de déduire les comportements spectraux face aux fluctuations de leurs facteurs environnants, et déterminer la direction et le taux d'évolution des phénomènes.

La télédétection est définie par la commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale après l'adaptation de 2016 comme : « l'ensemble des appareils et des techniques produisant des images satellitaires ou aériennes permettant d'obtenir de l'information sur la surface terrestre dont l'atmosphère et les océans sans contact direct avec

elle, Les applications de la télédétection sont variées : météorologie, environnement, urbanisme, etc. ». (Escadafal et *al.* 2016).

10.1. Principe de télédétection

Le principe de cette technologie comprend sept étapes aboutissant à Data utiles :

- L'énergie est transmise sous forme de rayonnement électromagnétique d'une source naturelle ou induite à travers l'atmosphère à diverses surfaces de la Terre ;
- Les objets interagissent, avec la cible selon leur nature en l'absorbant, en la réfléchissant ou en la laissant passer à un autre niveau inférieur ;
- Le capteur reçoit des signaux spectraux sous forme de distorsion dans des longueurs différents
- Le signal spectral reçu est converti en format numérique au niveau du satellite ou l'avion, celles-ci vont être retransmettent comme impulsions radiométriques à une station réceptrice ;
- La station collecte, analyse et interprète les informations des satellites d'observation et de navigation GPS ;
- Ces données sont ensuite redirigées vers différents utilisateurs, en vue d'enrichissements des sources d'information et d'analyse de différents phénomènes environnementales.

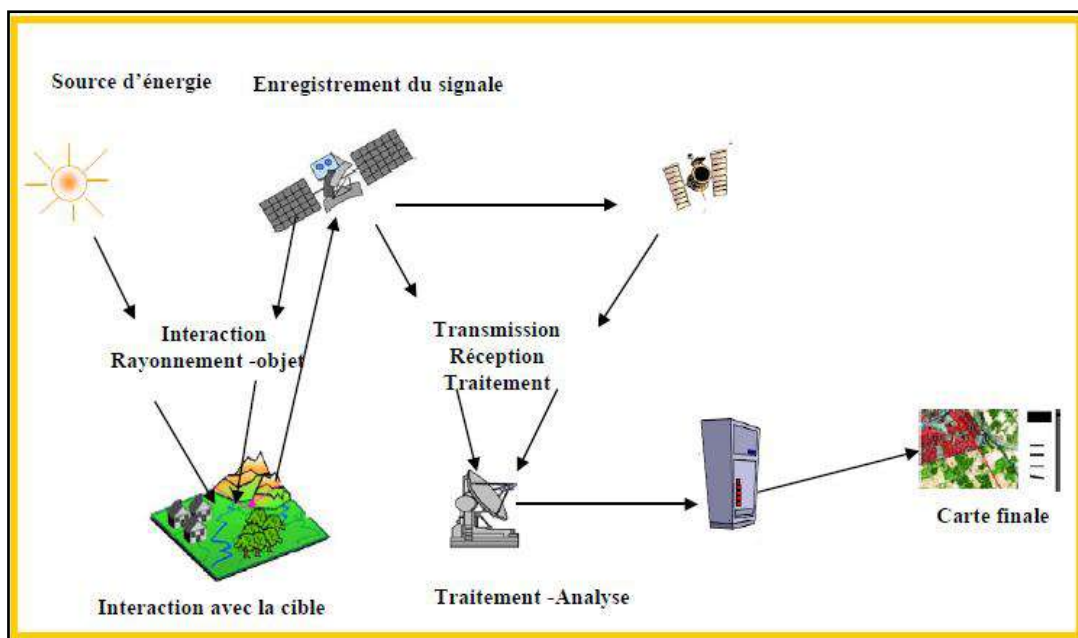


Figure 16: Principe de télédétection (Chuvico, 1990)

10.1.1. Rayonnement électromagnétique

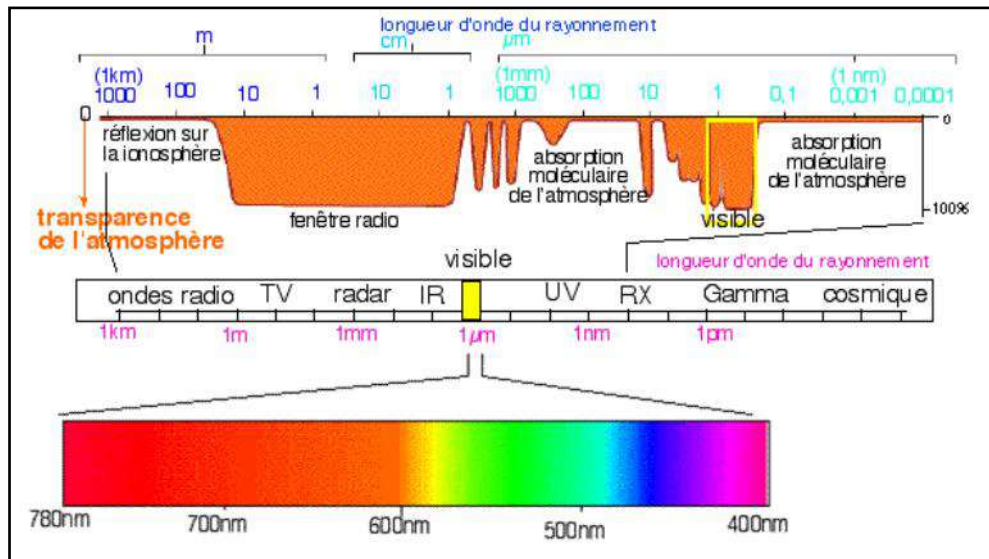
C'est un flux de photons composé de deux vecteurs perpendiculaire, le champ électrique et un autre magnétique, dont l'onde électromagnétique résulté caractérise par une longueur et une fréquence (Soudani, 2006).

10.1.2 Spectre électromagnétique

C'est la répartition des ondes dans des plages selon leurs longueurs ; les intervalles les fréquemment utilisé en télédétection selon USGS (U. S. Geological Survey) sont :

Tableau 8: Les spectres électromagnétiques les plus utilisés en télédétection

Intervalle	Bandes	Longueur d'onde	Utilisation
Visible	Bleu	(0,45-0,52µm)	- Cartographier l'eau près des côtes ;
			- Différencier le sol et les plantes ;
			- Identifier les objets artificiels tels que les routes et les bâtiments.
	Green	(0,52-0,60µm)	- Différencier les types de plantes ;
			- Déterminer la santé des plantes ;
			- Identifier les objets fabriqués par l'homme.
Red	(0,63-0,69µm)	- Distinguer les différents types de végétation ;	
		- Cartographier les limites des types de sols et les limites des formations géologiques.	
Infra-roug	NIR	(0,76-0,90µm)	- Identifier des cultures et les distinguer aux sols ;
			- Délimiter des plans d'eau.
	SWIR1	(1,55-1,75µm)	- Sensible à la turgescence (la quantité d'eau dans les plantes) utile dans les études de sécheresse ;
			- Distinguer entre les nuages, la neige et la glace.
	MUIR (SUIR2)	(2,08-2,35µm)	- Distinguer les types de formations rocheuses.
	LUIR	(10,4-12,5µm)	- Mesure la chaleur émise par les surfaces et localiser l'activité géothermique ;
- Classer la végétation ;			
- Analyser le stress de la végétation et à mesurer l'humidité du sol.			



Source : www.sura.org.

Figure 17: Spectre électromagnétique et transparence de l'atmosphère

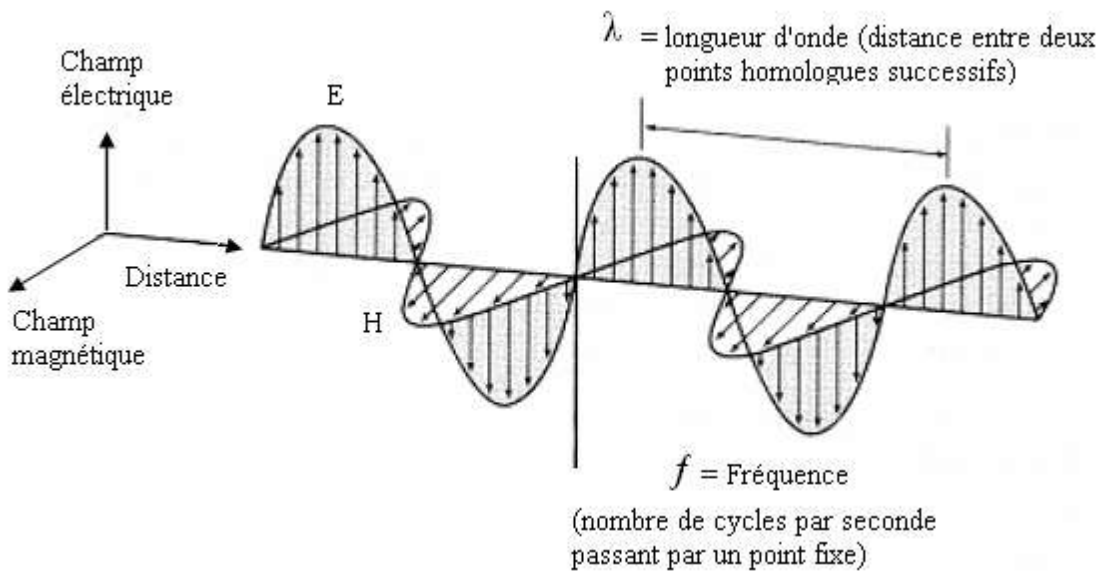
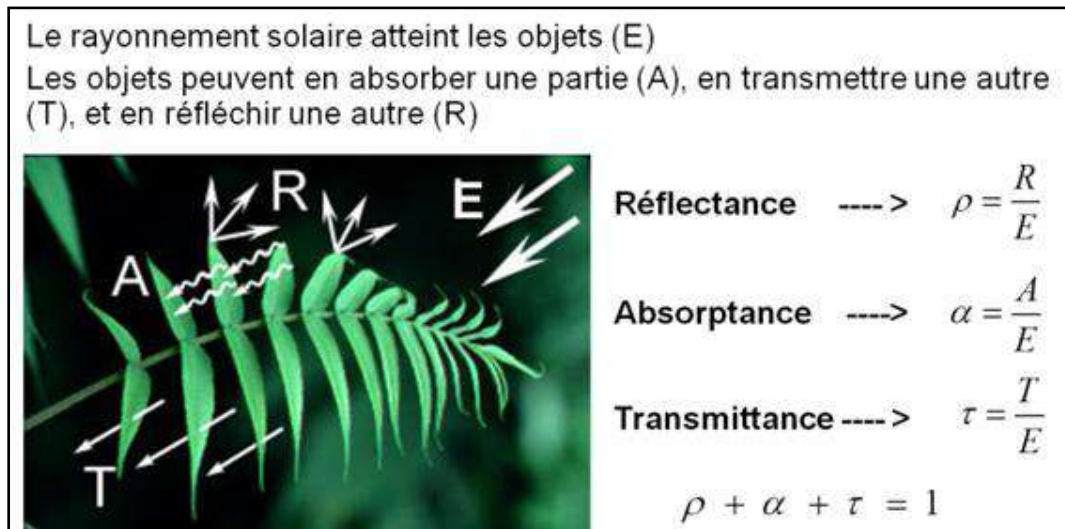


Figure 27: Représentation schématique d'une onde électromagnétique (Bonn et Rochon, 1992).

Les rayons électromagnétiques comportent à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale (Figure27)

10.2. Interactions rayonnement EM –matière

Dans le domaine optique les capteurs de télédétection, terrestres ou spatiaux, mesurent le rayonnement électromagnétique émis par le soleil et ayant interagi avec une cible ; l'énergie incidente soit réfléchi, soit transmis, ou bien absorbé.



Source: CCT.

Figure 28: Interaction rayonnement matière

La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchi et l'énergie incidente et noté R ; le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie incidente est appelé transmittance et noté T ; alors que le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie incidente est appelé absorptance et noté A (Jacquemoud ; 2006).

10.3. Signatures spectrales

La signature spectrale est la réponse radiométrique des objets dans une succession de longueurs d'ondes (Deshayes & Morel, 1990).

Les couvertures naturelles sont bien distinctes les unes des autres par la réflectance "signature" représenté par la longueur d'onde émise ou réfléchi (Soudani, 2006).

Au sein d'une même catégorie d'entité, le comportement spectral traduit par une variation quantitative en signature spectral dépend de la façon dont un individu réagit aux stress de son environnement, et aussi à son propre état ; Chez les conifères, la réflectivité des aiguilles diminue avec l'âge, et c'est attribué à la densification de la structure interne de ces aiguilles (Guyot et *al.*, 1989).

10.3.1. Propriétés optiques des surfaces

Les travaux de Guyot (1989), Guyot & *al.* (1989) et Breda & *al.* (2003) sur les propriétés optiques des surfaces végétatives, découvertes et aquatiques nous permet de citer les facteurs affectants chacune d'elles comme suit :

10.3.2. Végétation chlorophyllienne

Les propriétés optiques des feuilles foliaires influencé par :

- Domaine visible : les pigments du limbe absorbent fortement la lumière bleue et rouge, et reflètent au maximum le vert ;
- Proche infrarouge NIR : faible absorption, diminue avec la condensation de la structure interne ;
- Courte infrarouge SWIR : forte absorption, augmente en fonction de teneur en eau.

10.3.3. Sol découverte

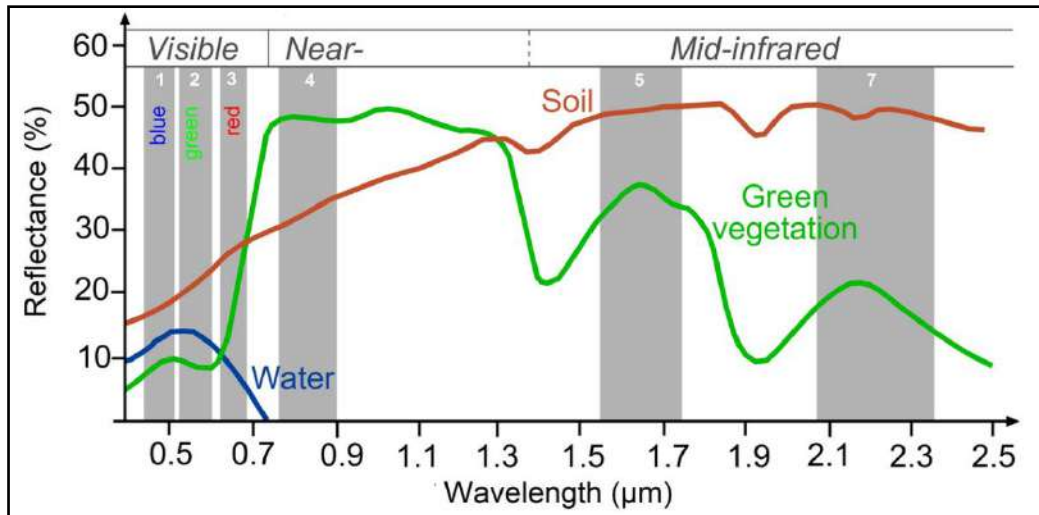
La réflectance du sol nu augmente du visible au moyenne infrarouge, les effets les plus notables apparaissent autour des bandes d'absorption d'eau, les propriétés optiques des sols s'affectent par :

- Teneur en eau ;
- Composition minérale ;
- Taux de matière organique ;
- Structure (rugosité de surface) ;

10.3.4. Surface d'eau

L'eau absorbe principalement les grandes longueurs d'onde, tandis que la réflexion maximale correspond le bleu, il est similaire à un corps noir en termes d'absorption d'une grande partie des rayons infrarouges proches et moyens qu'elle reçoit, selon Soudani (1999) le comportement spectral de l'eau est lié à :

- Contamination de la surface de l'eau par divers sédiments ;
- Une abondance d'algues, ce qui augmente la réflexion de l'eau en vert ;



<https://seos-project.eu/classification.html>

Figure 29 : La signature spectrale de l'eau du sol et de la végétation dans les canaux du TM

Les senseurs des satellites reçoivent des signaux dans différentes longueurs d'ondes. Ces gammes spectrales sont appelées canaux. La figure ci-dessus (Figure 28) montre les canaux du satellite NASA Landsat TM. Avec sept canaux, le satellite possède une haute résolution spectrale.

10.4. Source d'informations satellitaires

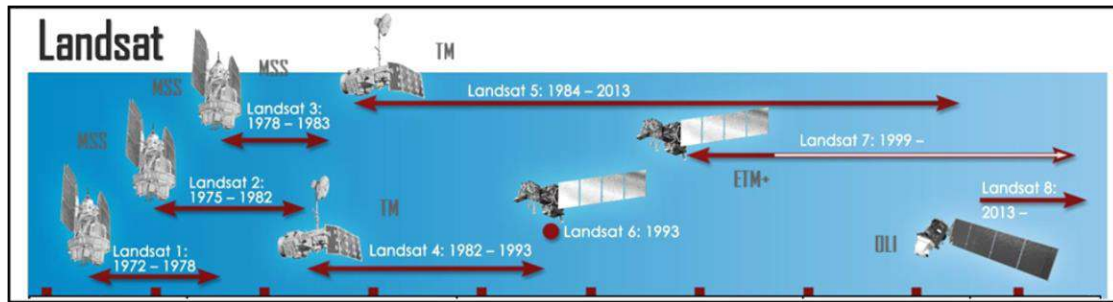
10.4.1. Satellites Landsat

Le programme Landsat est le premier programme spatial d'observation de la Terre à usage civil. Il fournit des images satellitaires depuis 1972 jusqu'à ce jour (Figure 29), il a été développé par l'agence spatiale américaine, la NASA à l'instigation de l'USGS et du Département of Agriculture au milieu des années 60 (Mack, 1998) ;

Tableau 9: Caractéristiques des satellites

Caractéristiques	Landsat 5	Landsat 7 ETM +	Landsat 8
Début et fin de mission	Landsat 5 : 1 mars 1984-2012	Landsat 7 : 1999- ce jour	2013- ce jour
Statut satellite	Mission terminée	Opérationnel	Opérationnel
Masse	1 961 kg	2 300 kg	2 600 kg
Instruments	TM : radiomètre	ETM : radiomètre	OLI et TIRS : radiomètre
Bandes spectrales	B1 : Bleu : 0,45-0,52 μm	B1 : Bleu : 0,45-0,52 μm	B1 : Coastal aerosol : 0,43-0,45 μm
	B2 : Green : 0,52-0,60 μm	B2 : Green : 0,52-0,60 μm	B2 : Bleu : 0,45-0,515 μm
	B3 : Red : 0,63-0,69 μm	B3 : Red : 0,63-0,69 μm	B3 : Green : 0,525-0,6 μm
	B4 : NIR : 0,76-0,9 μm	B4 : NIR : 0,76-0,9 μm	B4 : Red : 0,63-0,68 μm
	B5 : SWIR1 : 1,55-1,75 μm	B5 : SWIR1 : 1,55-1,75 μm	B5 : NIR : 0,845-0,885 μm
	B6 : SWIR2 : 2,08-2,35 μm	B7 : SWIR : 2,09 - 2,35 μm	B6 : SWIR1 : 1,56-1,66 μm
			B7 : SWIR2 : 2,1-2,3 μm
Panchromatique		B8 : 0,5-0,90 μm	B8 : 0,5-0,68 μm
Cirrus			B9 : 10.6 - 11.19 μm
Infrarouge thermique	B7 : LWIR : 10,4-12,5 μm	B6 : : LWIR : 10,4-12,5 μm	B10 (TIRS) 1 : 10,3-11,3 μm
			B11 (TIRS) 2 : 11,5-12,5 μm
Résolution	Générale : 30 m	Générale : 30 m	Générale : 30 m
	Infrarouge thermique : 120 m	Panchromatique : 15 m	Panchromatique : 15 m
		Infrarouge thermique : 60 * (30)	Infrarouge thermique : 100 m
Technique de prise d'image	Whisk broom	Whisk broom	Push broom
Orbite	Altitude : 705 km	Altitude : 705 km	Altitude : 705 km
	Cycle : 16 jours	Cycle : 16 jours	Cycle : 16 jours
	Heure : 9 h 30-10 h	Heure : 9 h 30-10 h	Heure : 10 h

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>



(Source: www.landsat.com).

Figure 30: Dates et périodes de lancement des séries Landsat

○ **Landsat à Scanneur multispectrales (Landsat Multi-Spectral Scanner)**

Le Landsat MSS a participé aux cinq premières missions Landsat, fournissant des données continues et comparables sur une période d'environ 20 ans, de 1972 à 1993.

Résolution spatiale : 57 m

Bandes spectrales : Bande 1 : (vert visuel, 0,50-0,60 μm)

Bande 2 : (rouge visuel, 0,60-0,70 μm)

Bande 3 : (proche IR, 0,70-0,80 μm)

Bande 4 : (proche IR, 0,80-1,10 μm)

Cartographe thématique Landsat :

○ **Landsat cartographe thématique (Landsat Thematic Mapper)**

Les missions Landsat TM ont commencé en 1982 avec Landsat-4 fournissant des données continues et se sont poursuivies jusqu'à 2013 (sous Landsat-5) ; Et se sont poursuivies jusqu'à présent avec la mission Landsat-8 et dernièrement Landsat-9.

Résolution spatiale : 30 m

Bandes spectrales : Bande 1 : (bleu visuel, 0,45-0,52 μm)

Bande 2 : (vert, 0,52-0,60 μm)

Bande 3 : (rouge, 0,63-0,69 μm)

Bande 4 : (proche IR, 0,76-0,90 μm)

Bande 5 : (IR moyen, 1,55-1,74 μm)

Bande 6 : (IR thermique 10,40-12,50 μm)

Bande 7 : (IR moyen, 2,08-2,35 μm)

○ **Landsat Plus à cartographie thématique améliorée (Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus)**

Les capteurs Landsat ETM+ enregistrent les données en utilisant les mêmes sept bandes que les capteurs TM. Une caractéristique avancée de ce capteur amélioré est l'ajout d'une bande panchromatique avec des résolutions spatiales de 15 m et une bande passante de 0,52 à 0,90 μm .

○ **Capteur multispectrales appelé « Operational Land Imager (OLI) »**

Le satellite Landsat-8/LDCM (Landsat Data Continuity Mission), qui a été lancé le 11 février 2013 est entièrement différent de la génération précédente, il est équipé d'un capteur multispectrales appelé Operational Land Imager (OLI) et d'un capteur infrarouge thermique. OLI (Operational Land Imager) est l'instrument principal. Ce radiomètre multispectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge.

OLI fournit deux nouvelles bandes spectrales par rapport à l'instrument Landsat-7 ETM+, l'une spécialement conçue pour la détection des cirrus (bande 9, nouvelle bande proche infrarouge (NIR)) et l'autre pour les observations de la zone côtière (bande 1, nouvelle bande canal visible bleu). Il mesure dans les parties visible, NIR et infrarouge à ondes courtes (SWIR) du spectre électromagnétique et offre une résolution spatiale panchromatique de 15 m et multispectrale de 30 m (VIS/NIR/SWIR). La taille de la scène est de 185x180 km.

10.5. Les caractéristiques fondamentales des images satellitaires

Selon Pragati & Sudha (2012) La télédétection est l'art et la science d'effectuer des mesures sur un objet ou l'environnement sans être en contact physique avec lui ;

La plupart des images satellites que nous voyons ont des couleurs très différentes de celles que nous avons l'habitude de voir de nos propres yeux. Les satellites acquièrent des images en noir et blanc. Les ordinateurs permettent d'attribuer des "fausses couleurs" à ces images en noir et blanc. Les trois couleurs primaires de la lumière sont le rouge, le vert et le bleu. Les écrans d'ordinateur peuvent afficher une image dans trois bandes différentes à la fois, en utilisant une couleur primaire différente pour chaque bande.

Une image satellitaire se caractérise par :

- la résolution spectrale :

La résolution spectrale est l'aptitude du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes.

- La résolution spatiale

La résolution des images numériques est définie par le nombre de pixels par millimètres. En télédétection, on exprime la résolution des images par la taille de la zone couverte par un pixel. Chaque pixel de l'image correspond à une partie de la surface de la Terre. On parle alors de "résolution-sol".

- La résolution radiométrique

Les caractéristiques radiométriques décrivent l'information contenue dans une image. Chaque fois qu'une image est captée par une pellicule ou un capteur, sa sensibilité à l'intensité de l'énergie électromagnétique détermine la résolution radiométrique

- La résolution temporelle

L'un des grands avantages de la télédétection satellitaire est sa capacité à amasser périodiquement de l'information d'une même région de la Terre

10.5.1. Indices radiométriques de végétation

La variation de la réponse spectrale mesurée au capteur satellite est un indicateur de changement d'environnement. Si l'on considère le sol et la végétation, de légers changements de couleur et de minéralogie dans la première, et les variations de structure et de répartition spatiale dans la seconde, peuvent constituer des indicateurs de changements et de dégradations dans les milieux naturels.

Les indices de végétation sont conçus pour maximiser la sensibilité aux caractéristiques de la végétation tout en minimisant les facteurs de confusion tels que la réflectance de fond du sol, les effets directionnels ou atmosphériques.

Les indices de végétation les plus couramment utilisés utilisent les informations contenues dans les réflectances ou radiances de la canopée rouge et proche infrarouge (NIR). Ils sont combinés sous forme de ratios : ratio indice de végétation (RVI) ou indice de végétation par différence normalisée (NDVI).

Ces indices radiométriques sont des mesures du bilan entre l'énergie reçue et l'énergie émise par les végétaux, dont les formules utilisent des comptes numériques résultant de la conversion des degrés de luminances reçus par le capteur en des chiffres allant de 0 à 255 (pixel en 8 bits). Les comptes numériques sont classés en canaux bruts qu'on peut les utiliser isolément ou en combinaison déterminé par notre cible. (USGS, 2021)

Tableau 10. Le tableau ci-dessous résume quelques-uns des indices de végétation les plus couramment utilisés

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)

Source : <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/indices/>.

10. 5.2. Normalized difference vegetation index (NDVI)

La végétation réfléchit la lumière dans la partie proche infrarouge (NIR) du spectre électromagnétique et absorbe la lumière dans la partie rouge. Le NDVI l'utilise pour créer une valeur unique qui reflète approximativement l'activité photosynthétique qui se produit au niveau du pixel. sa formule selon Rouse et al. (1973) est :

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

- NIR : proche infrarouge prend la bande 4 en TM et bande 5 en OLI ;
- RED : représente la bande 3 en TM et la bande 4 en OLI;

Il en résulte un nombre compris entre 1 et -1, où les pixels avec une activité lumineuse élevée ont un indice NDVI élevé ; cela correspond à la jeunesse de la biomasse et une quantité optimale de chlorophylle, où la réflectance en proche infrarouge (NIR) est maximale, et faible en rouge, et vice versa, à la fin du cycle végétatif où malgré l'augmentation de la biomasse, les pigments foncés ont tendance à absorber plus de NIR.

(Bonn et Rochon, 1992).

10.5.3. Enhanced Vegetation Index (EVI)

L'indice de végétation amélioré (EVI) est développé pour optimiser le signal de végétation avec une sensibilité améliorée dans les régions à forte biomasse ; il ne devient pas aussi saturé que le NDVI en cas de régions de végétation très denses.

Selon Matsushita et *al.*, (2007) Il est analogue à l'indice NDVI à ceci près qu'il est moins sensible au bruit de fond et au bruit atmosphérique ;

EVI intègre une valeur « L » pour ajuster le fond de la canopée, des valeurs « C » comme coefficients de résistance atmosphérique et des valeurs de la bande bleue (B). Ces améliorations permettent de calculer l'indice sous forme de rapport entre les valeurs R et NIR, tout en réduisant le bruit de fond, le bruit atmosphérique et la saturation dans la plupart des cas. Sa formule selon Huete et *al.* (1999) est :

$$EVI = G * \frac{(NIR - R)}{(NIR + C_1 * R - C_2 * B + L)}$$

- L : facteur d'ajustement des sols; L = 1;
- C₁ et C₂ : coefficients de correction de la diffusion atmosphérique ;
- G : facteur de gain ; G = 2,5.

Où (B) Blue est la réflectance de surface au niveau de la bande bleue

10.5.4. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

L'indice de végétation ajusté au sol et modifié (SAVI) est un indice qui tente de minimiser les influences de la luminosité du sol à l'aide d'un facteur de correction de luminosité du sol. L'indice est souvent utilisé dans les régions arides où le couvert végétal est faible et les valeurs en sortie sont comprises entre -1 et 1. Huete and Jackson (1988)

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L)$$

L : facteur d'ajustement des sols.

11. Complémentarité entre le SIG à la télédétection

Cette complémentarité est abordée de plus en plus dans le monde de la télédétection ; Le SIG s'avère utile soit du fait des données contenues dans sa base, soit grâce à des fonctionnalités spécifiques absentes des logiciels de traitement d'image.

Le SIG est capable de gérer des données physiques (relief, pédologie, climat, etc.), thématiques, cartographiques, socio-économiques (enquêtes) et administratives (limites

communales...) qui peuvent faciliter énormément l'interprétation des images satellites, soit en apportant une information déjà existante (ce n'est alors plus la peine d'essayer de l'extraire de l'image), soit en apportant de nouvelles clés d'interprétation. A titre d'exemple, des éléments du relief (pente, exposition, altitude) peuvent servir à identifier des espèces forestières a priori pourtant indissociables au niveau de leur radiométrie.

Le SIG contribue à une meilleure valorisation de la télédétection, d'une part en intégrant dans des bases de données plus large et ainsi multiplier les applications, d'autre part en augmentant la précision des informations tirées des images et par ce fait, lever un obstacle à leur utilisation (Bazilie. & *al.*, 2001).

Depuis le début des années 90, il existe un réel consensus sur le fait que la télédétection représente une source d'information géographique pour les SIG. Par son apport en données supplémentaires d'un autre type et par d'autres atouts spécifiques ; Elle constitue une source directe de nouvelles informations ou de mise à jour, d'informations déjà existantes dans un SIG.

Selon Bazile & *al.*, (2001) L'image peut être utilisée pour ses qualités intrinsèques, à savoir la continuité. Le fait de couvrir de grandes zones de manière continue prédispose l'image à des usages de produit en fonds de plan dans les SIG. L'image donne ainsi le contexte géographique dans lequel s'insèrent les données vectorielles de base ; Elle permet d'obtenir des inventaires de ressources, des plans d'occupation du sol, ce qui lui aussi déboucher sur des documents plus élaborés utiles dans un contexte de gestion et de suivi de la ressource. Tels que : étude du dynamique écosystème et des paysages, en vue de suivre l'évolution de différentes phénomène environnementale, Par leur côté esthétique et leur "réalisme", les images peuvent enfin renforcer le pouvoir de communication de ceux qui les intègrent dans leur SIG car elles apportent, plus encore que les autres outils de représentation cartographique, une base visuelle "objective" de dialogue entre partenaires.

11.1. Apport du SIG et de la télédétection dans le domaine de lutte contre la désertification

- Ils permettant aux utilisateurs de mesurer, modéliser et suivre l'évolution de l'environnement à différentes échelles spatio-temporelles ;
- Ils fournissent un appui technique et scientifique, en facilitant au mieux de comprendre les mécanismes impliqués dans ce phénomène ;
- La couverture la plus importante de l'imagerie satellitaire, que soit dans le domaine spectrale ou spatiale, permette de bien suivre et d'analyser des zones de grandes étendues,
- Suivi et prévisions météorologiques et climatiques
- L'exploitation des archives des imageries satellitaires, via des logiciels gratuits et des images satellitaires fournies gratuitement par les agences spatiales européenne et américaine. (Ex : LANDSAT, ASTER, MODIS, Sentinelle ect...), pour réaliser des cartes de référence

Incluant l'historique de la dégradation de différents écosystèmes étudiés ;

- Un support indispensable dans l'aménagement agro-sylvo--pastorale, des zones dégradées.
- Apporter une aide précieuse dans le domaine de la gestion des problématiques environnementales, ce qui permettra ainsi de suivre l'évolution de l'occupation des sols, de prévoir l'état de différents écosystèmes ;
- Ils apportent une aide à la gestion de crises et des catastrophes naturelles ou industrielles ;

Nous estimons en conclusion que Les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection sont intégrés dans plusieurs domaines : Environnementales, Foresterie, géographie, ect... et utilisés par des planificateurs, écologues, climatologues, ...etc., comme instrument facilitant toute une gamme d'analyses spatiales faisant intervenir un volume croissant de données, ceci constitue probablement la raison importante que posent les SIG et la télédétection.

A l'état actuel, il y a peu de secteurs qui ne soient pas de près ou de loin concernés, qu'il s'agisse de la pédologie, de la connaissance de l'occupation des sols (inventaires et répartitions des cultures), de l'évaluation de la biomasse, ou encore de la détermination des bilans hydriques, de la définition des territoires bioclimatiques, l'agro météorologie (Bonn & Rochon 1992).

Chapitre III : Matériels et méthodes

12. Echantillonnage :

L'échantillonnage consiste en général à choisir dans un ensemble un nombre limité d'éléments de façon à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable sur l'ensemble (Gounot, 1969 ; 1971).

En vue de suivre la dynamique de différents groupements végétaux représentés, à notre échelle de perception, par les différentes formations végétales (Alexandre, 2008), à travers une étude de la dynamique de différentes unités de l'occupation de sols, nous avons adopté un échantillonnage mixte (stratifié, subjectif) en se basant sur des travaux antérieurs faits par plusieurs auteurs, sur notre zone d'étude (Le Houerou et *al.*, 1977 ; Pouget, 1977 ; Djebaili, 1984 ; Taibaoui et *al.*, 2020)

L'échantillonnage stratifié consiste à découper l'espace à échantillonner en strates homogènes vis-à-vis de quelques paramètres considérés, à priori, comme constituant des facteurs actifs déterminants de la répartition des plantes. Une strate homogène vis-à-vis d'un premier critère sera ensuite subdivisée en tenant compte d'un deuxième critère et ainsi de suite (ROSELT- OSS, 2008). A l'intérieur de chaque strate, on a appliqué l'échantillonnage subjectif qui est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage (Gounot, 1969). L'homogénéité et la représentativité de chaque formation végétale a été prise en considération lors de l'exécution des relevés.

L'ambition de notre étude n'est pas seulement de réaliser une zonation descriptive, basée sur l'étude spatiotemporelle de différentes unités d'occupation de sols, mais de représenter en plus de celui-ci une diagnose phytoécologique travers une correspondance entre la physionomie de la végétation et état écologique du milieu étudié. Ceci a été fait à travers une analyse floristique et écologique des différents groupements végétaux de notre zone d'étude (Long, 1975 ; ROSELT /OSS, 2004 ; 2008 ; Alexandre, 2008 ; OSS, 2009 ; Taibaoui, 2008).

12.1. Relevés floristiques

Zaafouri (1993) a défini l'objectif de l'étude floristique comme l'outil qui permet de cerner les limites de chaque système écologique.

- la réalisation des relevés floristiques, qui correspond à ce que Debouzie et *al.* (1987) appellent « unité d'échantillonnage » qui est définie comme étant un élément de la population au sens statistique. Ceci peut constituer un ensemble d'observations brutes et synthétiques sur le milieu et sur la végétation qui s'y développe, ce qui peut correspondre à plusieurs habitats écologiques : forêt claire, matorral, steppe à alfa et steppe présaharienne qui représentent

l'ensemble de la végétation de notre zone d'étude. (Pouget et *al.*, 1977 ; Djebaili ; 1984 ; Taibaoui et *al.*, 2020)

Les relevés ont été réalisés sur des aires homogènes d'un point de vue écologique (Gounot, 1961-1969 ; Daget & Poissonet, 1971 ; Long, 1974 ; Le Houerou, 1995 ; OSS, 2008 ; Richard et *al.* 2010).

Au cours de différentes sorties sur terrains faites, depuis 2015 jusqu'au 2018, sur notre zone d'étude, plusieurs relevés phytocologiques ont été réalisés (plus de 100 relevés floristiques) en saison optimale de végétation « mois d'Avril et Mai », suivant l'homogénéité physionomique et géomorphologique, et ce pour l'ensemble de la zone d'étude.

12.1.1. L'aire minimale

C'est l'aire dans laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétale est représentée (Gounot, 1961 & 1969). Selon Lemee (1967), il s'agit de la plus petite surface nécessaire pour que la plupart des espèces y soit rencontrées.

Nous avons adopté d'une part une aire minimale de 100 m² préconisée par l'URBT (1978), Djebaili (1978 ; 1984) et Bouazza & Benabadji (2002) pour les formations steppiques algériennes et d'autre part, une aire minimale de 400 m² recommandée pour les groupements forestiers (Guinochet, 1955-1973 ; Gehu & Rivas-Martinez, 1981 ; Ozenda, 1982 ; Djebaili, 1984).

Par ailleurs les types de relevés réalisés sont les relevés phytosociologiques, selon la méthode sigmatiste.

Lors de l'exécution des relevés phytocologiques, nous avons noté les variables qui caractérisent chaque station écologique, et qui sont :

- Les espèces dominantes, deux ou trois espèces dominantes.
- Les coordonnées géographiques
- La géomorphologie, la pente, la topographie et la lithologie.
- Le pourcentage de recouvrement global de la végétation.

Par ailleurs nous avons utilisé l'échelle d'Abondance-Dominance de Braun Blanquet (1932), dont l'abondance est le nombre d'individus relevés pour un taxon donné. La Dominance est une note indiquant la proportion de surface (ou volume) couverte par un taxon (surtout valable pour la végétation). En effet, une espèce peut « dominer » un site par sa couverture alors que son effectif sur ce site est faible. Concrètement, dans les relevés floristiques on utilise souvent l'échelle d'Abondance-Dominance ci-dessous proposée par Braun-Blanquet (1932) :

Coefficient	Signification
+	Très peu abondant ou rare
1	Peu abondant ou recouvrement < 5%
2	Abondant ou recouvrement de 5 à 25%
3	Abondance quelconque et recouvrement 25 à 50%
4	Abondance quelconque et recouvrement 50 à 75%
5	Abondance quelconque et recouvrement > 75%

12.2. Analyse des données

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), utilisée depuis longtemps en phytosociologie et en phytoécologie (Dagnelie, 1965 ; Barbero et *al.*, 1990) a été appliquée. L'AFC permet, grâce à des représentations graphiques, de construire des nuages de points qui traduisent les associations statistiques entre les individus « lignes » et entre les variables « colonnes » (Benzecri, 1973 ; Lagarde, 1995 ; Chessel et *al.*, 2004 ; Bouxin, 2008).

Notre objectif est l'application de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) sur un tableau de 170 espèces et 50 relevés en vue de mettre en évidence des groupements végétaux liés entre eux par leurs ressemblances en fonction du coefficient d'Abondance –Dominance attribué à chaque espèce, selon l'échelle de Braun-Blanquet (1932).

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est préconisée par Roux & Roux (1967) comme complément à l'AFC (Lerman, 1977 ; Meddour, 2011). Elle est faite suivant la méthode de Ward jugée la plus pertinente par plusieurs chercheurs (Vachon et *al.*, 2005 ; Labatte, 2010)

12.3. Evaluation de la biodiversité

La biodiversité a été définie lors du sommet mondial de Rio (1992) comme étant : "variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes." (Article 2 de la Convention sur la diversité biologique). Ainsi, la biodiversité s'évalue suivant trois niveaux de diversité biologique :

- La diversité écologique (ou diversité des écosystèmes). Les écosystèmes sont différents en fonction du support de vie (biotope) façonné par la situation géographique, le paysage, le relief, le climat...
- La diversité spécifique (ou diversité des espèces). Dans un même écosystème, on trouve des espèces vivantes très différentes.

- La diversité génétique (ou diversité des gènes). Le patrimoine génétique aux seins des individus d'une même espèce.

12.3.1. Évaluation quantitative de la biodiversité

L'étude de la composition floristique d'un milieu consiste à étudier sa diversité spécifique qui est un paramètre essentiel et nécessaire, pour la simple raison que la diversité floristique compte parmi les **attributs vitaux d'un éco-complexe (Le floch et Aronson, 1995)**.

12.3.1.1. Richesse spécifique

La première approche consiste à évaluer la structure générale des peuplements à partir des variables. Parmi ces variables la richesse spécifiques (S) moyenne ou totale. La richesse spécifique d'un peuplement est le nombre d'espèces qui le constituent (Barbault, 1993).

La richesse spécifique (S) décroît progressivement avec la latitude, de même qu'en fonction du gradient altitudinal, cela en rapport avec l'accentuation corrélatrice des contraintes climatiques. En revanche (S) s'accroît en principe au cours des successions. A titre d'exemple des stades pionniers aux stades terminaux d'une même série dans la dynamique de végétation (Lacoste et Salanon, 2005)

Pour l'évaluation de la richesse floristique, on peut utiliser l'échelle de Daget et Poissonet (1991) :

- Raréfiée : < 5 espèces ;
- Très pauvre : de 6 à 10 espèces ;
- Pauvre : de 11 à 20 espèces ;
- Moyenne : de 21 à 30 espèces ;
- Assez riche : de 31 à 40 espèces ;
- Riche : de 41 à 60 espèces ;
- Très riches : de 61 à 75 espèces.

12.3.1.2. Indice de diversité spécifique de Shannon « H' »

L'indice de diversité de Shannon - Weaver H' est le plus utilisé. Selon Ramade (1994), la diversité spécifique se calcule en appliquant l'indice de Shannon Weaver (H') au peuplement correspondant. Cet indice est donné par la formule suivante (Dajoz, 2006) :

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i \quad \text{où} \quad p_i = (n_i/N)$$

$$P_i = n_i/N$$

P_i = probabilité de rencontrer l'espèce i dans le groupement.

Pour notre exemple, on peut utiliser le recouvrement relatif de l'espèce au lieu de sa probabilité d'apparition.

n_i = l'effectif de l'espèce i ou le recouvrement relatif de l'espèce i .

N = l'effectif total ou le recouvrement relatif total des individus.

L'indice de diversité spécifique H' varie entre 0,5 et 4.5. Il est d'autant plus petit (proche de 0) quand le nombre d'espèces est faible et une ou quelques espèces dominant. Il est d'autant plus important quand le nombre d'espèces est élevé et réparties équitablement. (Barbault, 1995).

Cet indice donne moins de valeur aux espèces rares et aux espèces moins abondantes.

12.3.1.4. Equitabilité ou régularité (E)

L'évaluation de la diversité spécifique d'un échantillon est généralement complétée par un indice d'équitabilité (E). On appelle régularité d'un peuplement, le rapport de sa diversité à la diversité maximale (Frontier et al ; 1998). La formule est la suivante :

$$E = H' / \text{Log}2S$$

H' = indice de Shannon.

S = richesse spécifique.

Cette quantité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre semblable d'individus (Ramade, 1994). Le degré d'équitabilité (ou de régularité) fournit une image plus précise de la structure spécifique du peuplement et, en définitive, des modalités de partage du biotope (Lacoste & Salanon, 1999).

La nomenclature et l'identification des espèces a été réalisée sur la base des ouvrages suivants : la nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales (Quezel & Santa, 1962-1963), la flore de l'Afrique du Nord de Maire (Maire, 1952 - 1987), flore et végétation du Sahara (Ozenda, 2004), l'index synonyme et bibliographique de la flore Nord-africaine (Dobignard & Châtelain, 2010-2013).

12.4. Types biologiques

Les types biologiques ou formes biologiques désignent le comportement adaptatif de l'espèce (figure 31). Elle renseigne sur la formation végétale, son origine et ses transformations (Halimatou, 2010) La classification établie par le botaniste Raunkiaer (1934) est la plus utilisée ; elle s'intéresse à la physionomie de la végétation. Les types biologiques qui font l'objet d'une description séparée peuvent être associés à chaque espèce, en vue de l'établissement du spectre biologique. Ces derniers permettent d'apprécier les différences de stratégies de vie (Mahamane, 2005). Dans notre étude, la classification de Raunkiaer (1934) référée est celle appliquée par Ozenda (1977), Chehma (2006), Haddad (2011), Rekkis, (2012) et Salemkour et *al.*, (2012). Elle se base sur la position qu'occupent les méristèmes en dormance par rapport au niveau du sol durant la saison difficile.

La classification des espèces selon les types biologiques de Raunkiaer (phanérophytes, Chamaephytes, Hémicryptophytes, Géophytes et Thérophytes) s'appuie principalement sur l'adaptation de la plante à la saison défavorable et met l'accent sur la position des bourgeons hibernants par rapport à la surface du sol. Aussi, les plantes s'organisent pour traverser la période critique du cycle saisonnier qui peut être l'hiver à cause du froid ou l'été à cause de la sécheresse.

On a imaginé de nombreux systèmes classant les diverses formes composant la végétation. La plus satisfaisante, bien qu'elle ne soit pas parfaite, est celle de Raunkiaer (1934), car elle est simple, claire, et vise un but d'explication biologique, ou plus exactement écologique.

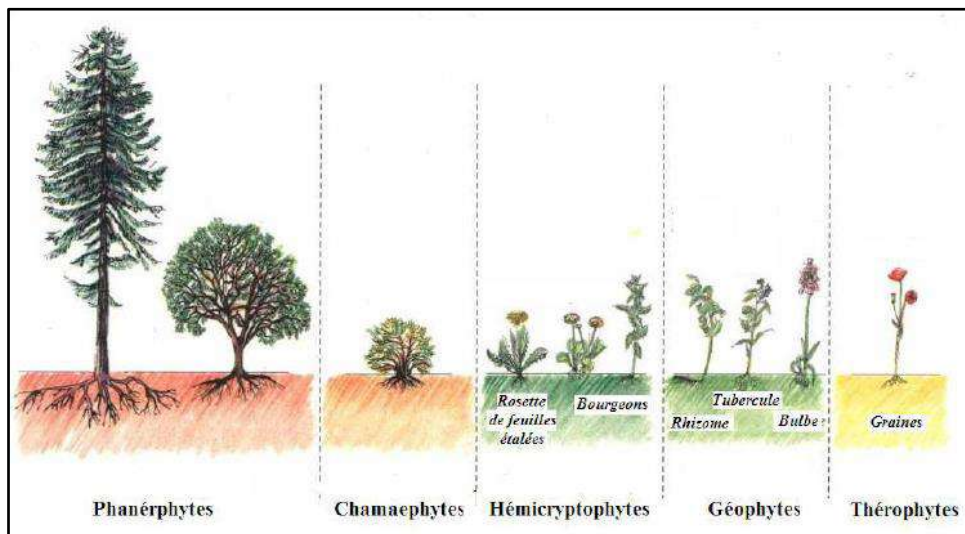


Figure 18: Les formes biologiques de Raunkiaer in (Alzaz, 2010)

- **Phanérophytes** : (phanéros = visible)

Arbre ou arbustes dont les bourgeons se trouvent en hiver froid, au-dessus de la couche de la neige, c'est-à-dire à plus de 25 à 40cm au-dessus du sol et qui assurent la protection de leurs bourgeons contre le froid en les entourant dans des enveloppes en tenant compte de la hauteur.

On peut distinguer trois formes différentes :

- ❖ Les Nanophanérophytes de 50cm à 2m
- ❖ Les micro phanérophytes de 2m à 8m
- ❖ Les mésophanérophytes de 8m à 30m

- **Chamaephytes** (chamai = à terre)

Herbe vivace et sous arbrisseaux dont les bourgeons hivernants sont à moins de 25cm au-dessus du sol.

- **Hémicryptophytes** (cryptos = caché)

Plante vivace à rosette de feuilles étalées sur le sol et les bourgeons de renouvellement sont au ras du sol ou dans la couche superficielle du sol, ce qui leur permet d'être protégés par la litière et en hiver par la neige ; l'appareil aérien est herbacé et disparaît à la mauvaise saison.

❖ **Géophytes**

Ce sont des plantes vivaces dont les organes souterrains sont des bulbes, tubercule ou rhizomes. Ces organes sont bien entrés dans le sol et ne sont pas exposés aux conditions défavorables.

❖ **Thérophytes** (Théros = la belle saison)

Plantes annuelles dont le cycle biologique est rapide et se termine au début de l'été et qui passent les mauvaises saisons sous formes de graine.

12.5. Le spectre par famille botanique

Le concept du spectre par famille botanique dans notre étude est fondé sur la représentation de la composition floristique, mais il prend en compte la hiérarchie botanique dont la famille botanique fait l'unité de classification.

12.6. Les types biogéographiques

Des espèces ont été déterminées sur base des travaux de Quezel & Santa, (1962-1963), Pignatti, (1982), Dobignard & Châtelain, (2010-2013).

12.7. Rareté des taxons

Dans le but d'estimer la rareté des taxons, nous avons utilisé l'échelle proposée par Medjahdi et al. (2018). RR : l'espèce est considérée comme très rare si elle n'est présente que dans 1 à 2 relevés ; R : rare si elle est retrouvée de 3 à 5 fois ; C : Commune si elle se rencontre de 6 à 10 fois ; AC : Assez commune si elle se rencontre de 11 à 20 fois ; CC : Très commun si on la rencontre plus de 20 fois.

13. Cartographie

La cartographie est une simplification logique et scientifique d'une réalité infiniment plus complexe, tout en faisant ressortir les faits les plus significatifs (Carreras et al, 1990). Elle a été appliquée dans le but d'étudier la dynamique de la végétation de la steppe sud algéroise, qui a subi une importante transformation spatiotemporelle de ses paysages, favorisant les différents processus de dégradation menant inévitablement à l'extension du phénomène désertification dans ces milieux déjà fragiles (Le Houerou ; 1995). Parmi ceux-ci citons : matorralisation et dématorralisation, steppisation et thérophytisation, qui caractérisent l'évolution régressive des écosystèmes dans les hautes plaines steppiques algériennes (Quezel, 2000 ; Aidoud, 1997).

Nous avons adopté une étude multi-temporelle faite à travers la comparaison de trois images satellitaires « Landsat » correspondant à différentes dates durant la saison de pleine végétation, en vue de suivre l'évolution du tapis végétal.

13.1. Données utilisées

Le recours vers l'utilisation des données de télédétection issues du satellite Landsat s'avère indispensable pour le suivi spatio-temporel du couvert végétal sur une période assez importante (31ans). Le site Earth Explorer de l'USGS fournit des images téléchargeables gratuitement du programme « Landsat » qui offre toute une gamme d'image depuis 1972.

13.2. Choix des images satellitaires

Selon Bensaid et al. (2003) et Roselt-Oss (2008), le choix des types d'images satellitaires dépend de plusieurs critères et plus particulièrement de la dimension spatiale de la zone d'étude. Dans le but de la détection des changements majeurs survenus au niveau de la région de notre zone d'étude (voir figure 01), à travers une étude multi-temporelle entre trois dates différentes T0, T1, T2, représentées respectivement par trois images satellitaires « Landsat », l'image de 1987, de 2001 et celle de 2018 ont été retenues. Ces trois scènes d'occupation de sols couvrent une période de 31 ans entre la situation initiale de l'année 1987 et celle de 2018.

Tableau 10: les caractéristiques de différentes images satellitaires utilisées

Images	1987	2001	2018
Date d'acquisition	11/04/1987	24/03/2001	16/04/2018
Temps d'acquisition	17h 18'15''	10 h10' 16''	10h 19'23''
Capteur	TM	ETM	OLI
Charge nuageuse et ombre	3.00	0.00	0
Azimut	127°09	139.016	136° 18.36
Angle solaire	51°75	53° 91	67°17

Pour la réalisation de notre bilan spatio-temporel, nous avons fixé quelques critères pour la sélection de la série des images temporelles : l'année, la saison et l'heure d'acquisition, la faible couverture nuageuse et une nébulosité minimale.

Les trois images sont choisies durant la période du printemps où l'activité chlorophyllienne est assez importante, ce qui permettra d'optimiser le suivi des changements du couvert végétal.

Les images acquises par les capteurs placés à bord des satellites contiennent des erreurs radiométriques et atmosphériques liées aux caractéristiques de l'instrument et de la présence de l'atmosphère, d'où la nécessité d'une démarche de prétraitement des données.

13.3. Traitement des images

Avant d'entamer notre travail, nous devons appliquer des modifications nécessaires pour chaque image. La première correspond à l'extraction de la zone de travail sur chaque image des dates retenues afin de pouvoir les superposer, en sachant que l'emprise de chacune des scènes recouvre une surface d'un quadrilatère de côté à fin d'alléger les traitements à venir à l'aide du même masque.

13.3.1. Prétraitements des images

Le prétraitement d'image est une étape importante dans la télédétection, il vise à obtenir de bonnes valeurs de l'énergie réfléchie ou émise sur un point quelconque de la surface terrestre.

Les traitements les plus fréquents sont :

- Correction géométrique
- Correction radiométrique

13.3.2. Correction géométrique

Les images acquises par le système d'observation de la terre ne peuvent être directement exploitées dans le cas d'une comparaison spatio-temporelle d'occupation des sols. Malgré le géoréférencement des images prises à des différentes dates, elles présentent toujours des déformations et des distorsions dues au défilement du satellite qui provoque des erreurs de type lacet, tangage et roulis. Des prétraitements de correction géométrique par l'utilisation des méthodes proposées notamment les méthodes polynomiales sont recommandées. Les lois de déformations sont calculées sur des points particuliers, appelés points amers ou points pseudo-variant, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (Maurel, 2002). Ces corrections sont destinées à corriger les déformations systématiques des images dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de vol, technologie) du capteur).

13.3.3. Correction atmosphérique

Les corrections radiométriques et atmosphériques, aussi appelés étalonnage d'image, visent à obtenir un paramètre physique indépendant des conditions d'éclairage et même des conditions atmosphériques, ce qui nous permet d'utiliser des images de différentes époques pour détecter les changements.

La calibration radiométrique vise à donner une interprétation physique aux comptes numériques de l'image. Si l'on souhaite obtenir une représentation fiable de la surface terrestre, il faut donc calibrer et corriger les données satellitaires. Nous avons choisi la technique de correction radiométrique « Image dark subtraction » qui permet d'obtenir le DN de correction (nombre numérique) qui sont des valeurs obtenues uniquement à partir des données numériques sans informations extérieures. D'après (Hadjimitsis et al, 2004), de nombreuses méthodes de correction atmosphériques ont été proposées pour une utilisation de l'imagerie satellitaire multispectrale. Cette méthode générée à partir d'analyses à distance données détectées pour les études dans lesquelles les corrections de diffusion atmosphérique sont essentielles, devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats. (Chavez, 1988).

13.3.4. Traitement numérique

La création de la composition colorée à travers la combinaison d'images prises à des temps différents dans la même bande spectrale constitue un moyen pour différencier l'occupation de sol. Cette technique est très convenable pour l'étude du phénomène de déforestation. (Bonn & Rochon, 1992).

La composition colorée est identifiée par trois canaux à partir desquels résultent des couleurs différentes. La création de compositions colorées fait partie des premières démarches d'amélioration et l'interprétation visuelle des images.

13.3.4.1. Composition colorée en fausse couleur

Une composition colorée (4-3-2) dite de fausse couleur a été effectuée dans les plans images proche infrarouge, rouge et vert. Le canal 4 étant dans le proche infrarouge, il était possible de décomposer les différentes formations végétales naturelles ou cultivées ; alors que les bandes rouges et vertes permettent de discriminer les surfaces réfléchies dans le visible : sol nu, habitations, eau, routes ...etc.

Il s'agit alors, de combiner trois canaux dans le but de constituer une image colorée, synthétisant un maximum d'informations contrastées. Pour ce faire, une couleur primaire (bleu, vert ou rouge) est assignée à l'affichage du contenu de chaque canal suivant le modèle de représentation en synthèse additive trichrome RVB (rouge, vert, bleu) (Langlois, 1987).

13.3.4.2. Création de Néo-canaux

En vue d'une amélioration des données de classification, il est parfois intéressant de créer de (« néo-canaux ») synthétiques décorrélés (ACP) à partir d'images. En effet, les bandes originales peuvent être fortement corrélées entre elles (redondance de l'information) et les néo-canaux peuvent mettre en évidence certains types d'occupation du sol ou simplement faciliter la distinction entre les classes d'occupation du sol (Denis, 2020).

- **NDVI indice** de végétation par différence normalisée ou Normalized Difference Vegetation Index

L'indice NDVI : est un néo-canal construit à partir des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR). Son principe repose sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande rouge et réfléchit beaucoup dans le proche infrarouge, d'où la formule suivante (Rouse et *al.*, 1973 ; Tucker, 1979) :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quel que soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement.

Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les

nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, ce qui fait que l'NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives ; les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

L'indice de NDVI est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI.

- **Application de l'indice SAVI :**

Le SAVI est un bon indicateur de la végétation si les effets atmosphériques sont annulés. De nouvelles versions de SAVI montrent que les pentes et les ordonnées à l'origine changent (Loseen & *al.*, 1995 in Djaby, 2000).

$$SAVI = [(p_{pir} - p_r) (1+L)] / (p_{pir} + p_r + L).$$

l'indice de SAVI est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI, sous l'expression suivante :

$$(B4 * 1.5 - B3 * 1.5) / (B4 + B3 + 0.5)$$

Et où B4 c'est la bande PIR et B3 la bande R.

13.4. Classification

En tant que technique classique, la classification par pixel considère l'imagerie de télédétection comme une collection de pixel avec des informations spectrales. En général, les algorithmes de classification par pixel peuvent être divisés en deux groupes : classification non supervisée et classification supervisée.

13.4.1. Classification non supervisée

Il s'agit de classer une image de télédétection, sans l'aide de données d'apprentissage ou de connaissances préalables d'une zone d'étude (Lillesand et *al.* 2004 ; Puletti et *al.* 2014).

L'intérêt de cette classification était de nous guider dans notre étude lorsqu'il s'agit de faciliter l'étude d'une zone sans une connaissance préalable de l'objet à échantillonner, donc elle constitue une approche à suivre pour faciliter la récolte des données de terrain.

13.4.2. Classification supervisée

Il existe plusieurs types de classifications supervisées, parmi les plus utilisés et les plus connues est celle du maximum de vraisemblance « The Supervised Maximum Likelihood classification » (MLC) (Richards, 1995 ; Shalaby et Tateishi, 2007).

Il s'agit de faire une correspondance entre les classes spectrales et les classes de formations déjà identifiées, suite à un échantillonnage sur terrain des différentes unités de l'occupation des sols, sur la zone à étudier. Les caractéristiques spectrales de ces échantillons vont ensuite être utilisées pour réaliser la classification.

13.5. L'élaboration de la carte d'occupation de sols

La méthodologie adoptée, dans notre étude, afin de réaliser la carte d'occupation des terres est celle de Djebaili et *al.*, 1982; Melzi, 1986 ; Hirche et *al.*, 2010; Taibaoui, 2008, Hourizi et *al.* 2017 et au sens de l'Ionesco et Sauvage (1962) basée sur les traits physiologiques des différentes formations végétales, dont nous avons été amené à considérer :

- les types de formations végétales caractérisés par leurs état de dégradation ; Ceci peut être expliqué par leurs composition floristique et aussi à travers les deux premières espèces dominantes qui peuvent traduire l'état de dégradation global d'unité de végétation (faciès des groupements végétaux) :
- la première espèce dominante indique le type biologique prépondérant qui imprime sa physiologie au faciès végétal.
- la deuxième espèce dominante exprime l'état actuel de la végétation ainsi que son écologie.

13.5.1. L'échelle perception

Selon Long (1974), il y a plusieurs niveaux de perceptions écologiques et à chaque niveau correspond :

- des unités de végétation concrète ;
- des variables écologiques prépondérantes, ou certains états de ces variables ;
- des niveaux d'intégrations ou d'organisation des systèmes écologiques ;
- des échelles d'expressions cartographiques aptes à traduire les caractères analytiques ou synthétiques propres à chaque niveau.

Dans notre cas, l'échelle d'expression cartographique moyenne constitue l'échelle de perception optimale pour la cartographie des milieux steppiques (Long, 1974 ; Roselt-Oss, 2008).

13.5.2. Les cartes de changements d'occupations de sols

Les changements entre les deux dates peuvent être visualisés à l'aide d'une matrice de changement indiquant, pour les deux dates, le nombre de pixels de chaque classe. Cette matrice permet d'interpréter les changements (Koffi et *al.*, 2016).

Pour cela nous avons utilisé des logiciels SIG, tels que l'ENVI et l'Arc GIS qui facilitent l'étude de la dynamique d'occupation de sols.

A travers l'étude de changement d'occupation de sols entre la carte finale et la carte d'occupation de sols initiale, nous avons pu obtenir les gains et les pertes des surfaces des différentes unités de végétation, ainsi que l'intensité de changement, affectant une partie de notre zone d'étude.

A travers la comparaison de différentes surfaces d'unité de végétation, on peut faire un état de lieu du couvert végétal de notre zone d'étude, par l'évaluation de l'extension des unités de dégradation par rapport à celles qui représentent des écosystèmes en bon état écologique, en se référant à notre étude phytoécologique déjà faite sur la même zone d'étude (Taibaoui et *al.*, 2020).

13.5.3. Elaboration des cartes thématiques

Pour la caractérisation écologique de notre zone d'étude, nous avons établi différentes cartes thématiques à savoir : la carte des pentes, d'expositions ainsi que la mise en place du modèle numérique de terrain (MNT), par l'exploitation des données SRTM DEM (30 m de résolution) téléchargés directement via le serveur de l'USGS Earth. Ceci a été fait par l'utilisation des logiciels spécialisés de SIG, tels que Globale Mapper ou Arc Gis, dans le but d'établir un SIG de notre zone d'étude.

14. La géostatistique

La géostatistique fournit d'une part, des outils statistiques pour décrire la structure spatiale d'une variable se déployant dans l'espace géographique et d'autre part, permet de cartographier cette variable par des méthodes d'interpolation spatiale minimisant les erreurs d'estimation (Douaoui et Lépinard, 2010). Elle est fondée sur l'application de la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965).

14.1. Krigeage ordinaire

Le krigeage ordinaire permet l'estimation spatiale d'une propriété Z géolocalisée géographiquement et suffisamment échantillonnée pour permettre de détecter la structure spatiale de cette propriété par le biais du variogramme.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

où n est le nombre de points x_i
et λ_i est le poids affecté à chaque voisin

Les paramètres du variogramme (effet de pépité, palier, portée) sont déterminés à partir de l'ajustement de sa fonction à un modèle théorique (sphérique, exponentiel...) qui, dans l'hypothèse intrinsèque, a pour équation :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x) - z(x+h)]^2 \text{ où}$$

- h est le pas de calcul
- $\gamma(h)$ est la semi-variance pour une distance h
- $N(h)$ est le nombre de couples des points de mesures (x_i, x_i+h) distants de h .

14.2. Krigeage d'indicatrices

Dans ce type de krigeage, les valeurs mesurées de la variable étudiée sont transformées en fonctions indicatrices binaires notées « I » correspondant aux différents seuils marquant des limites entre différents niveaux ou classes de la variable notés « c » telle que (Douaoui, 2005 ; Bradai et al., 2022) :

$$I(x_i, c) = 1 \quad \text{si } Z(x_i) \leq c$$

$$I(x_i, c) = 0 \quad \text{si } Z(x_i) > c$$

La variogramme de la fonction indicatrice s'écrit de la façon suivante :

$$\gamma^*(h, c) = 1/2N(h) \sum_{i=1}^{N(h)} [I(x_i, c) - I(x_i+h, c)]^2$$

où $N(h)$ est le nombre de couples d'observations distants de $h \pm \Delta h$

- Après l'ajustement du variogramme des fonctions indicatrices à un modèle théorique, on effectue le krigeage linéaire en un point x_0 , des $I(x_i, c)$ tels que :

$$I^*(x_0, c) = \sum_{i=1}^n \lambda_i I(x_i, c)$$

où : n est le nombre de points expérimentaux pris en compte dans l'estimation

λ_i est le poids affecté aux points expérimentaux x_i

15. Les outils utilisés

15. 1. Logiciel ENVI

ENVI (Environments for Visualising Images) est un logiciel professionnel de la société « EXELIS » permettant la visualisation, le traitement, l'analyse et la présentation de nombreux types d'images numériques, et en particulier celles issues de la télédétection.

L'ENVI permet de travailler sur différents types de données et d'intégrer les données de type matriciel (image) et vectoriel. Le format utilisé par l'ENVI est un format raster brut associé à un fichier entête ASCII (texte). Le fichier entête (header) contient toutes les informations utiles au logiciel pour lire le fichier. Il est compatible avec les données de type SIG (Denis, 2020).

15.2. Les outils pour SIG logiciel ARCGIS, Vertical Mapper (VM)

Ce sont des outils de type Système d'Information Géographique (SIG) qui servent à créer, traiter et cartographier l'information géographique. Ils structurent les informations en tableaux et ils gèrent les cartes rasters et vecteurs. Les logiciels, Arc GIS Esri, Map Info et le Vertical Mapper (VM) ont servi à effectuer les différentes étapes d'élaboration du système d'information géographique (SIG) suivant le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM), zone 31.

Le choix de ces logiciels se justifie par la capacité de leur mémoire de gérer des fichiers et l'échange de formats des différents fichiers entre les logiciels utilisés.

Chapitre IV : Résultats et discussion

16. Analyse floristiques des groupements végétaux de notre zone d'étude

L'action progressive de l'homme et ses troupeaux sur les hautes plaines steppiques, depuis déjà longtemps, a engendré une dégradation généralisée qualifiée par plusieurs auteurs comme l'extension du phénomène de désertification (Le Houerou, 1985 ; Aidoud et *al.*, 2006 ; Bedrani & Nedjraoui, 2008).

En vue de faire une caractérisation floristique et écologique de la végétation de notre zone, une typologie de la végétation de notre zone d'étude a été faite à travers l'utilisation des deux approches statistiques multivariées :

- La première est celle L'AFC (Analyse Factorielle de Correspondance) qui a été appliquée en vue de faire une mise en évidence des relations phytoécologiques entre les différents groupements végétaux et les principaux facteurs écologiques qui causent leurs individualisations d'une part et d'autre part, pour rendre notre étude comparable par rapport aux études antérieures qui ont utilisé L'AFC pour étudier la végétation du milieu steppique (Celles, (1975) ; Djebaili, (1978) ; Aidoud-Lounis, (1997) ; Kadi-Hanifi, (1998).,

Pour ce faire, nous avons appliqué L'AFC sur un tableau de 50 relevés floristiques et 170 espèces. Ces dernières sont dotées chacune par un coefficient, selon l'échelle de Braun-Blanquet (1932), qui correspond à son Abondance –Dominance dans les différents relevés floristiques réalisés dans notre zone d'étude.

- La deuxième approche statistique multivariées l'NSCA (l'analyse non-symétrique des correspondances), proposée par Gimaret-Carpentier et *al.* (1998) ; Bouxin (2016 ; 2020) ; elle a été utilisée par Taibaoui et *al.* (2020) dans notre zone d'étude.

16.1. Résultats de l'analyse factorielle des correspondances

La participation relative des axes factoriels à l'inertie totale (Tableau 12) montre que les trois premiers axes cumulent à eux seuls plus de 41, 5%, ce qui présente un taux suffisant, dans de telles études, pour l'interprétation des résultats phytoécologiques. Le premier axe enregistre le pourcentage le plus élevé d'inertie (22.20%), ce qui fait de celui-ci l'axe factoriel le plus important par rapport aux autres axes (2, 3, 4 et 5), qui cumulent successivement les taux d'inertie suivants : 11,29%, 7,98%, 5.25% et 4.36%.

Tableau 12: Taux d'inertie cumulés des 05 premiers facteurs.

Axes	Taux d'inertie (%)	Valeurs propres
Axe 1	22.20	0.027
Axe 2	11.29	0,014
Axe 3	07.98	0.010
Axe 4	05.25	0,006
Axe 5	04,36	0,005

L'analyse des trois axes factoriels sur les deux plans : 1-2 et 1-3 (Figures 32 et 33) a fait ressortir 05 unités de végétations similaires selon leurs contributions et leurs coordonnées sur les trois axes factoriels dont :

L'axe factoriels 01 qui s'oppose à deux ensembles végétaux :

Dans sa partie négative il s Raunkiaer e situe le groupe des relevés faits dans la zone sud présaharienne qui représente les unités de végétations dominées par *Astragalus Armatus*, *Hamada scoparia* et *Thymelea microphylla*, tandis que dans le sens positif, on trouve les trois ensembles végétaux : forestiers, pré-forestières et steppiques, qui représentent les différentes formations végétales issues les unes des autres, et qui occupent la partie Nord et centre de notre zone d'étude.

L'axe 01 pourrait exprimer un gradient climatique qui s'explique par un gradient d'altitude (et latitude) qui augmente, en allant, du sud vers le nord (Figure 32). Tandis que le deuxième axe s'oppose à l'ensemble végétal III, effectué dans une aire contrôlée (relevés 21 et 22) avec les autres ensembles végétaux I, II, IV, à pâturage libre, ce qui fait que cet axe pourrait s'expliquer par l'action anthropique.

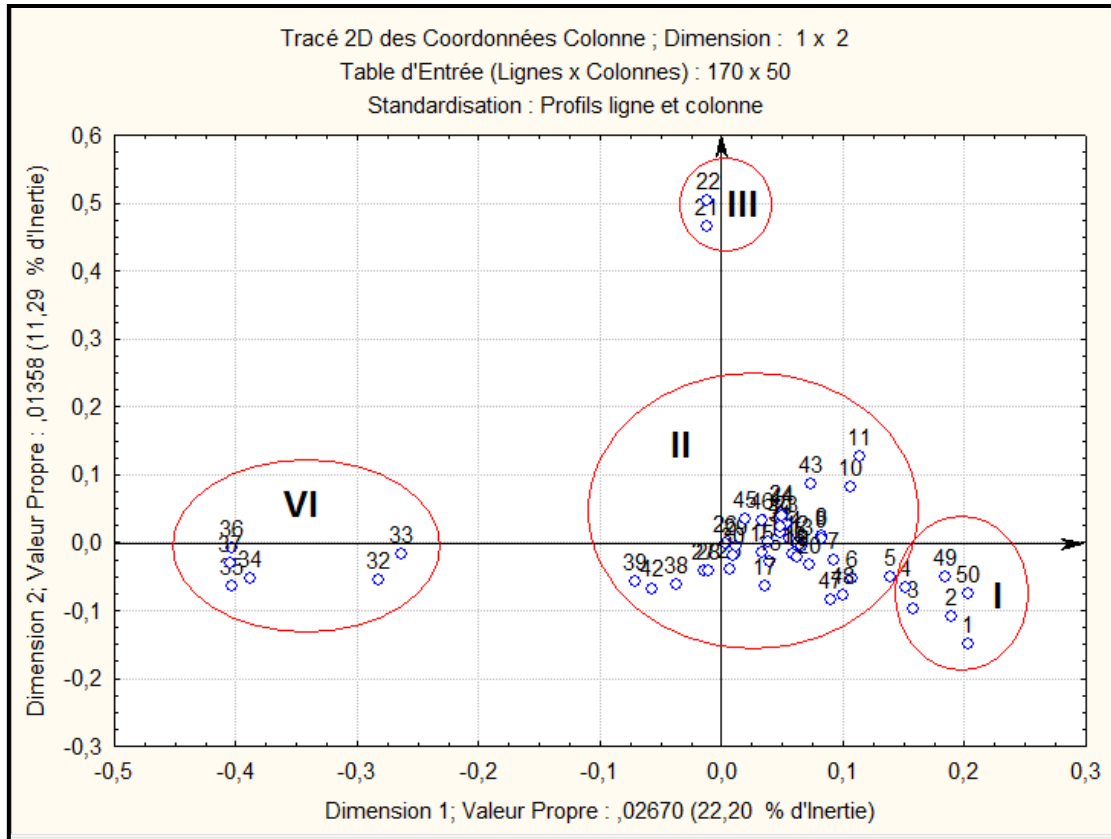


Figure 32: Analyse factorielle de correspondance (plan factoriel 1-2)

Sur le plan 1-3 on peut individualiser 05 ensembles végétaux qui représentent les différentes formations végétales, de notre zone d'étude à savoir forêt, matorral, steppe à alfa, steppe dégradée et steppe présaharienne :

L'axe 03 individualise 04 groupements végétaux qui s'enchaînent du cotés positif vers le coté négatif (Figure 33), et qui représentent respectivement les ensembles des formations forestières, préforestières (Matorral), la steppe à alfa et la steppe dégradée. Cet axe pourrait exprimer un facteur de dégradation qui traduit une dynamique régressive de la végétation de notre zone d'étude, en partant des formations forestières et pré-forestière jusqu'aux formations steppiques de dégradation.

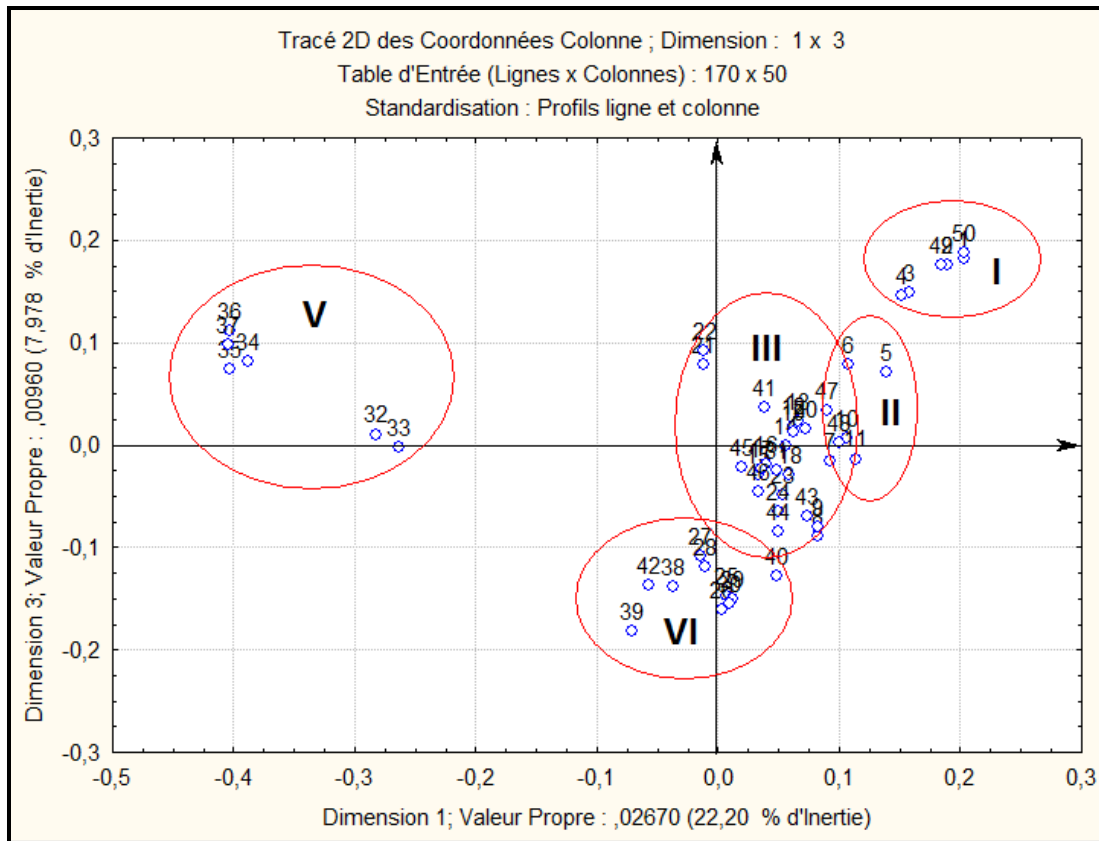


Figure 33 : Analyse factorielle des correspondances (plan factoriel 1-3)

16.2. Classification hiérarchique ascendante

Pour compléter l'analyse faite par L'AFC, nous avons utilisé la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) qui sert à faire une partition d'un ensemble (Ambapour, 2003).

La lecture descendante de l'arbre de classification (Figure 34) permet de ressortir les résultats suivants :

Si l'on coupe au niveau le plus élevé, on obtient deux classes qui correspondent aux deux ensembles végétaux, dont celle du côté gauche représentant la steppe présaharienne, et celle du côté droit correspondant à des ensembles emboîtés de plusieurs classes des différentes formations végétales qui sont issues de la même formation végétale forestières du pin d'halep (*Pinus halepensis*) et du chêne vert *Quercus ilex*, (Le Houerou, 1969 ; Celles 1975 ; Djebaili, 1978 ; Aidoud-Lounis, 1984).

Si l'on coupe à un niveau plus bas, on obtient une partition de 05 classes :

Classe A : qui correspond à l'ensemble des relevés qui représentent la formation forestière.

Classe B : qui peut être scindée en plusieurs sous classes rassemblées en deux grandes

formations végétales pré forestières et formations steppiques. (Taibaoui et *al*, 2020)

Classe C: qui correspond à l'ensemble des relevés représentant la formation steppique

Présaharienne dégradée

Classe D: qui correspond à l'ensemble des relevés appartenant à la formation steppique mise en défens (contrôlée), c'est le cas des relevés R21 et R22.

Classe E: qui correspond à l'ensemble des relevés qui représentent la formation steppique présaharienne.

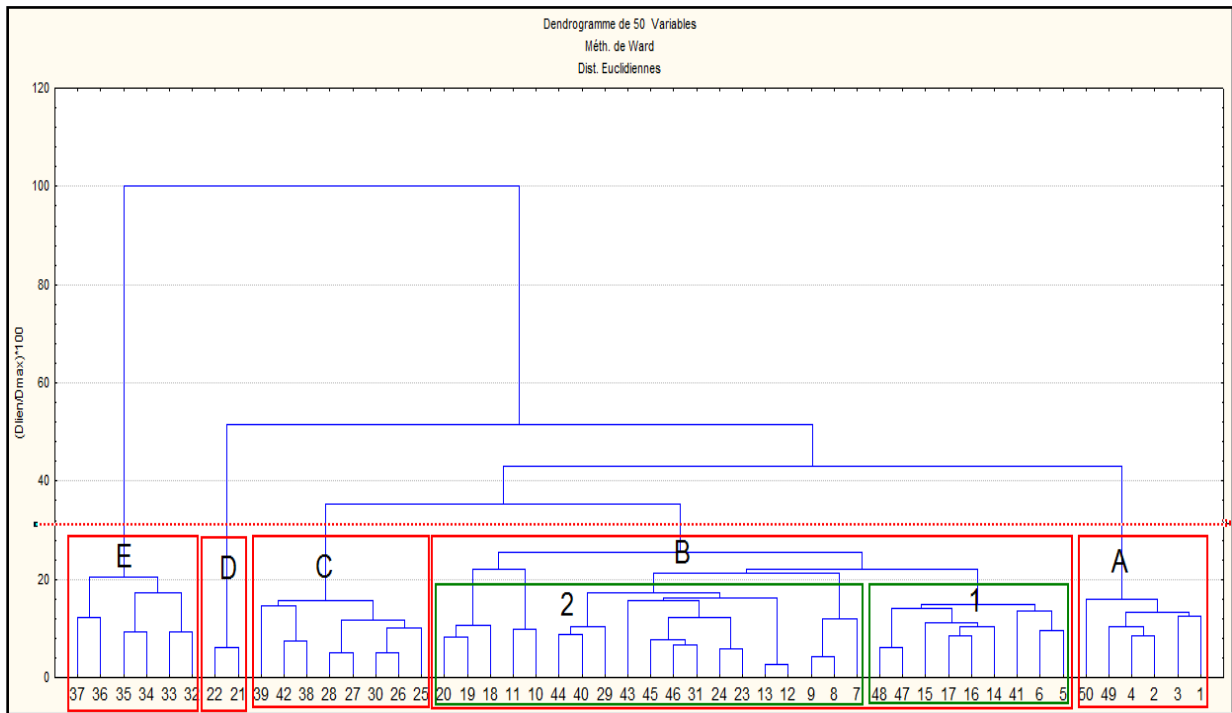


Figure 34 : Dendrogramme obtenu par la classification hiérarchique ascendante des relevés De notre zone d'étude représentée

16.3. Caractérisation floristique et écologique de différents groupements végétaux

Les résultats obtenus par les différentes analyses statistiques, faites sur notre zone d'étude, ont donné les résultats suivants :

- obtention de 07 groupements végétaux qui représentent les différents stades d'évolution d'une même série de végétation qui est : la série de forêt claire à *Pinus halepensis*, et qui sont: Formation forestières, préforestières (Matorral), steppe à alfa, et steppe présaharienne, avec leurs faciès de dégradation. (Le Houerou et *al.*, 1977 ; Djebaili, 1984 ; Pouget et *al.*, 1980 Le Houerou, 1995 ; Taibaoui et *al.*, 2020).

Selon Dahmani (1996), les formes de vie des végétaux représentent un outil privilégié pour la description de la physionomie et de la structure de la végétation; et qui constituent aussi, selon Raunkiaer (1934) et Daget, (1980) une stratégie d'adaptation de la flore dans son ensemble aux conditions de milieu et plus particulièrement aux conditions climatiques.

Une communauté végétale se caractérise par sa composition floristique, sa structure, sa physionomie et son écologie ;

Pour cela nous avons fait une analyse de diversité biologique et phytogéographique, par l'utilisation des spectres réels, des modifications de la flore le long d'un gradient d'aridité de différentes formations végétales, de notre zone d'étude, avec l'application de différents indices de diversité végétale, à savoir : la richesse floristique(S), l'indice de Shannon (H') et l'Equitabilité de Pielou (E).

16.3.1. Formations forestières

- Formations forestières :

La forêt claire est représentée, dans notre zone d'étude, par le groupement végétal à *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea* : elle se caractérise par des essences forestières. Les espèces qui ont la contribution la plus importante dans cette formation sont : *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima*, *Juniperus phoenicea* L., *Cistus libanotis*, *Dactylis glomerata* L., *Junepirus oxycedrus*, *Atractylis humilis* L., *Helianthemum virgatum* (Desf.) Pers., *Helianthemum cinereum*, *Globularia alypum*, *Thymus ciliatus*, *Atractylis prolifera* Boiss.

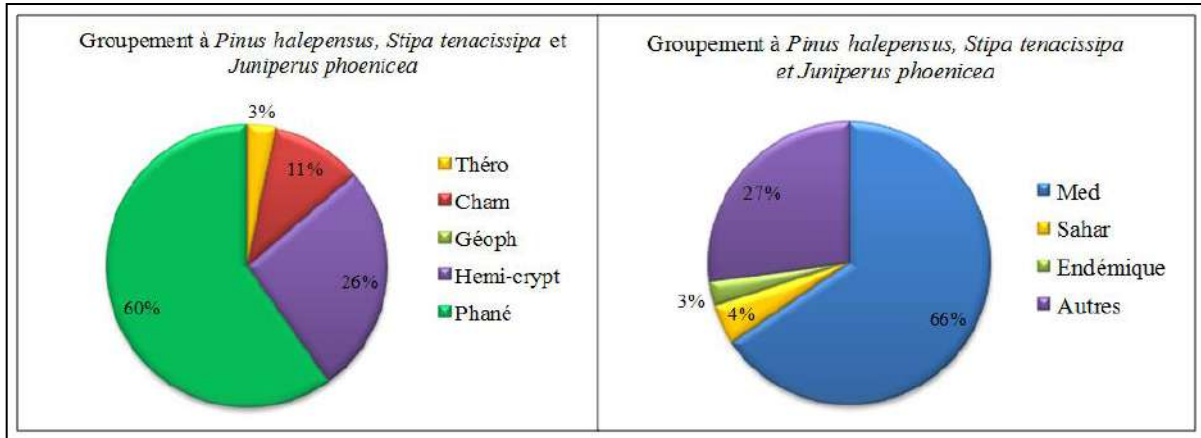


Figure 35: Spectre biologique et spectre phytogéographique, du Groupement à *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*

Suite à l'analyse de la figure 35, le spectre biologique de cette formation se caractérise par le schéma suivant: Ph > He > Ch > Th > Géo ; ce qui montre bien que ce sont les phanérophytes (Ph) qui présentent la forme biologique dominante, avec un taux de 60%, par rapport aux autres types biologiques, suivies par les hemicryptophytes (He), puis les chamaephytes (Ch) et en fin les thérophytes (Th) qui présentent le taux le plus faible.

En ce qui concerne les types phytogéographiques, cette formation se caractérise par le schéma Med > Autres > Saharien > Endémique.

D'après la figure 35, qui présente le spectre phytogéographique de cette formation, l'élément méditerranéen présente le taux le plus important, avec un taux de 66%, par rapport aux autres éléments phytogéographiques, ce qui confirme l'originalité méditerranéenne floristique de notre zone d'étude. Le taux des espèces endémiques est un peu plus faible et ne représente que 3% de l'ensemble des éléments floristiques.

- Formation préforestières (Matorral):

Elle constitue une forme de dégradation de la forêt naturelle méditerranéenne (Sauvage & Ionesco, 1962 ; Le Houerou 1995) ; elle est représentée dans notre zone d'étude par le groupement végétal à : *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*.

Les espèces qui ont la contribution la plus importantes sont généralement des essences forestières mêlées avec des espèces steppiques de dégradation, citant entre autres:

Juniperus phoenicea, *Stipa tenacissima* L., *Poa bulbosa* L., *Hordeum murinum* L., *Plantago albicans* L., *Schismus barbatus* (L.) Thell, *Stipa parviflora* Desf. *Echium trygorrhizum* Pomel. *Leantodon hispanicus* Poiret, *Onopordon arenarium* (Desf) Pomel, *Thymus ciliatus* Jurinea *humilis* L.

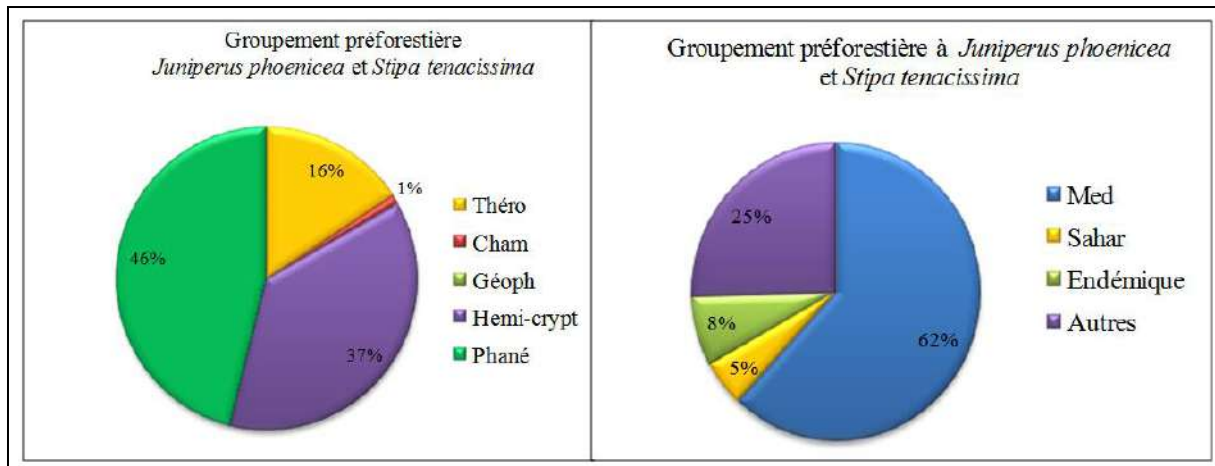


Figure 36: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*.

Selon la figure 36, le spectre biologique de cette formation pré-forestière se présente comme suit : Ph > He > Th > Ch > Gé.



Figure 37: Formations forestières : forêt dégradée à *Pinus halepensis* (Djellal Chergui-Moudjebara- Djelfa)



Figure 38: Formations préforestières (Matorral): forêt dégradée à *Juniperus phoenicea* (Djellal Gharbi- Djelfa)

Ce qui montre que la dégradation de la formation forestière a engendré une diminution notable du taux de phanéropytes de l'ordre 14%, ce qui leur donne un taux de 46% au profit des thérophytes et des hemicryptophytes qui ont subi une augmentation respective de 16% et 37%. D'après la même figure 36, le spectre phytogéographique de la formation préforestière se présente comme suit : Med >Autres > Endémique > Saharien, ce qui montre toujours la dominance de l'élément méditerranéen, avec un taux de 62% et une légère augmentation du taux de l'endémisme avec 08%.

16.3.2. Formations steppiques poste forestières

Formation steppique : c'est une formation herbacée (poste forestière), ouverte et discontinue à base des espèces de genre *Stipa*.

Dans notre zone d'étude, elle est représentée par trois groupements végétaux, qui ont subi différents degrés de pression anthropique, et qui sont : groupement à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* et *Noaea mucronata* ; groupement et à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*; groupement à *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa* (pelouse).

- Groupement à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* et *Noaea mucronata*:

Les espèces qui ont la contribution la plus importante dans l'individualisation de ce groupement végétal sont généralement des espèces typiquement steppiques et des espèces indicatrices de dégradation d'un milieu steppique, citant entre autre: *Stipa tenacissima* L., *Noaea mucronata* (Forsk.) Asch *Stipa parviflora* Desf., *Artemisia herba -alba* Asso., *Helianthemum hirtum* (L) Pers., *Plantago albicans* L., *Peganum harmala* , *Artemisia campestris*, *Shismus barbatus* et *Plantago albicans*.

D'abord, on a la présence de l'espèces indicatrice de dégradation : *Noaea mucronata*, parmi les espèces dominante(Aidoud & Aidoud, 1991, Kadi Hanifi-Achour, 1998, Taibaoui, 2008). On note aussi la présence de *Peganum harmala* , *Artemisia campestris* favorisées par le labours et la mise en culture (URBT, 1987 ; LE Houerou et al, 1975 ; Djebaili, 1978); s'ajoute à cela aussi la présence des annuelles psammophytes telles que : *Shismus barbatus* et *Plantago albicans* (Pouget, 1980), ce qui montre bien que ce milieu a subi une pression importante essentiellement d'origine anthropique.



Figure 39: Steppe à alfa (*Stipa tenacissima*) (Djelfa)

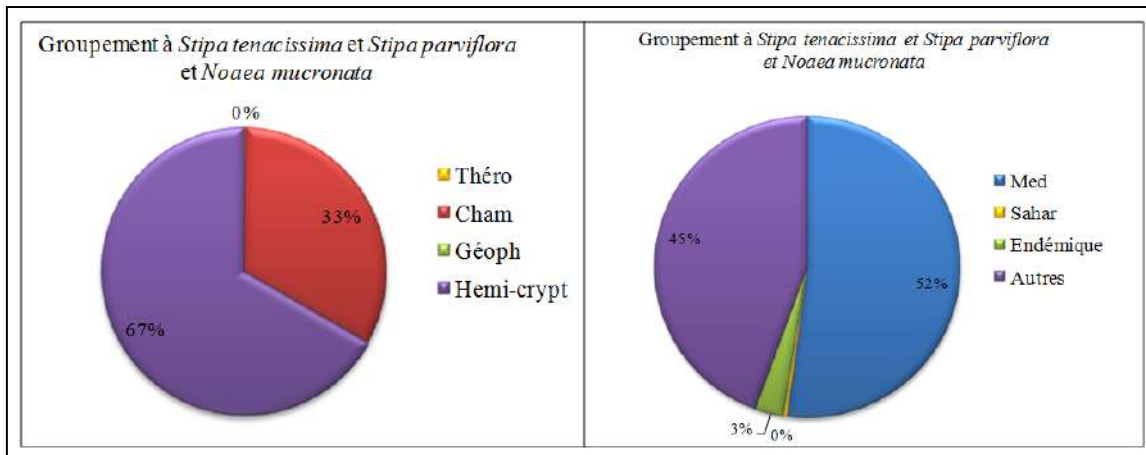


Figure 40: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*, *Noaea mucronata*.

En analysant la figure 40, on déduit à partir des deux spectres : biologique et phytogéographique les constats suivants :

En ce qui concerne les types biologiques : les hemicryptophytes constituent la forme biologique la plus importante, avec un taux de l'ordre de 67%, suivies par les chamaephytes qui présentent un taux important de l'ordre de 33%, suivies par les autres formes biologiques selon le schéma suivant : He > Ch > Th > Ph > Géo.

Selon la même figure (Figure 40), le schéma du spectre des éléments phytogéographiques se réparti comme suit : Med > Autres > Endémique > Saharien.

Ce qui montre bien que malgré la diminution du taux de l'élément méditerranéen, on remarque sa nette dominance par rapports aux autres éléments phytogéographiques, avec un taux de 52%.

- Groupement dégradé à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* :

Les espèces qui participent principalement dans l'émergence de ce groupement végétal, sont : des essences forestières, des espèces steppiques et des espèces indicatrices de dégradation, citant parmi celles-ci:

Stipa tenacissima L. *Stipa parviflora* Desf. *Bromus rubens* L *Peganum harmala* L. *Loeflingia hispanica*, *Diplotaxis virgata*, *Helianthemum cinereum*, *Thymus ciliates*, *Juniperus phoenicea*.

La présence des phanérophytes, tels que *Pinus halepensis*, *Junepirus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, avec des espèces à vocation forestières telles que *Helianthemum cinérium*, *Genista microcephala*, *Thymus ciliatus*, indique l'ambiance forestières de cette formation végétale (Djebaili, 1984 ; Le Houerou, 1995).

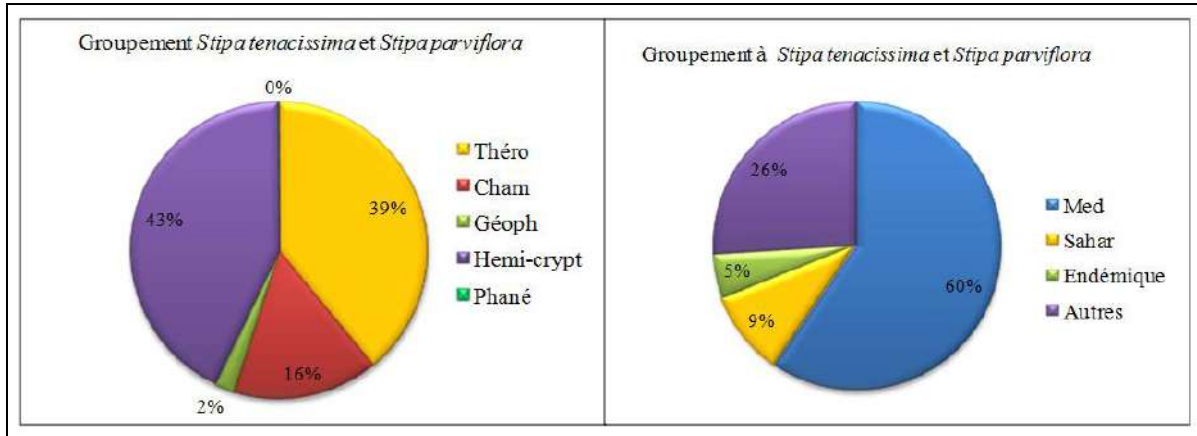


Figure 41: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*.

Selon le spectre biologique (Figure 41), les taux des formes biologiques se répartissent comme suit : He > Th > Ch > Géoph > Ph.

Dans cette formation aussi de dégradation steppique, on remarque toujours les Hemicryptophytes qui présentent le taux le plus important (43%), tandis que les thérophytes présentent une augmentation plus importante (39%). En troisième position, il y a les chamaephytes avec un taux de 16% ; ceci montre bien la dégradation de cette formation steppique issue à son tour d'une dégradation d'une formation forestière méditerranéenne.

En ce qui concerne le spectre phytogéographique (Figure 41), l'élément méditerranéen reste toujours l'élément dominant, avec un taux de 60%, suivi par les autres éléments phytogéographiques selon le schéma suivant : Med > Autres > Saharien > Endémique.

- Groupement steppique (pelouse) à *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa*.

Ce groupement se caractérise par la dominance des annuelles (Thérophytes), des espèces indicatrices de dégradation, avec aussi la présence des espèces à vocation forestières.

Dans cette pelouse poste forestière, les espèces qui ont la contribution la plus importantes sont : *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata*, (Forsk) Asch *Pulicaria crispa*, *Atractylis prolifera*, Boiss *Brassica sp koelpinia linearis* Pallas *Matthiola fruticulosa* (L) Maire *Muricaria prostrata* (Desf) Desv *Echium pycnanthum* Pomel *Juniperus phoenicea*.

Cette formation herbacée est dominée par des espèces annuelles telles que *Loeflingia hispanica*, mêlées avec d'autres espèces indicatrices de dégradation telles que : *Noaea mucronata*, ce qui donne une idée bien claire sur l'état de dégradation de cette formation végétale, issue d'une formation forestières.

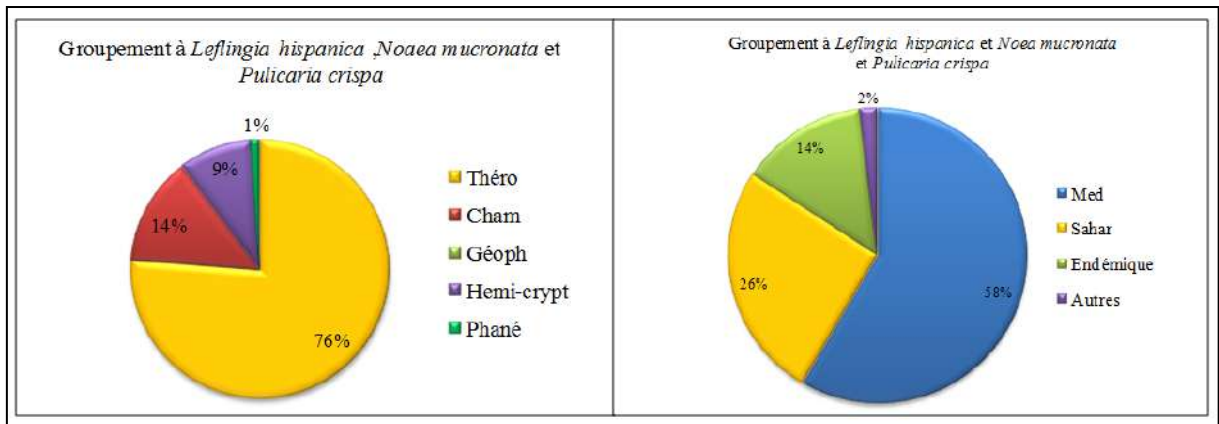


Figure 42: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa*.

Selon la figure 42, ce groupement forestier présente le taux des thérophytes le plus important avec 76%, suivi par les chamaephytes avec un taux de 14%, puis les hemicryptophytes puis les autres types biologiques selon le schéma suivant : Th > Ch > He > Ph > Gé.

La présence des reliques forestières (phanérophytes) indique que ce milieu était une formation forestière qui a été remplacé par un groupement végétal dominé actuellement par des annuelles aux dépens des espèces ligneuses, forestières ou bien herbacées pérennes steppiques.

Selon Hebrard et al. (1995) et Taibaoui et al. (2020), la pelouse constitue la formation végétale la plus dégradée dans notre zone d'étude.

L'analyse du spectre phytogéographique, présenté dans la figure 42, donne le schéma suivant : Med > Saharien > Endémique > Autres.

Ce qui montre bien, que malgré l'augmentation notable de la flore de l'élément saharien, avec un taux de l'ordre de 26%, suite à une dégradation intense de la formation forestière, son cortège floristique reste toujours d'origine méditerranéen avec un taux de l'ordre de 58%. Par ailleurs le taux de l'endémisme dans cette formation végétale a pris un taux de l'ordre de 14%.

16.3.3. Formations steppiques présahariennes

Les formations steppiques présahariennes sont représentées par les groupements steppiques présahariennes à : *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymeleae microphylla* ; et à *Astragalus armatus* et *Bromus ruben*.

- Groupement steppique présaharien à *Astragalus armatus* et *Bromus ruben*.

Les espèces qui ont une participation principale dans l'individualisation de ce groupement végétal sont généralement des espèces sahariennes endémiques, et des espèces indicatrices de la dégradation d'une formation herbacée steppique, parmi celles-ci citant :

Astragalus armatus Willd . *Bromus rubens* L., *Arthrophytum scoparium* (Pomel).Iljin., *Stipa parviflora* Desf., *Stipa tenacissima* L., *Atractylis serratuloides* Sieber.,

S'ajoute à cela des espèces cultigènes indicatrices de l'activité anthropique telles que : *Hordeum murinum* L., *Asteriscus pygmaeus* DC.j., *Papaver rhoeas* L.

Par ailleurs, la présence de *Stipa parviflora* Desf., *Stipa tenacissima* L., montre bien que ce groupement a été issu directement d'une belle steppe à alfa (à *Stipa tenacissima* L.) (Pouget et al., 1977)

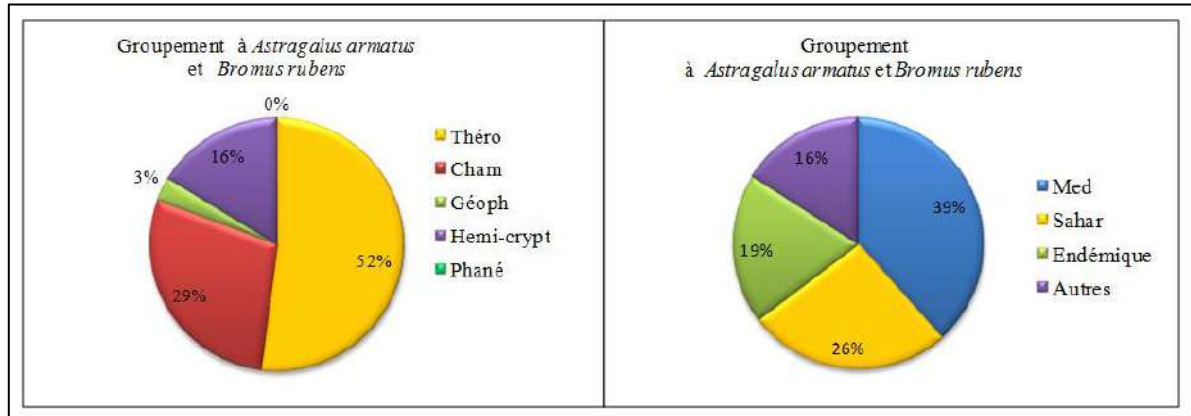


Figure 43: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Astragalus armatus* et *Bromus rubens*.

L'analyse du spectre biologique dans la figure 43 montre la dominance des formes biologiques de dégradation des thérophytes, avec un taux de 52%, suivies par les chamaephytes avec un taux de l'ordre de 29%, puis les Hemicryptophytes et les Géophytes, selon le schéma suivant : Th > He > Ch > Géo > Ph.

Selon la même figure 43 (à gauche), le spectre phytogéographique de ce groupement se présente sous le schéma suivant: Med > Saharien > Endémique > Autres.

Avec une dominance de l'élément méditerranéen avec 39%, suivi par la flore saharienne, avec un taux de l'ordre de 26%.

- Groupement steppique présaharienne à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymealea microphylla*

Les espèces qui ont la contribution la plus importantes sont celles du climat présaharien et les différentes espèces de dégradation qui sont essentiellement des chamaephytes et des annuelles, parmi celles-ci on retrouve :

Astragalus armatus Willd . *Arthrophytum scoparium* (Pomel).Iljin, *Thymealea microphylla* Cosson & Durieu ., *Stipa tenacissima* L., *Peganum harmala* L., *Plantago albicans* L., *Onopordum acanthium*, *Atractylis flava*, *Retama raetam*, *Salsola vermiculata*, *Schismus barbatus* (L).

- la dominance des espèces psammophytes telles que *Thymelea microphylla*, avec la présence d'autres espèces annuelles *Plantago albicans* L., *Schismus barbatus* (L) Thell, et pérennes telles que : *Retama raetam*, indique que ce milieu a subi une érosion éolienne intense.

S'ajoute à cela la présence d'autres espèces indicatrices de dégradation telles que *Peganum harmala* L., *Atractylis serratuloides* Sieber.,

Par ailleurs, la présence des espèces typiquement steppiques, telles que : *Stipa tenacissima* L., *Stipa parviflora* Desf., confirme que ce groupement a été dominé anciennement par une très belle steppe d'alfa (*Stipa tenacissima*), comme l'indiquent les différents travaux de recherches et documents réalisés sur les hautes plaines steppiques.

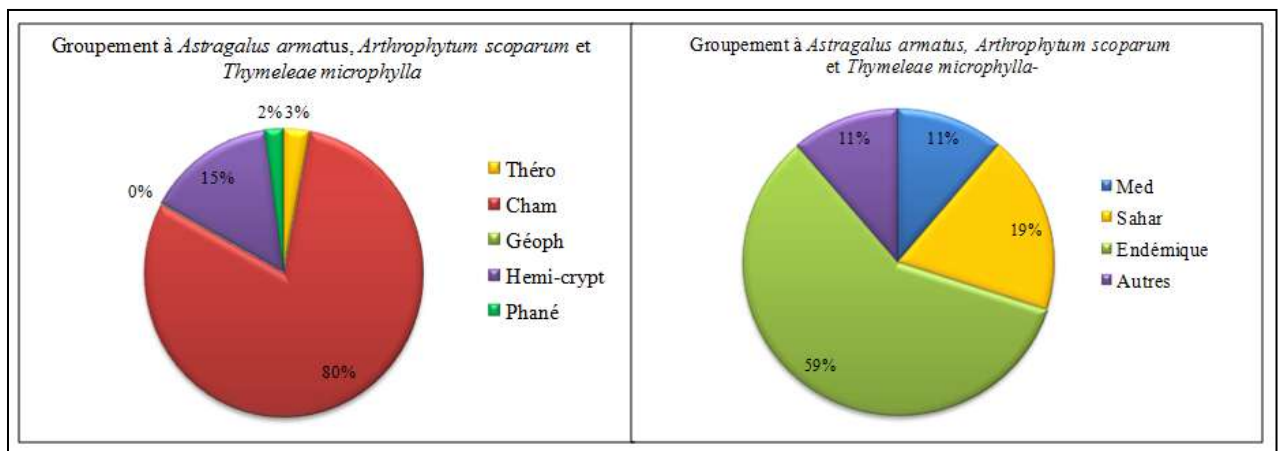


Figure 44: Spectre biologique et phytogéographique du groupement à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymeleae microphylla*.

Le spectre biologique de ce groupement végétal présaharien de dégradation (Figure 44) se caractérise par le schéma suivant : Ch > He > Th > Ph > Géó; ce qui fait des chamaephytes la forme biologique qui domine largement les autres formes biologiques avec 80%, suivie par les hemicryptophytes avec 15%, alors que les autres formes biologiques prennent les taux les plus faibles.

Dans le spectre biogéographique (Figure 44) qui suit le schéma suivant : Endémique > Saharien Med > >Autres. L'élément le plus important et celui qui représente les taxons endémiques sahariens, avec un taux de l'ordre de 59%, suivis par la flore saharienne avec un taux de l'ordre de 19%, tandis que l'élément phytogéographique méditerranéen occupe la troisième position avec un taux de l'ordre de 11%, suivi par les autres éléments biogéographiques, ce qui montre bien le changement radical du schéma phytogéographique dans ce groupement végétal.



Figure 45: Formation présaharienne à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymeleae microphylla*. (Messàad-Djefa)



Figure 46: Formation présaharienne dégradée à (Messàad-Djelfa)

16.4. Variation de la Phytodiversité globale de notre zone d'étude

Les différentes formations végétales de notre zone d'étude sont disposées selon un gradient bioclimatique, lié à un gradient altitudinal et latitudinal, d'une aridité croissante du Nord (région forestière du Djellal) avec un bioclimat semi-aride vers la région présaharienne de Messàad, en passant par un bioclimat aride (la région d'Ain El Ible).

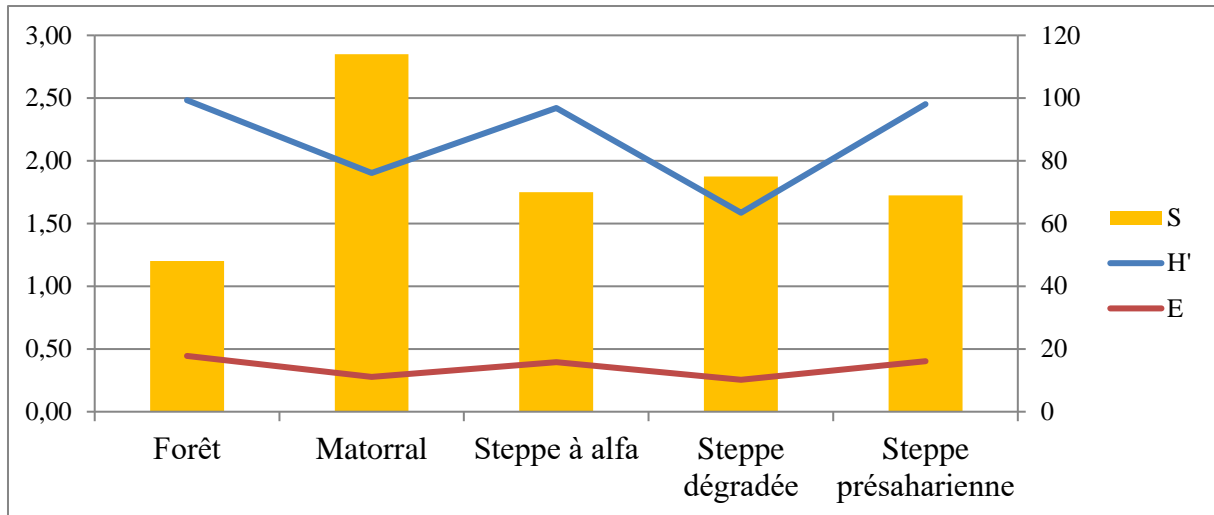


Figure 47: l'influence de l'aridité sur la biodiversité dans notre zone d'étude

La Figure 47 montre l'évolution de la diversité floristique des formations végétales de notre zone d'étude, exprimée par les trois paramètres de la biodiversité : la richesse floristique (S), l'indice de Shannon (H') et l'équitabilité de Pielou (E).

L'analyse de la figure ci-dessus (Figure 47) montre que la richesse floristique est plus importante dans la formation subforestière (Matorral) avec 114 espèces, par rapport à la formation forestière avec 48 espèces, suivie par les différentes formations steppiques.

Ceci pourrait être expliqué par l'ouverture de la formation préforestière, ce qui explique son enrichissement par des espèces steppiques, en plus de leurs essences forestières.

En ce qui concerne l'indice de Shannon (H') et l'indice d'équitabilité de Pielou (E), les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans la formation Forestière avec $H' = 2,48$ et $E = 0,44$ suivie par les formations steppiques comme suit :

Steppe présaharienne avec : $H' = 2,45$ $E = 0,40$, steppe à alfa avec $H' = 2,42$ $E = 0,39$, tandis que les formations steppiques de dégradation ont pris les valeurs les plus faibles avec : $H' = 1,59$ $E = 0,25$.

Ce qui fait que l'évolution des trois paramètres de biodiversité ne semblent pas bien corrélés avec l'aridité climatique croissante du Nord vers le Sud, d'une part et d'autre part, l'influence de l'anthropisation sur la biodiversité s'avère être plus importante que l'aridité climatique dans notre zone d'étude (Taibaoui *et al.*, 2020).

16.5. La Phytodiversité globale

16.5.1. La richesse en famille botanique

nous avons enregistré dans notre étude (Figure 48) : 170 taxons appartenant à 34 familles avec l'identification de 111, ce qui représente 3,95 % de la flore totale algérienne estimée à 4300 espèces (Dobignard & Châtelain, 2010 – 2013, Benaïssa *et al.*, 2018).

Selon la figure 28, les familles les plus représentées dans notre zone d'étude sont : Asteraceae avec 41 espèces (23,56 %), Poaceae avec 20 espèces (11,49 %), Fabaceae avec 17 espèces (9,77 %), Brassicaceae avec 13 espèces (7,47 %) et Cistaceae avec 9 espèces (5,17 %).

Ces familles représentent à elles seules 59 % des espèces inventoriées.

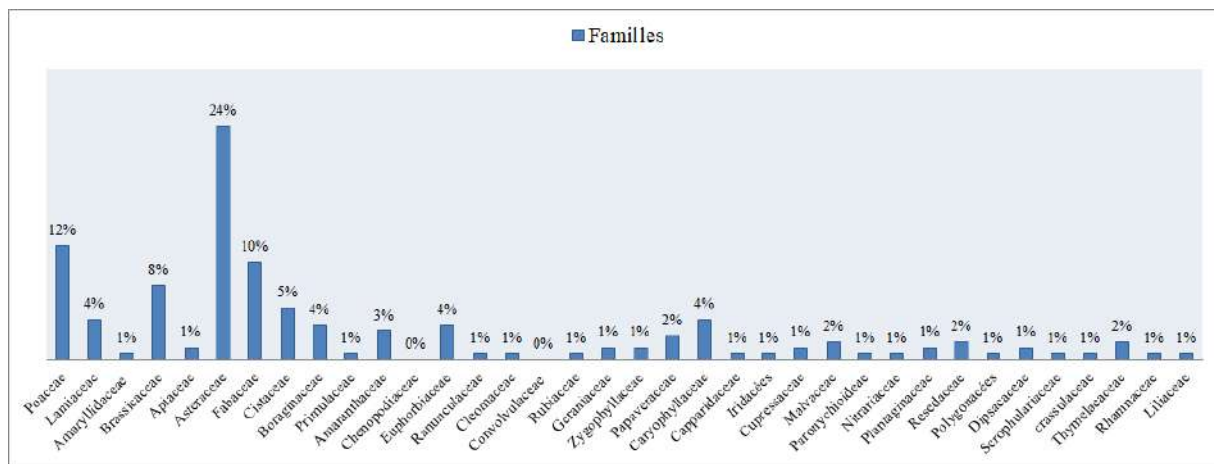


Figure 48 : La richesse en famille botanique globale dans notre zone d'étude

16.5.2. Types biogéographiques et phytogéographiques globale de notre zone d'étude

La figure 49 montre que le spectre brut des types biologiques globaux de notre région d'étude se caractérise par le schéma suivant : Th > He > Géo > Ph > Géo. Ceci montre bien la dominance des thérophytes avec 85 taxa soit 50 %, suivies par les hemicryptophytes avec 44 taxons soit 26 %. En troisième position, viennent les chamaephytes avec les 29 espèces, soit 17 %.

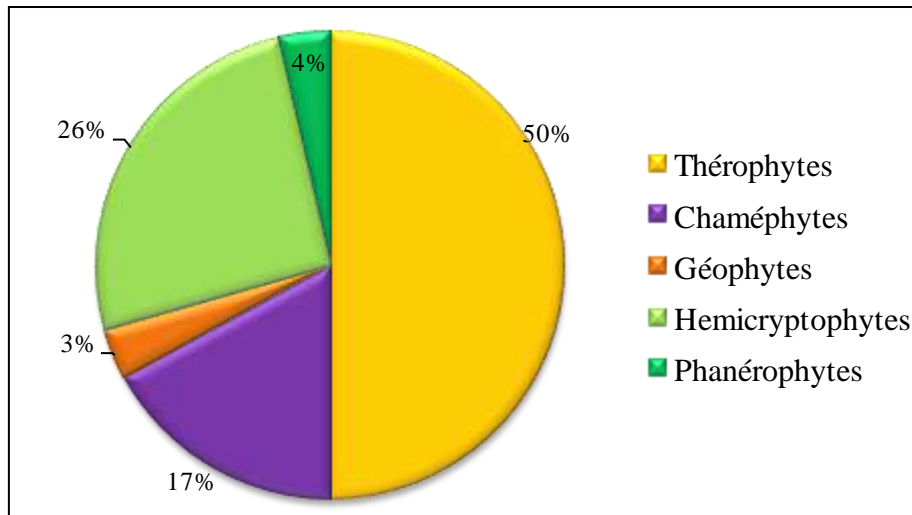


Figure 49: Spectre biologique globale

Ces trois types biologiques (Thérophytes, Hemicryptophytes, Chamaephytes) totalisent à eux seuls presque la quasi-totalité des espèces de notre zone d'étude avec 93% par rapport aux autres formes de vie qui cumulent tous un taux de l'ordre de 07%.

Le premier constat qui concerne du spectre biologique global brut est la dominance du phénomène de la thérophytes accompagnée par raréfaction des ligneux. Plusieurs auteurs s'accordent pour dire que la thérophytisation est une forme de résistance aux rigueurs climatiques (Quezel, 1956; Daget et Poissonet, 1964). Kadi-Hanifi, (2003). Barbéro et *al.* (1990) ont constaté que l'anthropisation et le pâturage enrichissent le sol en nitrates et favorisent l'installation des espèces rudérales. Dans notre cas, les thérophytes (Th) présentent le taux le plus élevé avec 49,66 % et les espèces les plus abondantes sont: *Plantago afra*, *Erodium hirtum*, *Micropus bombycinus*, *Senecio vulgaris*, *Evax argentea*, *Bromus rubens*, *Aegilops triuncialis*, *Eryngium campestre*.

Nous assistons à une thérophytisation à cause de l'aridité du climat d'une part et l'anthropisation d'autre part (Négre, 1966, Daget, 1980 ; Dahmani, 1996).

- Le spectre biogéographique brut : des espèces recensées (Figure 50) suit le schéma suivant :

Med > Endémique > Saharo-Méditerranéen = Saharo-Sindien= Ibéro- Maurétanien>Eurasien = Paléotempère> Eu- Méditerranéen> Oro- Méditerranéen> Cosmopolite.

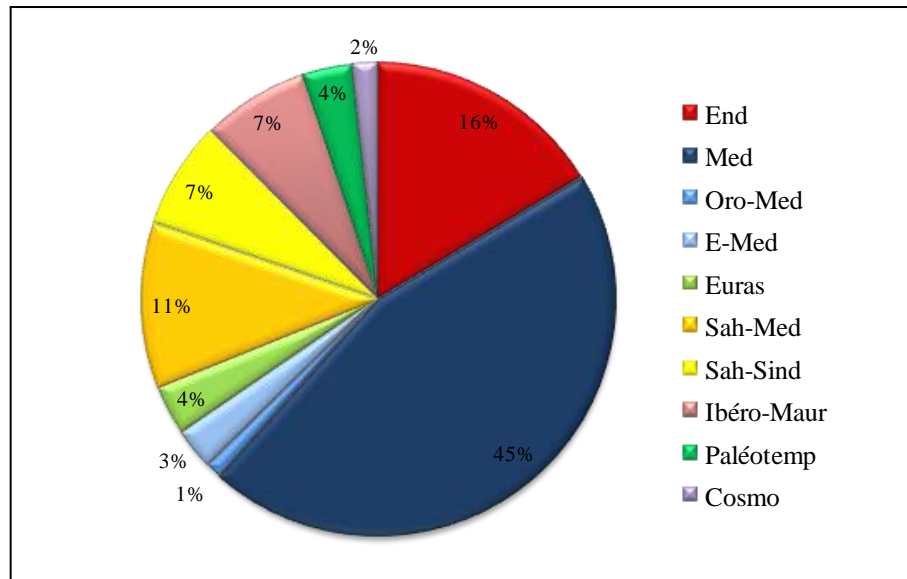


Figure 50: spectre phytogéographique globale

Il indique la prédominance de l'élément méditerranéen avec 80 espèces, ce qui représente 47 % de l'ensemble de la flore recensée.

Nous avons enregistré 27 espèces endémiques, soit 16 % dont 16 espèces le sont d'Afrique du Nord ; parmi celles-ci citons entre autres: *Pinus halepensis*, *Cistus libanotis*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Jurinea humilis*, *Helianthemum virgatum*, *Thymelaea tartonraria*, *Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris*, *Plantago albicans*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, *Ziziphus lotus*.

Les ensembles floristiques sahariens : Saharo-Méditerranéen , Saharo-Sindien, sont représentés par 3 espèces (25,56 %), dont 12 taxons sont ibéro-mauritanien. Pour ce type, nous citons à titre d'exemple : *Arthrophytum scoparium*, *Aristida pungens*, *Argyrolobium uniflorum*, *Atractylis serratuloides*, *Globularia alypum*, *Asteriscus pygmaeus*, *Cleome arabica*, *Salsola vermiculata*,

Herniaria fontanesii, *Launaea acanthoclada*, *Stipa tenacissima*...

On dénombre 27 espèces endémiques (16 %), dont la majorité est nord-africaine (16 espèces) telles que : *Ammoides atlantica*, *Anacyclus cyrtolepidioides*, *Arnebia decumbens*, *Astragalus armatus*, *Atractylis phaeolepis*, *Atractylis polycephala*, *Ceratocephalus falcatus*, *Echium trygorrhizum*, *Fagonia microphylla*, *Genista microcephala*, *Polycnemum fontanesii*, *Rosmarinus tournefortii*, *Thymelaea virgata* et *Thymus ciliatus*. Enfin, l'ensemble géographique septentrional compte 11 taxons (5 %). Les espèces eurasiatiques sont représentées par 7 espèces telles que : *Alyssum granatense*, *Androsace maxima*, *Genista cinerea*, *Micropus bombycinus*, *Poa bulbosa*, *Salvia verbenaca*.

16.6. La Rareté

Le degré de rareté des ensembles floristiques de notre zone d'étude (Figure 51), selon Taibaoui et al. (2020), se répartit comme suit :

- 34 espèces rares, soit 33 % de l'ensemble telles que : *Alyssum scutigerum*, *Anacyclus cyrtolepidioides*, *Moricandia arvensis* ;
- 56 espèces communes (28 %) telles que : *Allium cupani*, *Arnebia decumbens*, *Artemisia herba -alba* ;

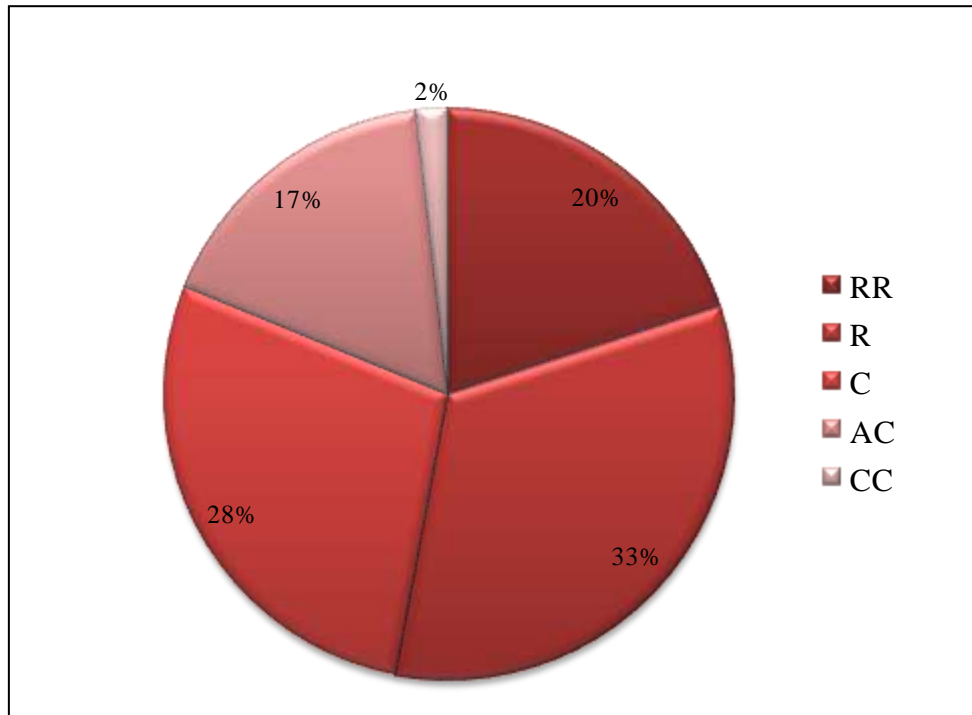


Figure 51: Fréquences des espèces recensées.

- 48 espèces très rares (20 %) telles que : *Alyssum alpestre*, *Ammoides atlantica*, *Euphorbia bupleuroides* ;
- 29 espèces assez communes (17 %) telles que: *Arthrophytum scoparium*, *Astragalus armatus*,
Pinus halepensis, *Atractylis serratuloides* ;
- 3 espèces très communes (2 %) : *Juniperus phoenicea*, *Stipa parviflora*, *Stipa tenacissima*.

16.7. Discussion

L'application des deux approches statistiques multivariées, NSCA et celle de l'AFC, sur la végétation de notre zone d'étude a permis de donner les constats suivants :

Les deux approches utilisées peuvent être complémentaires, et ont donné des résultats presque similaires d'un point de vue globale, alors qu'en détail, il y'aurait certaines nuances surtout en ce qui concerne l'individualisation des groupements végétaux, issus les uns des autres, tels que les groupements préforestiers, steppiques et steppiques de dégradation concernant notre étude. Dans la représentation globale du spectre brut de différentes formes biologiques, on a noté la dominance des thérophytes par rapport aux autres types biologiques. Cela s'explique d'abord par le fait que notre zone steppique a subi une pression importante surtout de nature anthropique (défrichements, surpâturage.), ce qui a permis aux annuelles (thérophytes), de dominer les différentes formations végétales aux détriments des espèces pérennes ligneuses.

Dans la représentation globale du spectre brute phytogéographique, on a enregistré la prédominance de l'élément méditerranéen, suivi par l'élément saharien, puis l'élément qui représente les espèces endémiques, et les autres éléments sont représentés généralement avec des taux faibles.

Cela s'explique d'abord, selon Barry et Celle (1974), par le fait que notre région floristique appartient à la région méditerranéenne, domaine magrébin steppique, secteur de l'Atlas Saharien, sous-secteur Algérois.

Le taux plus ou moins élevé de l'élément saharien dans notre zone d'étude, surtout dans les formations steppiques présahariennes, est lié essentiellement au facteur aridification du climat en premier lieu et en second lieu à l'action perturbatrice du facteur anthropique sur les écosystèmes steppiques de notre zone d'étude.

Dans la représentation des spectres phytogéographiques réels de différents groupements végétaux, on a mis l'accent sur les trois éléments principaux : l'élément Méditerranéen, l'élément saharien et l'élément qui concerne l'endémisme.

L'analyse phytogéographique de différents spectres biogéographiques réels des groupements végétaux, donne les conclusions suivantes :

- Avec la dégradation des formations végétales, En allant du Nord vers le Sud, de groupements des formations forestières vers les groupements de formations postes forestières (steppiques), on a noté la diminution de l'élément biogéographique méditerranéen au profit de l'élément saharien, mais il reste toujours la dominance de l'élément méditerranéen.

tels que les groupements végétaux dominés par l'*Arthrophytum scoparium*, *Astragalus armatus*, *Thymeleae microphylla* ect.

- En ce qui concerne l'analyse de nos différents spectres biologiques réels, on a remarqué que :

- la dégradation de formations forestières, et préforestières: provoque la diminution des taux des phanérophytes aux profits de l'extension des taux des herbacées et des thérophytes. C'est ce qu'on appelle le phénomène de matorralisation et dématorralisation, et ceci peut s'accroître jusqu'à la disparition totale de cette formation végétale, en laissant la place aux formations steppiques plus dégradées et dominées par des espèces herbacées et ou annuelles au détriment des pérennes (cas des formations poste forestières). A titre d'exemples : steppe à *Stipa tenacissima* et ses faciès de dégradation, c'est ce qu'on appelle le phénomène de steppisation. La dégradation des formations steppiques et steppiques présahariennes provoque la dominance des chamaephytes et des taux des thérophytes au détriment des hémicryptophytes, c'est ce qu'on appelle les phénomènes de thérophytisation et chamaephytisation.

Par ailleurs, la poursuite de cette dégradation (du phénomène steppisation) mène inévitablement à l'extension du phénomène de désertisation au sens de Le Houerou (1968) qui l'a défini comme « l'extension de paysages désertiques nouveaux à des zones où ils n'existaient pas dans le passé récent ». Ces paysages désertiques sont caractérisés par des formes de terrain particulières : des regs, des hamadas, des dunes et des voiles éoliens.

Notre zone d'étude souffre donc d'une dégradation généralisée depuis déjà de longues années (Djebaili, 1984 ; URBT, 1987 ; Melzi ; 1986 ; 1993), et ce pour toutes les formations végétales, suite à l'extension du phénomène de désertification de façon dramatique et continue (Le Houerou, 1993, Aidoud et *al*, 2006).

L'analyse de la diversité floristique par l'utilisation de différents indices de biodiversité (la richesse totale des espèces (S), Shannon Weaver (H'), l'indice de piéou (E)) a montré que :

- Généralement le niveau de complexité de nos écosystèmes sont moyens dans les formations forestières à faibles dans les formations steppiques de dégradation.
- La richesse floristique ne suit pas toujours l'évolution de l'indice de Shannon Weaver (H') et la régularité (E), alors que ces trois paramètres ne semblent pas être bien corrélés avec l'aridité. Il est à remarquer que ces deux derniers paramètres ont enregistré les valeurs les plus faibles dans le groupement de steppe dégradée.

17. Caractérisation géomorphologique de la zone d'étude

A travers l'exploitation des données SRTM DEM (30 m résolution) téléchargés directement via le serveur de l'USGS Earth, et par le biais d'utilisation de différents logiciels SIG utilisés, tels que L'Arc Gis, nous avons établi les différentes cartes thématiques liées aux facteurs de la géomorphologie de notre zone d'étude à savoir : la carte des pentes, d'expositions ainsi que la mise en place du modèle numérique de terrain (MNT).

17.1. Carte des altitudes

Selon la figure 52, les altitudes de notre zone d'étude varient entre moins 700m dans les Sud-Est, jusqu' au presque 1500m dans la partie Nord-Ouest, de notre zone d'étude.

En analysant cette carte, selon les gradients de couleur, la couleur marron foncé représente la zone qui a l'altitude la plus importante (1489m), la couleur bleu foncé représente les zones d'altitude la plus basse (moins de 700m) et la couleur verte représente la zone intermédiaire.

Ce qui fait que notre zone d'étude se subdivise en 03 zones d'altitudes différentes : La partie nord en couleur Marron, la partie centre avec la couleur verte et la partie sud qui est dominé par la couleur bleu.

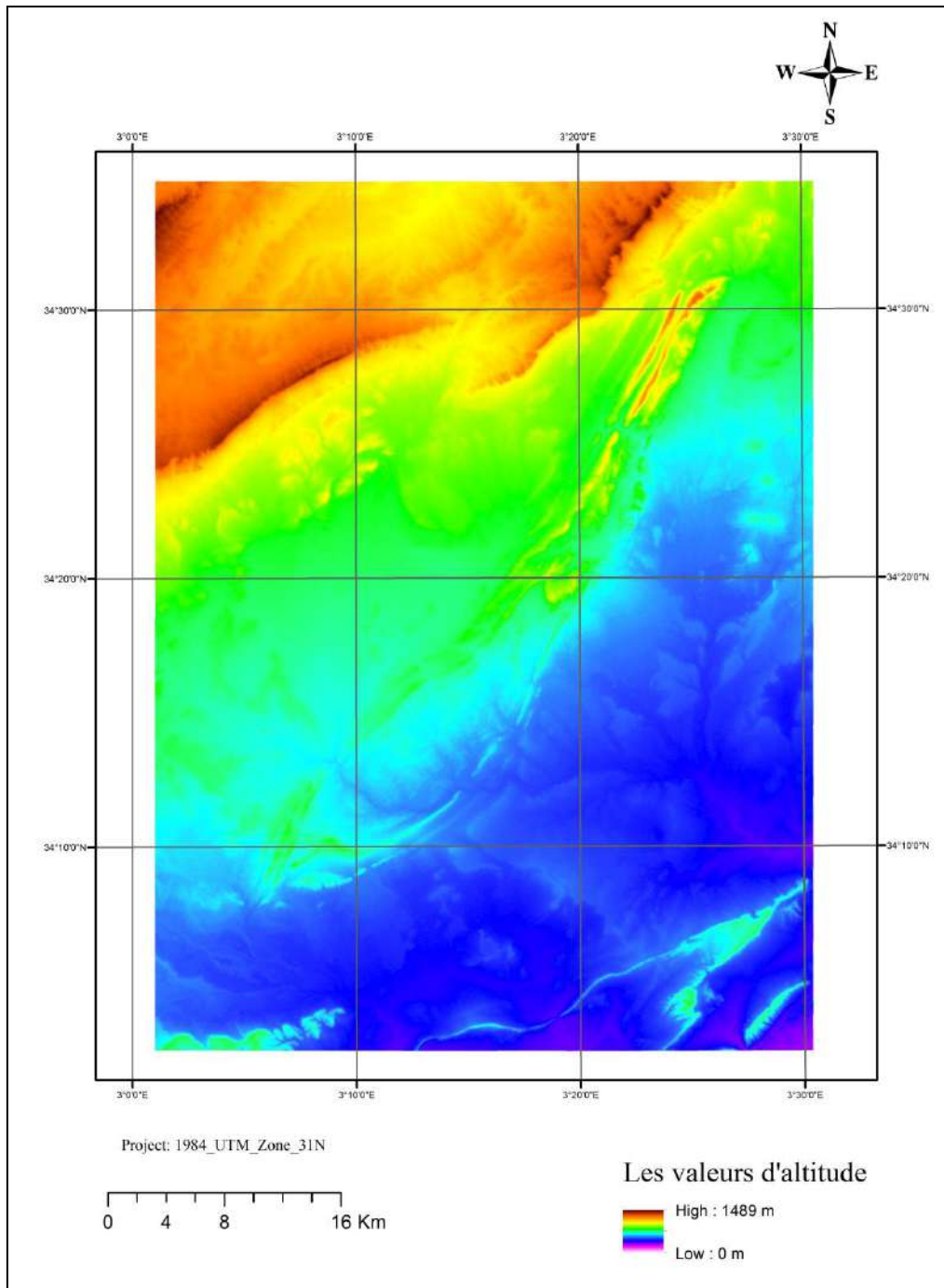


Figure 52 : Carte des altitudes de notre zone d'étude

17.2. Les différentes zones phytoécologiques

A partir de la carte d'altitude (Figure 53) et selon les études de Pouget et *al.* (1977), nous avons établi la carte des zones écologiques (figure 48) qui subdivise notre zone d'étude en quatre zones phyto-climatiques potentiellement différentes ce qui donne par conséquent, quatre zones phyto-écologiquement distinctes les unes des autres avec des superficies différentes (Figure 54) et qui sont comme suit :

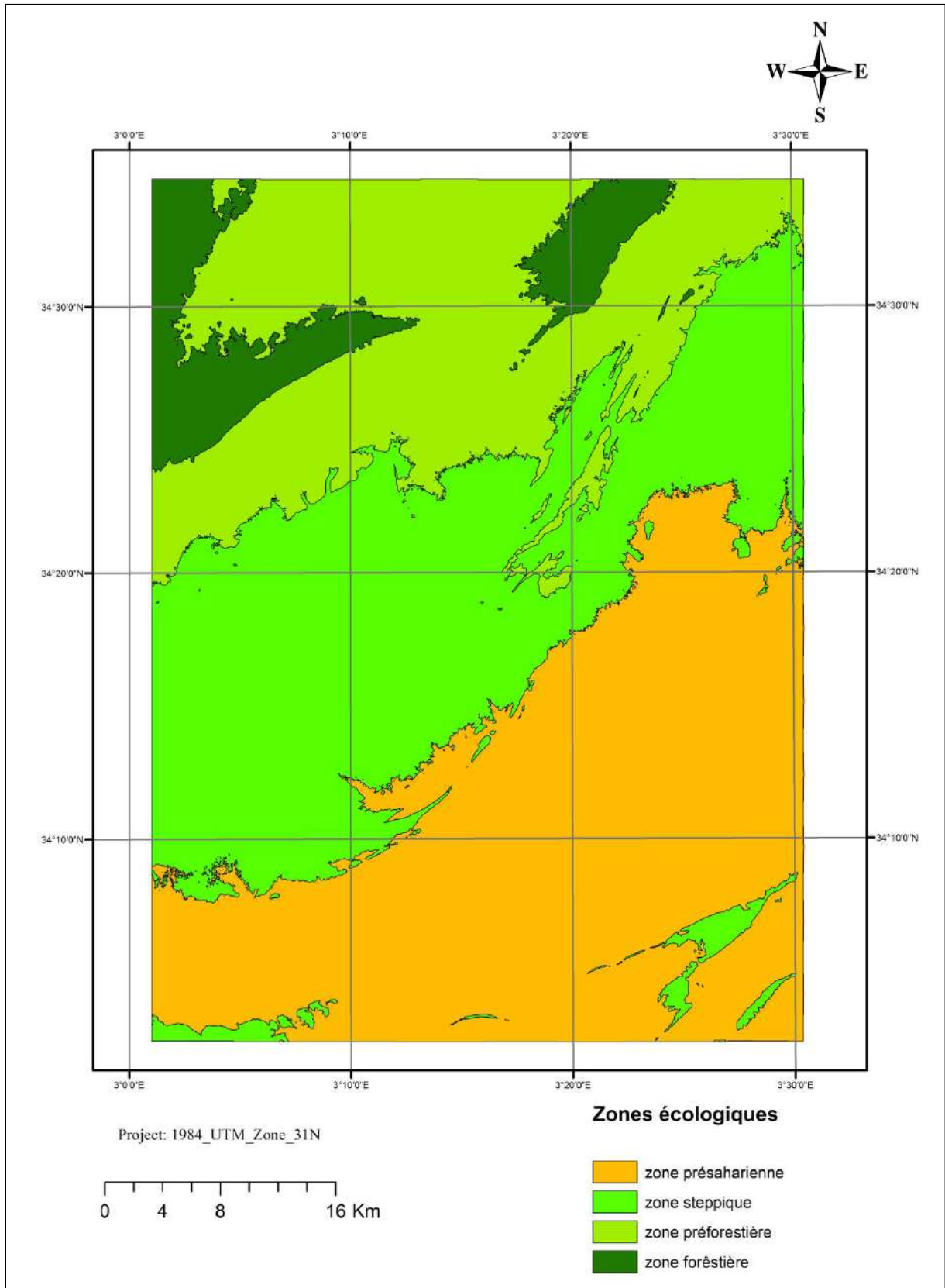


Figure 53 : Carte des zones écologiques de notre zone d'étude

Selon la figure 53 et la figure 54, la zone à vocations forestière d'altitude supérieure à 1100 m se situe au Nord-Ouest et représente 29,58% de la superficie totale de notre zone d'étude, elle se subdivise en deux zones :

- **la zone forestière** à altitudes supérieures à 1300m, qui couvre une superficie de 17602,72 ha soit 6,48% de notre zone d'étude. Elle se situe dans la partie Nord-Ouest de notre zone d'étude, et occupe la partie anticlinale (chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien) représentée par :
 - Les deux Djellal Chergui et Gharbi et une partie de la forêt Touhrssane de la forêt de Sénalba de Djelfa
- **la zone préforestière** d'altitude entre 1100m et 1300m couvre une superficie de l'ordre 62789,52 ha soit 23,10% ; elle occupe l'anticlinale de la région précédente.
- **la zone steppique** : avec une altitude entre 900 et 1100m, elle couvre une superficie de 9058,91 ha soit 33,13%. Elle occupe la partie centrale de la zone d'étude qui représente le vaste anticlinal du Djebel Zerga-Tafara et la partie nord-ouest de Djebel de Tafara de la région d'Ain El Ible.
- **la zone présaharienne** : avec une altitude inférieure à 900 m et couvre la superficie la plus importante avec 99822,98 ha soit 36,73% de notre zone d'étude. Elle se situe vers le sud est dans la cuvette de la région de Messaïd.

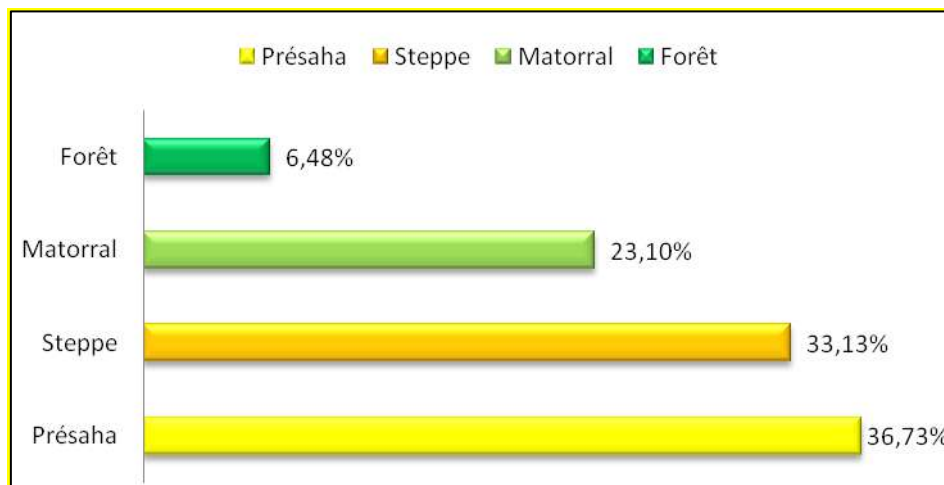


Figure 54 : Répartition des superficies sur les différentes zones écologiques

17.3. La carte de pentes

La répartition des superficies sur les différentes classes de pentes (figure 55), établies sur la base de la carte de classes de pentes de notre zone d'étude (Figure 56), montre bien que :

- la quasi-totalité de la zone d'étude sont des glacis avec une pente presque nulle, ou faiblement inclinée, inférieures à 08°. Ces glacis couvrent une superficie de l'ordre de 249005,66 ha, soit 91%, et sont localisés, pour la plupart, dans le centre et le sud de la zone d'étude.

Elles se répartissent comme suit :

- les terrains presque plats, avec une pente inférieure à 02°, représentent 33,02% et couvrent une superficie de l'ordre de 89563,97 ha ;

- les terrains faiblement inclinés, pente inférieure à 08 %, couvrent une superficie de l'ordre de 159441,70 ha.

- La deuxième catégorie est celle où la pente est moyennement inclinée entre 08° et 30°, et ne représente que 07,73%, soit une superficie de l'ordre de 20970,22 ha.

- Les terrains abrupts des falaises, pentes supérieures à 30%, ne représentent que 0,45% soit une superficie de l'ordre de 1228,561243 ha.

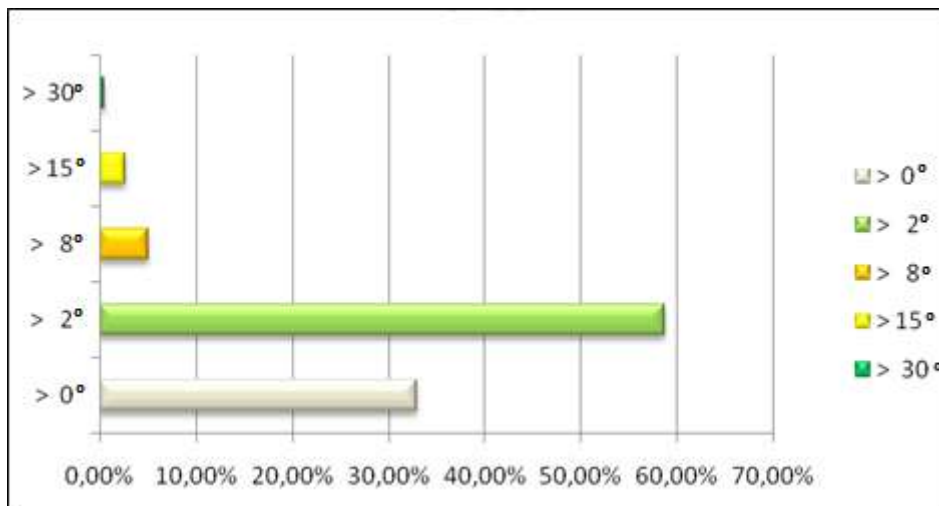


Figure 55 : répartition de superficies sur les différentes classes de pentes

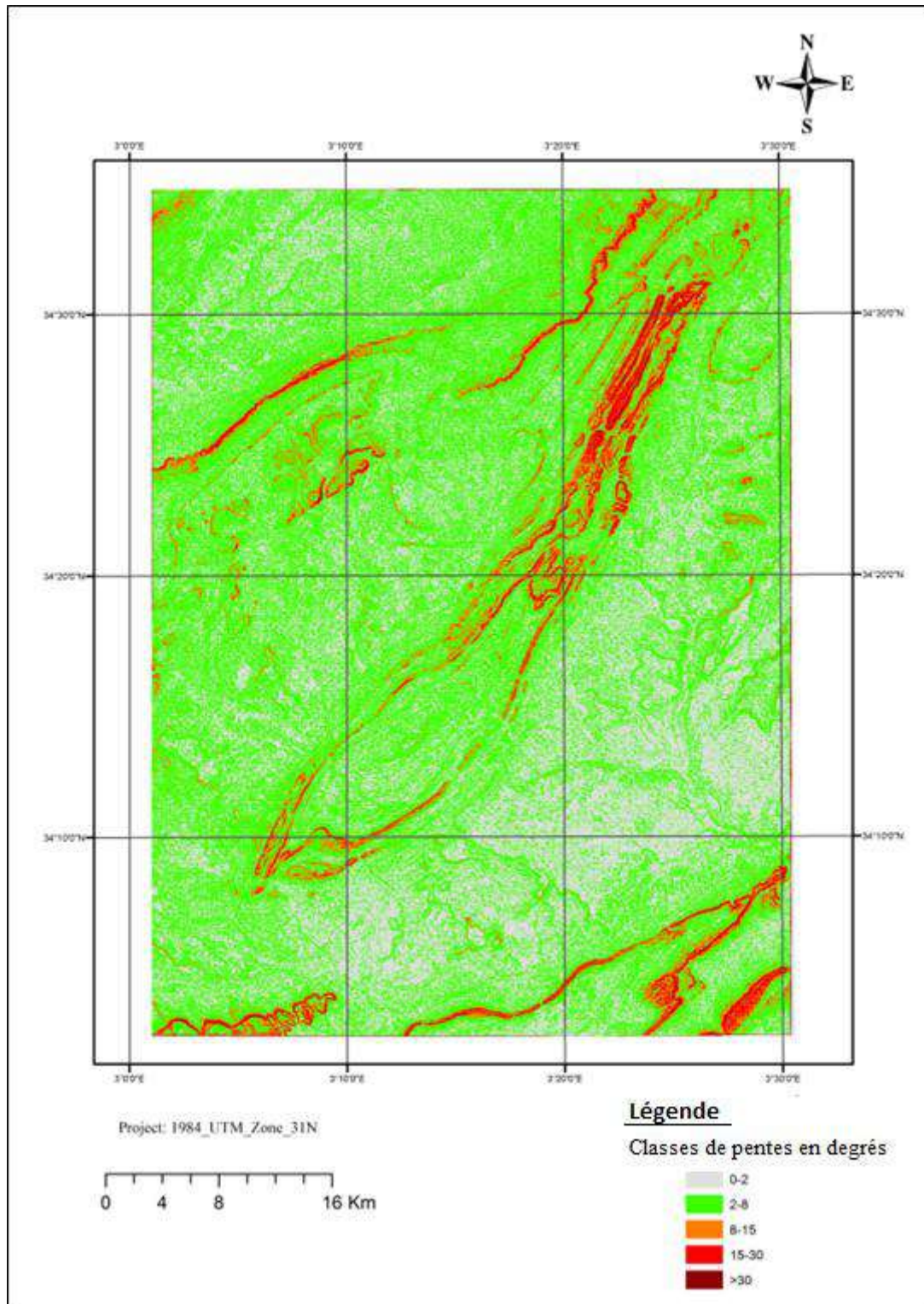


Figure 56 : Carte de classes de pentes de notre zone d'étude

17.4. La carte d'expositions

Selon les figures 57 et 58, les expositions dominantes sont :

L'exposition sud avec 29,25%, soit une superficie de l'ordre de 79330,60 ha, suivie par l'exposition est avec un taux de l'ordre de 27,57%, soit une superficie de l'ordre de 74782,10 ha, les deux expositions représentent 56,83%, ce qui les place en position dominante par rapports aux autres expositions qui pourraient être utiles d'un point de vue humidité.

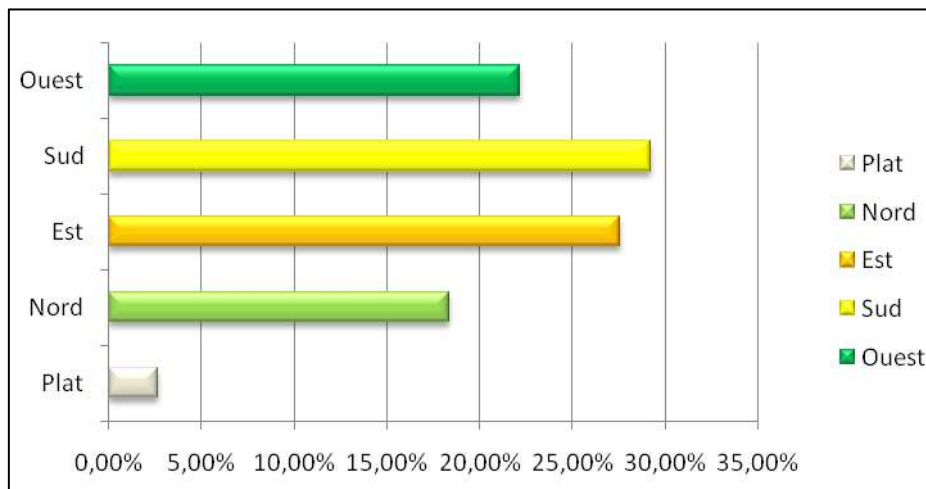


Figure 57 : Répartition des superficies sur les différentes expositions

Les expositions Sud et Est sont exposées aux vents desséchants (le sirocco), par contre les expositions des vents humides, du nord et nord-ouest sont représentées avec 18,34% soit une superficie de l'ordre de 49735,649633 ha et l'exposition Ouest est représentée par 22,18%, soit une superficie de l'ordre de 60152,564815ha.

Ce qui fait que notre zone d'étude est exposée beaucoup plus aux vents desséchants, qu'aux vents humides, ce qui aggrave beaucoup plus la situation écologique de la biodiversité de notre zone d'étude.

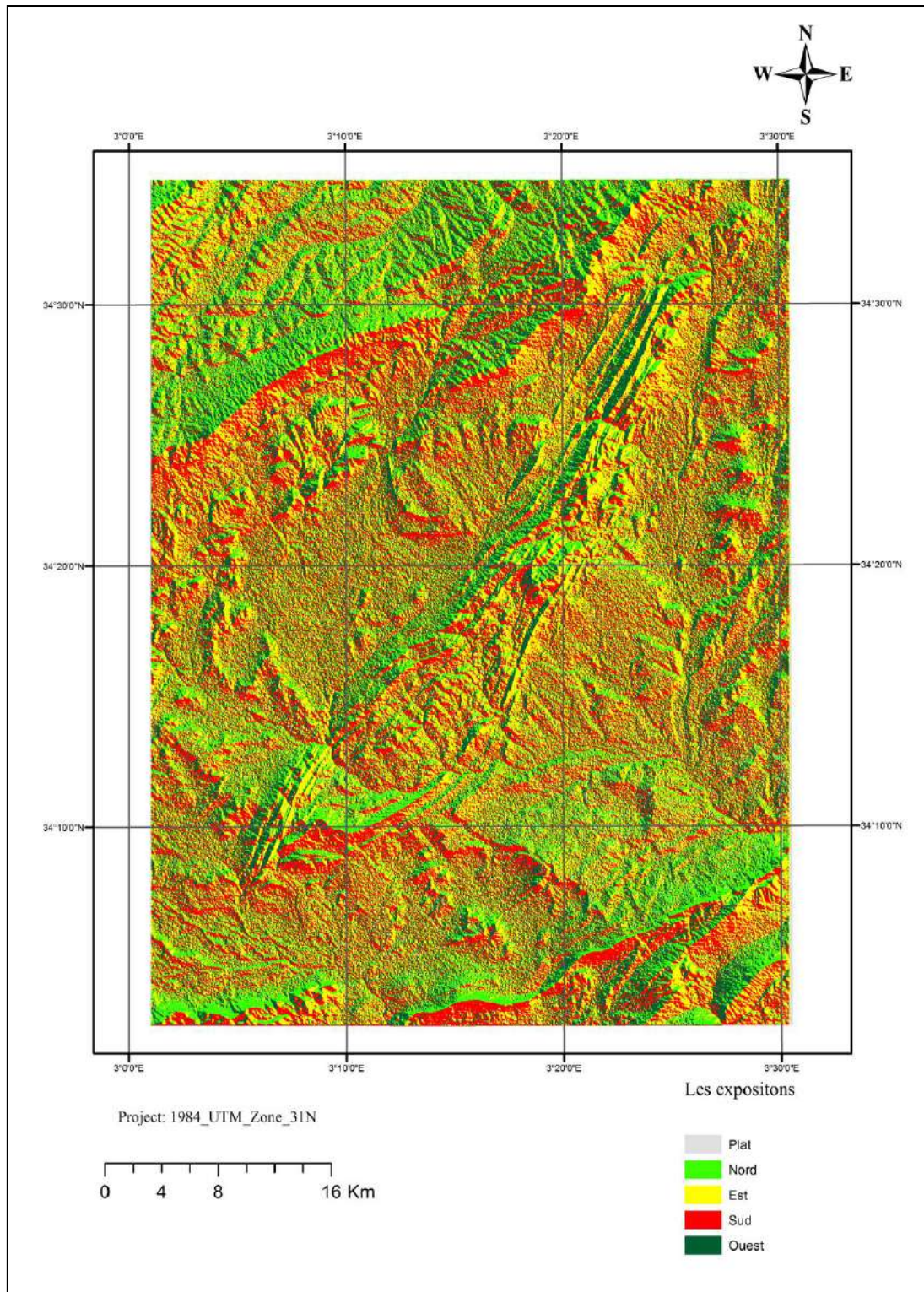


Figure 58 : Carte d'expositions de notre zone d'étude

18. Etude statistique sur les images utilisées

Après les travaux de prétraitement appliqués sur les différentes images satellitaires, nous avons procédé à une étude statistique par des tests de corrélation pour éviter les redondances, en vue de sélectionner les bandes qui donnent au mieux la représentation la plus pertinentes de différentes unités d'occupation de sols de notre zone d'étude.

En vertu de différentes fonctionnalités de logiciel ENVI, nous avons obtenu les données statistiques pour chaque image insérée dans les différents tableaux ci-dessus, et qui donnent les données statistiques des bandes de différentes scènes utilisées.

18.1. Analyse statistique de l'image TM 1987

L'analyse de la figure 59, montre les variations des histogrammes de chaque bande de l'image 1987. Notre analyse concerne les quatre premières bandes qui intéressent l'étude du couvert végétal. La simple analyse montre un chevauchement dans la réflectance de différentes bandes utilisées, ce qui traduit une forte corrélation entre les différentes bandes.

Selon le tableau n° 13, les valeurs maximales de la réflectance varient de 0, 6296 à 0, 3117, tandis que les valeurs minimales oscillent entre 0, 0546 et 0,0804, ce qui fait que les valeurs moyennes varient entre 0,3524 et 0,1527 ; Tandis que Les 'écarts type sont des valeurs entre 0, 017 et 0, 0523.

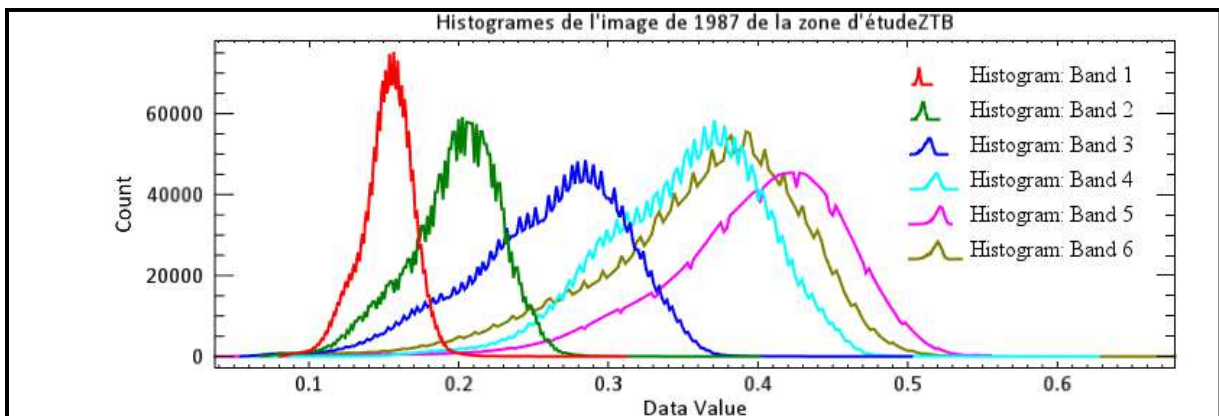


Figure 59 : Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude

Tableau 13: Analyse statistique de l'image 1987

Bande	Min	Max	Moyen	Ecart type
Band 1	0,0804	0,3117	0,1527	0,017
Band 2	0,068	0,4014	0,1974	0,0312
Band 3	0,0546	0,5025	0,2608	0,0515
Band 4	0,0559	0,6296	0,3524	0,0523

Le test de corrélation (tableau 14) varie entre 0,81 et 0,97, ce qui montre la forte corrélation qui a pour conséquence une redondance importante des différentes bandes dans leurs réflectance spectrales.

Tableau 14: Corrélation entre les données multi-spectrales de l'image TM 1987

Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	1			
Band 2	0,97	1		
Band 3	0,92	0,98	1	
Band 4	0,81	0,89	0,92	1

18.2. Analyse statistique de l'image ETM 2001

Les analyses des histogrammes des quatre premières bandes (figure 60) de l'image 2001 sont insérées dans le tableau n° 15, ce qui montre que:

Les valeurs maximales de la réflectance varient entre 0,5 à 0,7936, tandis que les valeurs minimales oscillent entre 0,0619 et 0,0945, ce qui fait que Les valeurs moyennes varient entre 0,1672 et 0,3702. Concernant les écarts types, les valeurs sont comprises entre 0,0154 et 0,0448.

Tableau 15: Analyse statistique de l'image 2001

Bande	Min	Max	Moyen	Ecart type
Band 1	0,0906	0,5	0,1672	0,0154
Band 2	0,0722	0,5722	0,2059	0,0259
Band 3	0,0619	0,6235	0,2868	0,0448
Band 4	0,0945	0,7936	0,3702	0,0482

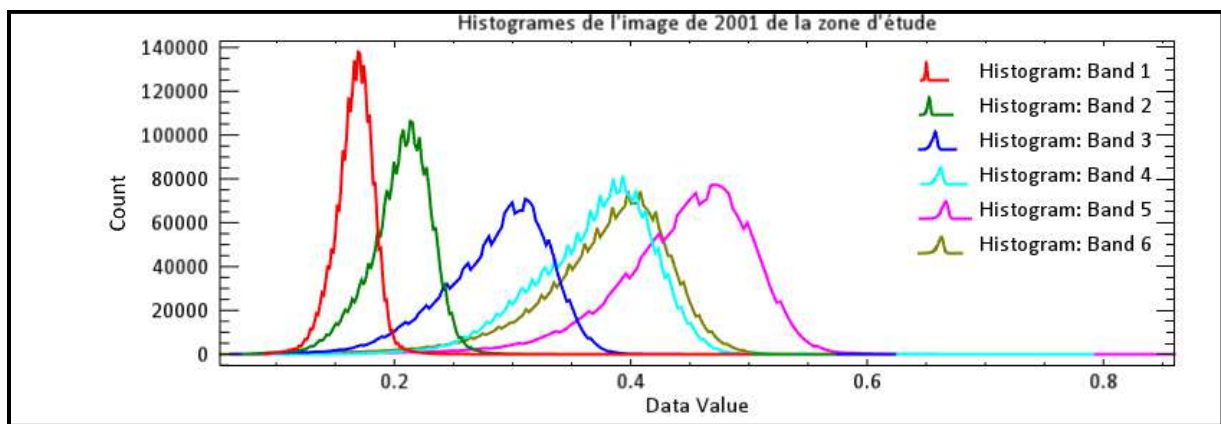


Figure 60 : Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude

Le tableau de corrélation (Tableau n° 16) des bandes spectrales de l'image ETM 2001 montre qu'il y a une forte corrélation entre les différentes bandes spectrales dont les valeurs varient entre 0.77 et 0.96, ce qui montre bien la forte redondance des réponses spectrales, des bandes de l'images 2001.

Tableau 16: Corrélation entre les données multispectrales de l'image ETM 2001

Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	1			
Band 2	0,96	1		
Band 3	0,87	0,96	1	
Band 4	0,77	0,87	0,93	1

18.3. Analyse statistique de l'image TM 2018

L'analyse des histogrammes des quatre bandes concernant le couvert végétal (Figure 61), de l'image OLI 8 -2018 est représentée dans le tableau 17, et montre que:

Les valeurs maximales de la réflectance des bandes analysées oscillent entre 0.6042 à 0,384, tandis que les valeurs minimales varient entre 0.0303 à 0.0672, alors que les valeurs des moyennes varient entre 0.3242 à 0.1368. Les écarts types ont des valeurs comprises entre 0,0208 et 0,0577.

Tableau 17: Analyse statistique de l'image 2018

Bande	Min	Max	Moyen	Ecart type
Band 2	0,0672	0,384	0,1368	0,0208
Band 3	0,0563	0,4305	0,1698	0,0333
Band 4	0,0303	0,4967	0,2408	0,0561
Band 5	0,0519	0,6042	0,3242	0,0577

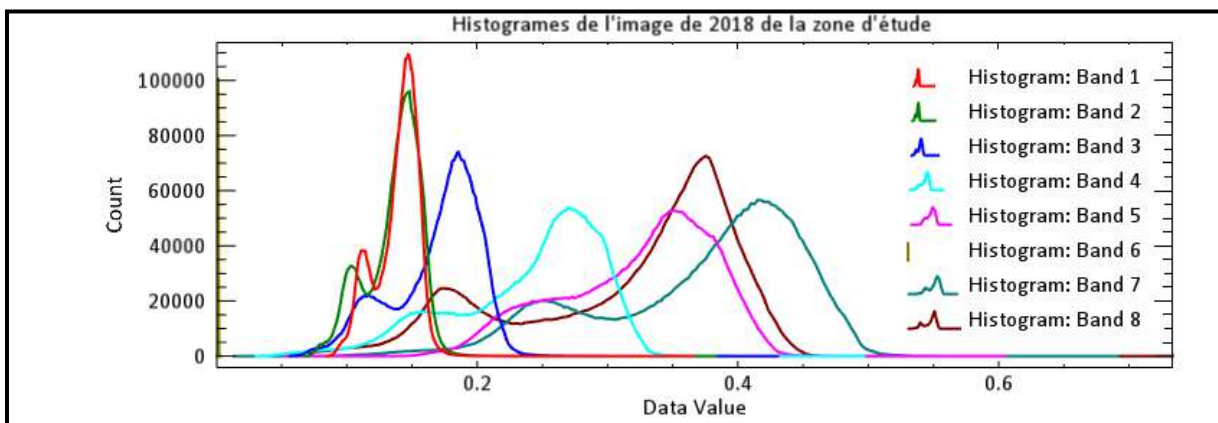


Figure 61 : Histogrammes de l'image de 1987 de la zone d'étude

Le tableau de corrélation (Tableau n° 18) des bandes spectrales de l'image OLI 8 de 2018 montre qu'il y a une forte corrélation entre les différentes bandes spectrales, dont les valeurs oscillent entre 0.83 et 0.99, ce qui montre bien la forte redondance des réponses spectrales des bandes de l'images 2001.

Tableau 18: Corrélation entre les données multispectrales de l'image OLI 8 de 2018

Corrélation	OLI 2	OLI 3	OLI 4	OLI 5
OLI 2	1			
OLI 3	0,99	1		
OLI 4	0,94	0,98	1	
OLI 5	0,83	0,88	0,90	1

Devant la forte corrélation, concernant les réponses multi spectrales des quatre bandes destinées pour l'étude du couvert végétal des trois images choisies et pour l'amélioration des classifications de notre aire d'étude, nous avons procédé à la création des néo-canaux moins corrélés, et ce pour mieux exprimer les différentes unités d'occupation de sols, de notre zone d'étude, ce qui nous a amené à faire les transformations suivantes :

- une transformation ACP des quatre bandes spectrales concernant l'étude de la végétation.
- une transformation pour avoir l'indice de végétation ajusté aux sols : SAVI

19. Résultats des transformations des trois images utilisées

19.1. Transformation ACP

En vertu des fonctionnalités de l'ENVI, nous avons effectué une transformation des quatre bandes multi-spectrales en composantes principales. Le tableau de corrélations de ces 03 principaux néo-canaux montre que pour l'ensemble des images, la majorité de l'information révélée par les trois premiers axes de l'ACP, pour l'ensemble des images (tableau 19).

Tableau 19: Corrélation des trois premiers axes de l'ACP pour l'ensemble des images étudiées

1987			
Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3
Band 1	1,000		
Band 2	0,000	1,000	
Band 3	0,000	0,000	1,000
2001			
Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3
Band 1	1.000000		
Band 2	0.000000	1.000000	
Band 3	-0.000000	-0.000000	1.000000
2018			
Corrélation	Band 1	Band 2	Band 3
Band 1	1.000		
Band 2	0,000	1,000	
Band 3	0,000	0,000	1,000

Selon le tableau n° 19, les résultats de la transformation des bandes des différentes scènes étudiées en composition principale a permis de faire une décorrélation des réponses spectrales des différents axes principaux des ACP (Caloz et Collet, 2001). Cependant, la forte majorité des informations est souvent, cumulée seulement dans les deux premier ACP (Desjardins, 2000, Khader, 2019).

En plus des deux ACP (ACP1 et ACP2), on a utilisé l'indice radiométrique de végétation le SAVI (Soil-AdjustedVegetation Index) comme troisième bande pour l'amélioration de la classification de notre zone d'étude.

Selon Bonn & Rochon (1992), l'utilisation des indices de végétations facilite la distinction entre les différentes unités d'occupation de sols (Forêt, culture ect..).

19.2. Transformation SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)

Cette transformation a été faite en vertu de l'ENVI par l'utilisation de la **réflectance des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR)** mesurés dans les bandes visibles issues des trois images Landsat utilisées : TM1987, ETM 2001 et OLI 8 de 2018.

Nous avons adopté, l'indice de SAVI dérivé de la formulation de l'NDVI qui été utilisé par Huete (1988) pour la première fois, où il a introduit un paramètre comme facteur d'ajustement de sols(L), en vue de minimiser les influences de la luminosité du sol.

Pour cela, nous avons adopté la valeur $L= 0,5$ qui est la plus utilisée dans notre zone d'étude.

Les cartes obtenues ci-dessous (Figure 57, 58, 59) représentent respectivement les indices de végétation SAVI des trois scènes étudiées, de 1987, de 2001 et celle de 2018, de notre zone d'étude

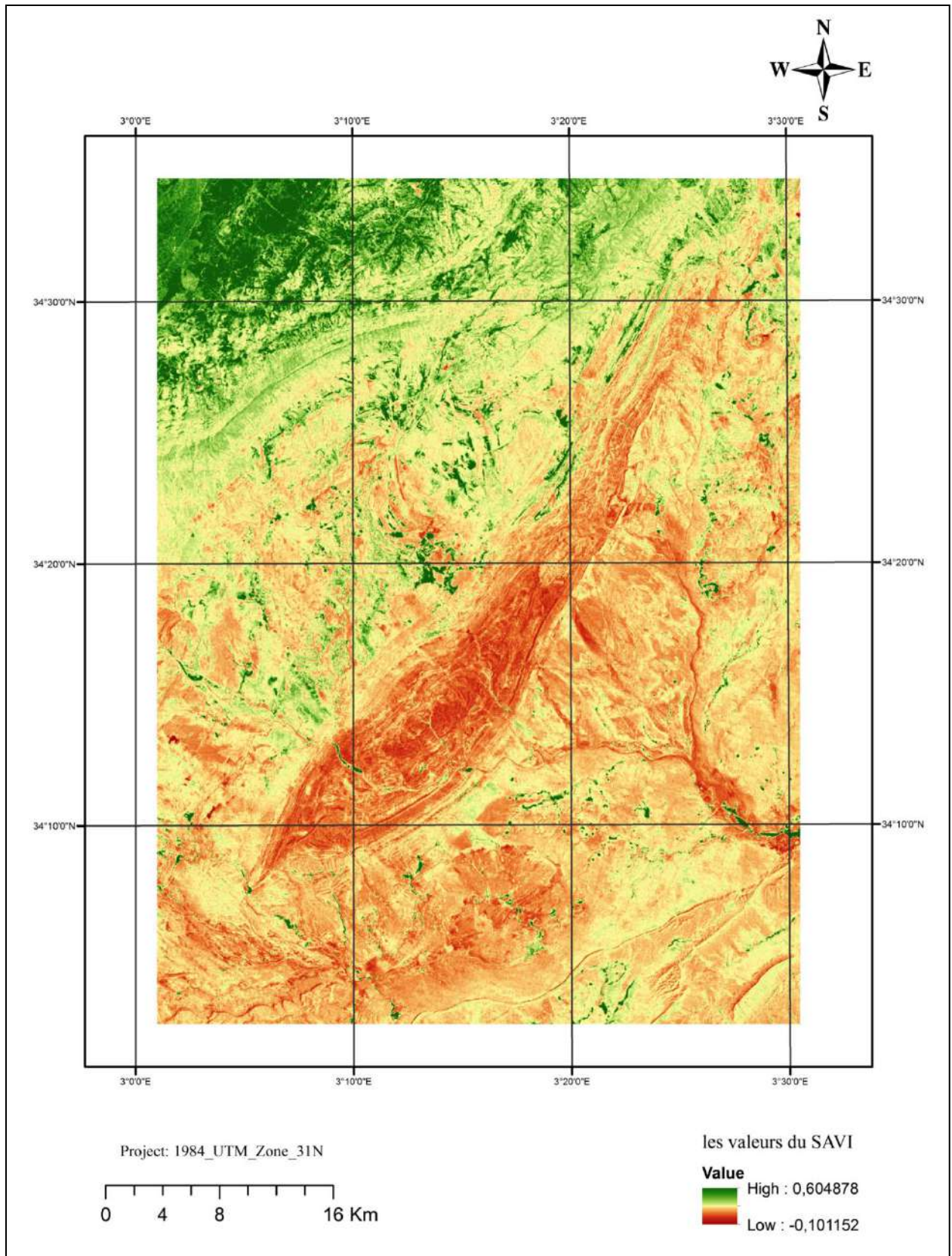


Figure 62 : Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 1987

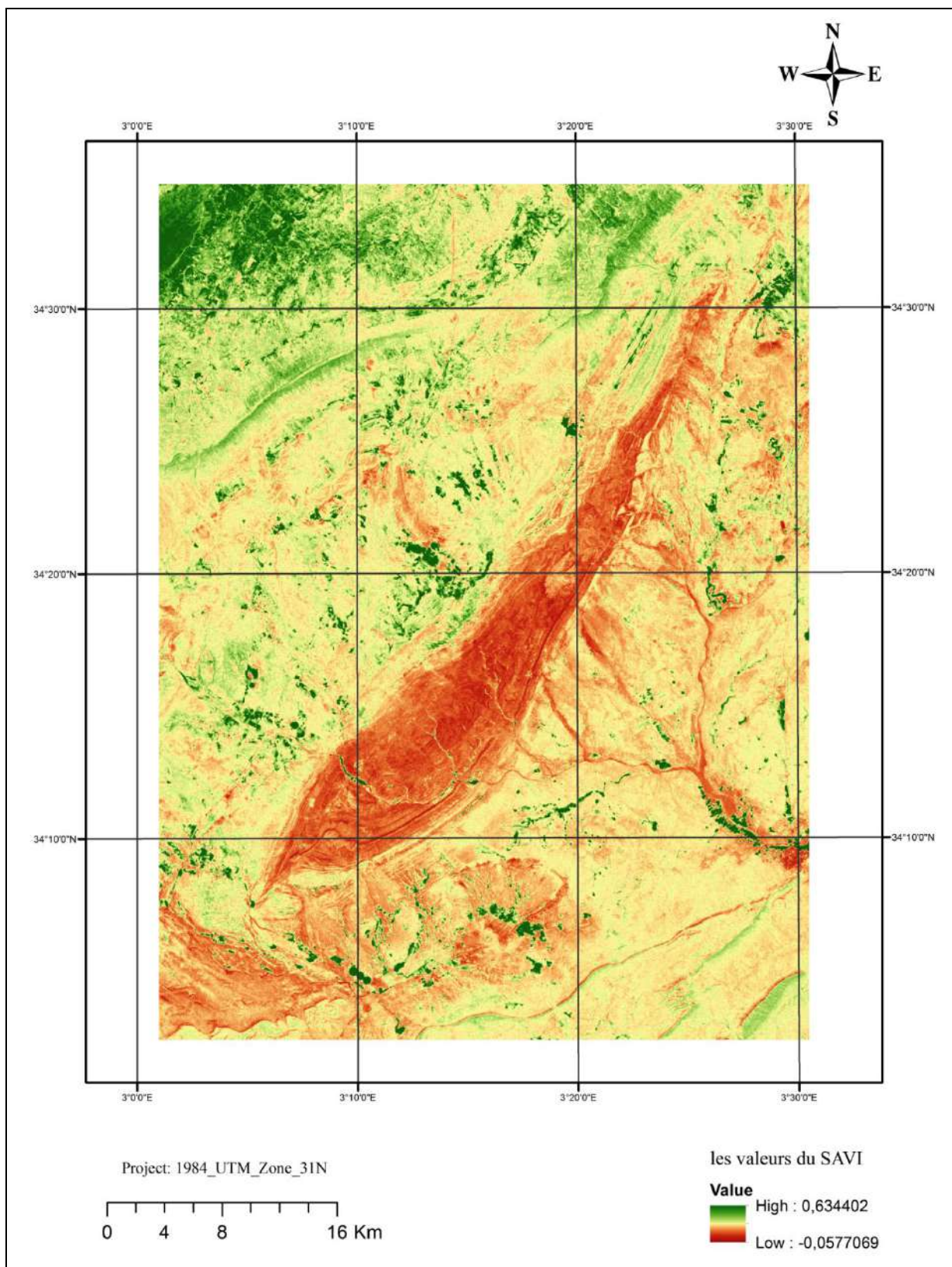


Figure 63 : Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 2001

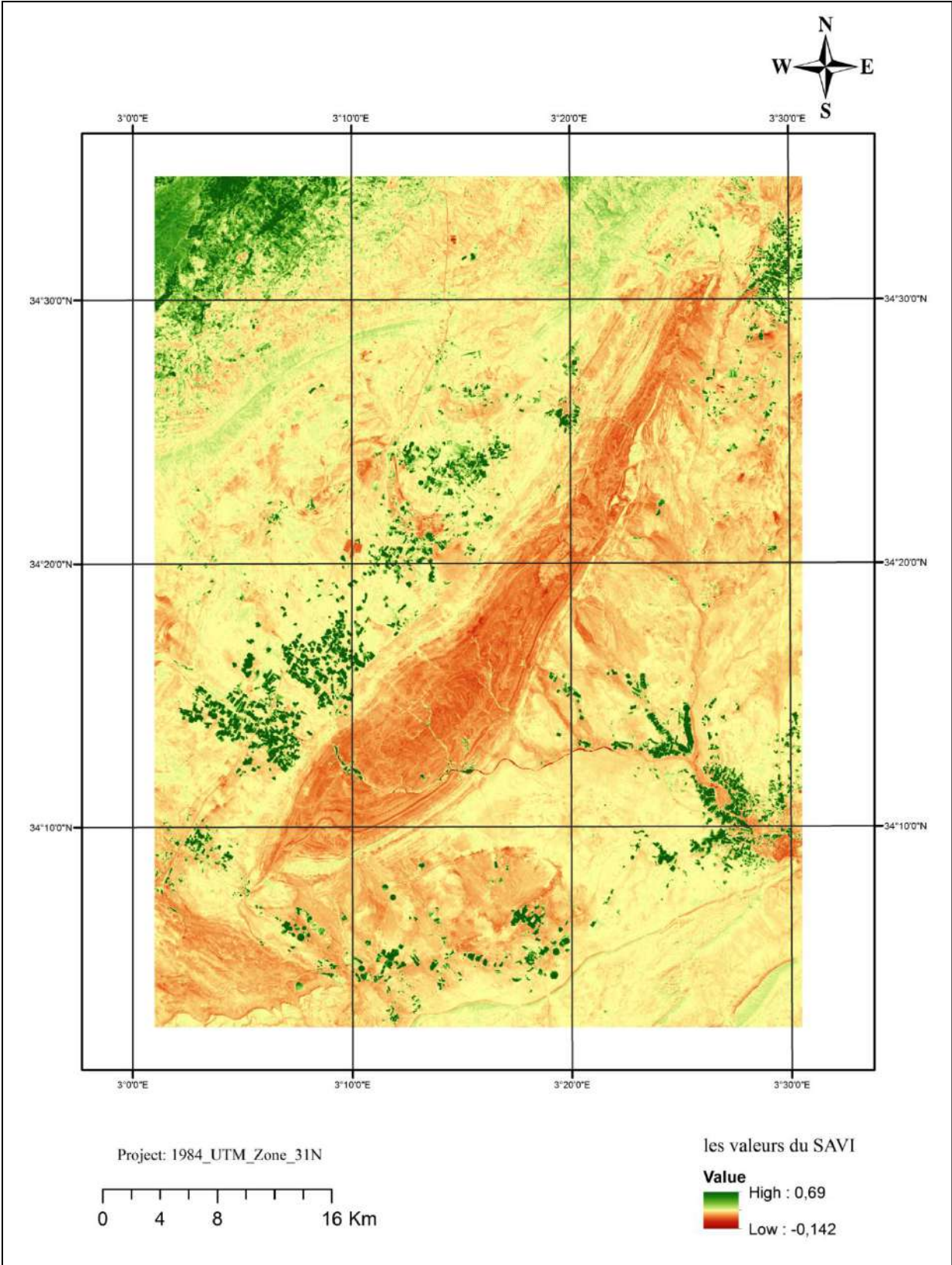


Figure 64: Carte de l'indice de végétation ajusté au sol SAVI 2018

L'échelle de valeurs exprimée en couleur est bien adaptée pour la visualisation de SAVI. Elle varie du vert sombre (valeurs maximales) jusqu'au couleur du rouge foncé ou rougeâtre, exprimant les valeurs les plus basses des indices utilisés. Ceci nous facilite une lecture visuelle simple et rapide des zones à végétation dense et saine par rapport à celles qui ont un recouvrement de la végétation moins important (ou et d'une activité chlorophyllienne moins importante) d'une part, et d'autre part elle permet aussi la détection du changement du couvert végétal (dynamique de la végétation), par comparaison des différentes scènes prises dans les différentes dates, de notre zone d'étude.

19.3. Analyse des images SAVI des trois scènes étudiées 1987, 2001 et 2018 :

L'analyse du tableau n°20, montre que :

Les valeurs du SAVI minimales varient entre $-0,0577$ pour le SAVI de la scène 2001 à $-0,3231$ pour le SAVI de la scène 2018, tandis que les valeurs maximales oscillent entre $0,6049$ et $0,1818$, pour les deux SAVI respectivement de 1987 et celle de 2018.

Tableau 20 : Statistiques des trois images SAVI des trois scènes étudiées (1987, 2001, 2018)

SAVI	Min	Max	Moyen	Ecart type
SAVI (1987)	-0,1012	0,6049	0,1245	0,0331
SAVI (2001)	-0,0577	0,6344	0,1085	0,0256
SAVI (2018)	-0,3231	0,1818	0,0668	0,0326

L'analyse des moyennes des valeurs du SAVI (tableau n° 20) pour les trois cartes des indices étudiées (de 1987, de 2001 et celle de 2018) montre bien qu'elles ont subi une diminution notable avec respectivement les valeurs moyennes suivantes : 0.1245 , 0.1085 et 0.0668 .

Pour la confirmation des résultats des cartes des SAVI des trois scènes étudiées, nous avons procédé à une classification des trois scènes étudiées.

20. Classification des trois scènes étudiées de 1987, de 2001 et celle de 2018

Les zones d'entraînement, ou zones d'apprentissages (ROI), constituent le point focal et l'élément le plus important pour qu'on puisse obtenir une bonne classification (Gérard et Gérard, 1999).

Pour cela, nous nous sommes basés sur les différents relevés floristiques faits par nous-mêmes (Taibaoui et al, 2020) avec une classification non supervisée des trichromies RGB constitués par ACP1, ACP2 et SAVI, et ce pour une meilleure analyse visuelle des variations des différentes scènes.

Notre classification supervisée, maximum de vraisemblance, des trois images Landsat utilisées nous a donné les cartes représentées dans les figures ci-dessous (Figures 65, 66, 67), et qui correspondent respectivement aux trois cartes d'occupation des sols de notre zone d'étude, représentant les trois scènes des dates : 1987, 2001 et celle de 2018.

L'évaluation de la qualité de classifications a été faite par l'application du coefficient Kappa (K), parmi les plus utilisés, avec la précision globale de classifications pour chaque image classifiée.

Dans notre cas, nous avons obtenu pour chaque image classifiée les résultats insérés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Evaluation des cartes d'occupations de sols

Image classifiée	Précision globale	Coefficient de Kappa
1987	95,27	0,95
2001	94,94	0,94
2018	93,11	0,92

Selon le tableau 21, chaque classification a une précision globale et un coefficient du Kappa (K) qui lui correspond,

Tableau 22 : Les appréciations pour les valeurs du coefficient Kappa (K)

Valeurs Kappa	Appréciation
<0,00	Grand désaccord
0,00 -0,2	Accord très faible
0,21-0,40	Accord faible
0,41-0,60	Accord moyen
0,61-0,80	Accord satisfaisant
0,81-1,00	Accord excellent

Le tableau n° 22 donne une appréciation pour chaque valeur du coefficient (K) selon l'échelle utilisée depuis la très faible qualité de classification (grand désaccord) jusqu'à la qualité de classification excellente.

Les valeurs du coefficient des trois images classifiées sont pour les trois scènes, de 1987, 2001 et celle de 2018, respectivement : 0.95, 0.94, 0.92, avec une précision globale, respectivement de l'ordre de 94.94, 0.92, 93. 11. Ce qui fait que les trois classifications sont classées comme de qualités excellentes, avec une excellente précision globale.

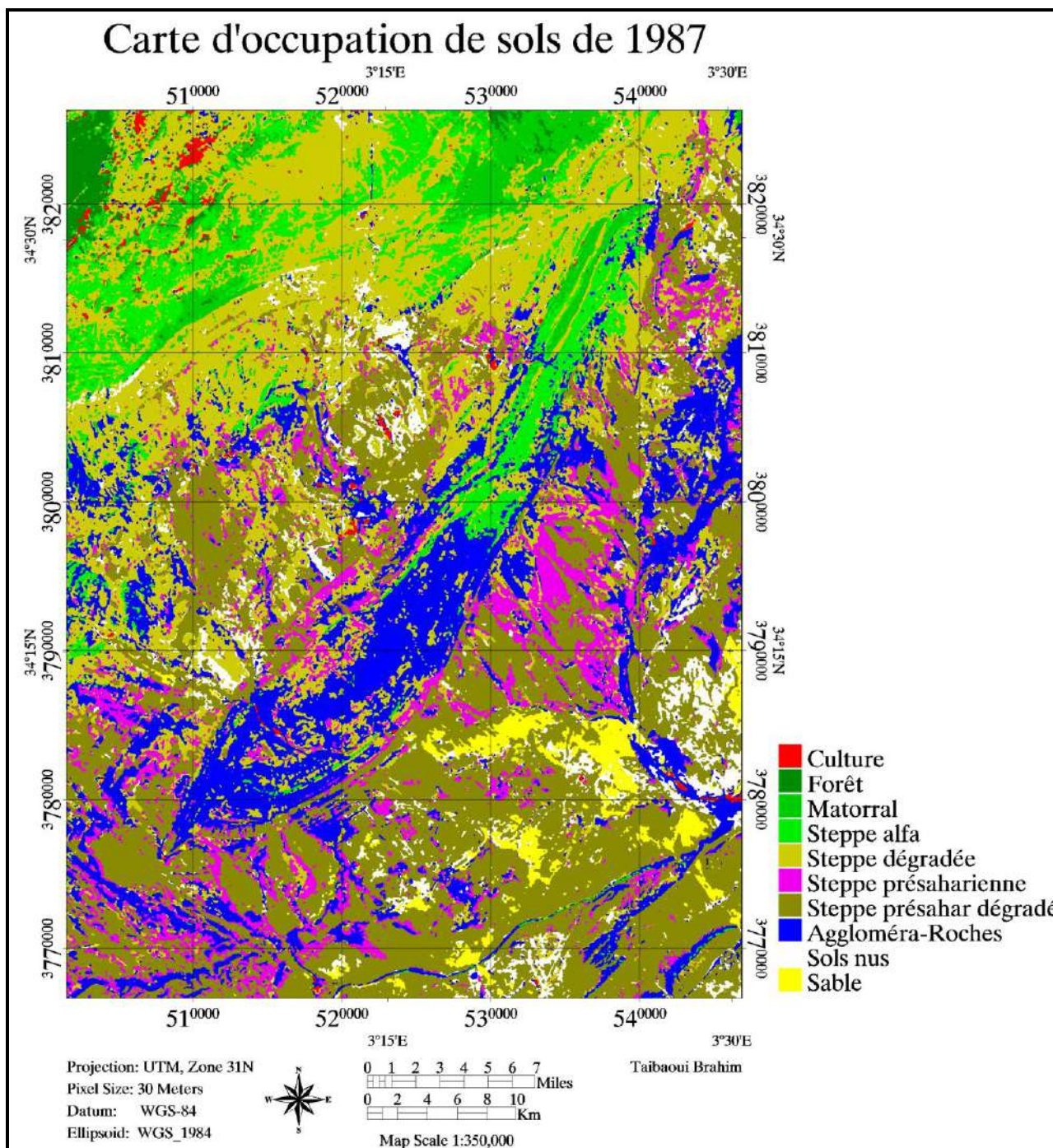


Figure 65 : Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 1987 (ACP1, ACP2, SAVI)

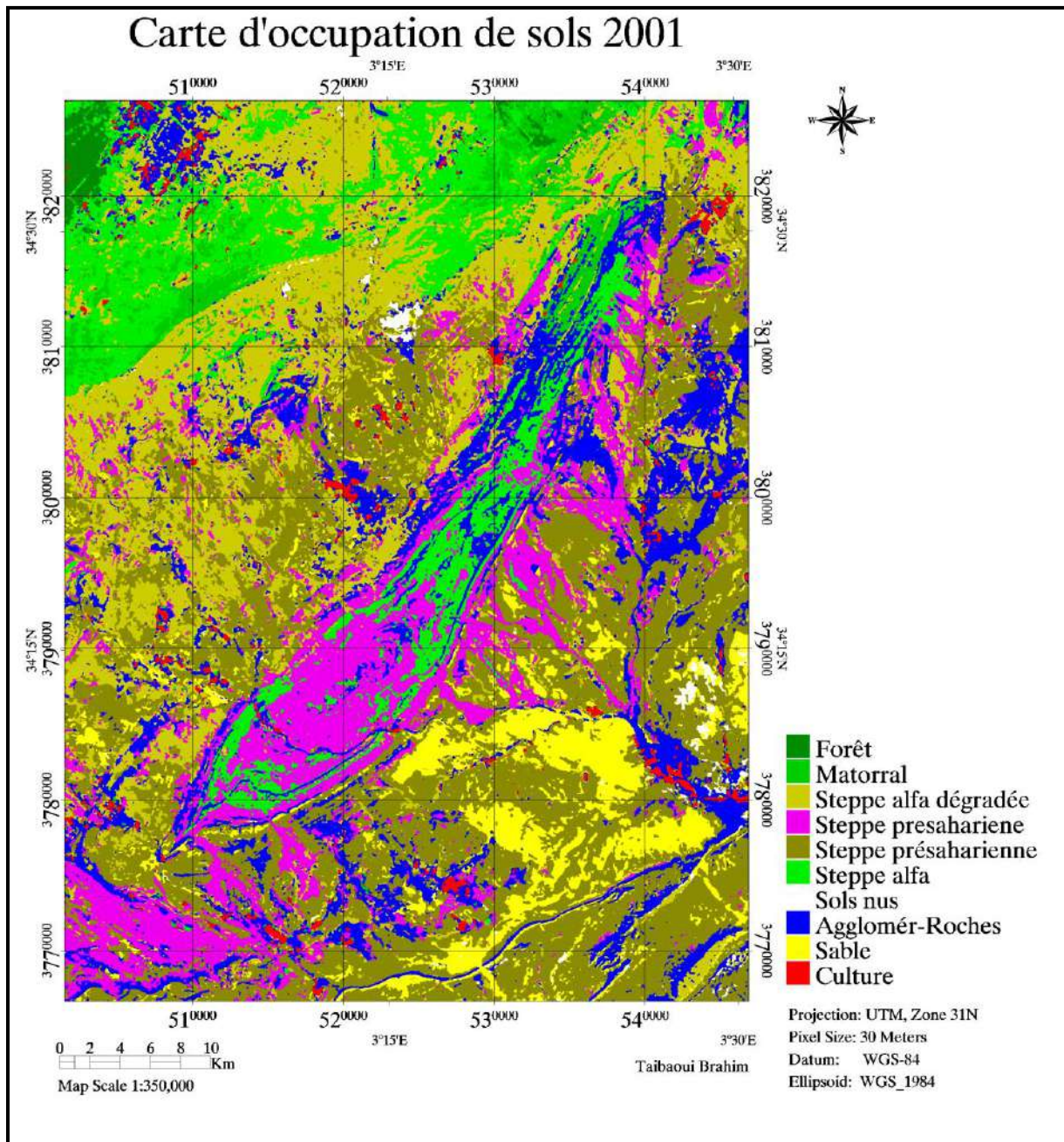


Figure 66 : Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 2001 (ACP1, ACP2, SAVI)

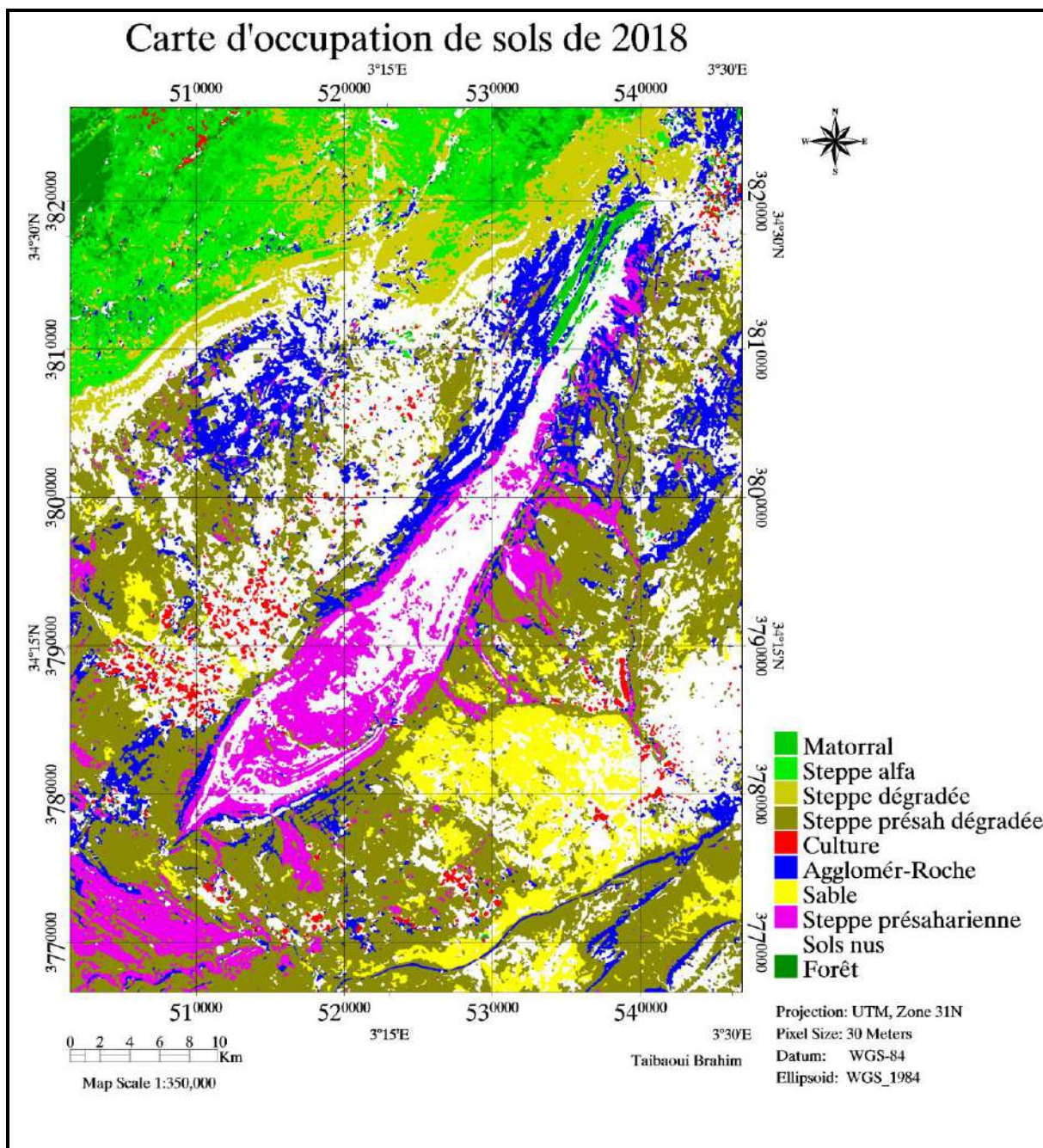


Figure 67 : Carte d'occupation du sol de l'image classifiée de 2018 (ACP1, ACP2, SAVI)

20.1. L'occupation de sols pour l'année 1987

Les parcours steppiques dégradés, représentés par les parcours à *Stipa tenacissima* dégradés et les parcours présahariens dégradés occupaient des superficies les plus importantes par rapport aux autres unités de végétation avec respectivement 26.86% soit 72675.03 ha et 29.85% soit 80780.10 ha. Ces superficies représentaient plus de la moitié de notre zone d'étude soit pratiquement 56.71% par rapport à la superficie totale de notre zone d'étude (figure 65).

La steppe à *Stipa tenacissima* et la steppe présaharienne représentaient une faible superficie, avec respectivement les valeurs de 6,67% soit 180061,19 ha et 8,40% soit 22726,68 ha, ce qui indique une pression importante, déjà ancienne, sur les écosystèmes steppiques de notre zone d'étude (Pouget et al., 1977).

Les unités sans végétation de dégradation occupées par les sols nus, sable, agglomération et roches représentaient respectivement les valeurs de 4,48%, 2,01% et 15,92%, ce qui fait une somme de 22,40% soit une superficie de l'ordre de 60618,90 ha de notre zone d'étude.

Notre première analyse fait que notre aire d'étude avait déjà subi une forte pression de dégradation, et ce depuis plus de 40 ans (Pouget et al 1977 ; Melzi, 1986 ; Aidoud, 1989), ce qui explique la dominance des superficies occupées par les formations steppiques dégradées, et sans végétation par rapport aux formations végétales climaciques.

Les unités de végétation de dégradation avec celles des unités sans végétation (sols nus, sable, agglomération et roches) constituaient ensemble pratiquement 80% de la superficie totale de notre aire d'étude.

20.2. L'occupation du sol de 2001

L'analyse de la Figure 66 qui représente la carte d'occupation du sol de 2001, fait remarquer qu'il y a une légère remontée biologique de notre zone d'étude qui s'exprime par l'augmentation des superficies des parcours à *Stipa tenacissima* et parcours des steppes présahariennes respectivement avec 10,74% soit 16954,35 ha et 13,09% soit 21097,54 ha, avec une légère diminution de la superficie des unités sans végétation (sols nus, sable, agglomération et roche) égale à 19,24%

Ceci pourrait être essentiellement dû à la diminution de l'activité anthropique dans cette zone et dans le pays en général (l'Algérie) durant la décennie des années 1990, surtout dans les zones rurales.

20.3. L'occupation de sols de 2018

L'analyse de la carte d'occupation des sols de 2018(Figure 67) a permis de montrer une évolution régressive du tapis végétal qui est traduite par une augmentation des unités de dégradations et des unités sans végétation aux détriments des unités de végétation surtout celles occupées par les parcours steppiques. Ce qui fait qu'il y a une dégradation intensive du tapis végétal qui est traduite par l'augmentation des unités de sols nus et d'ensablement avec respectivement 28,25% soit 77107,79 ha et de 5,79% soit 10226,73 ha au détriment des aires occupées par des unités de végétation, surtout steppiques. Cela fait une régression du tapis végétale de l'ordre de plus de 20% (54432,53 ha) par rapport celui de 1987qui était de l'ordre de 26,85% soit 7267, 03 ha, contre 6,74% soit 18242,50 ha en 2018.

Par ailleurs, on a remarqué l'augmentation des surfaces cultivées qui sont passées de 0.57% soit 1550, 65 ha en 1987 à 1,49% soit 4029,53 ha en 2018.

21. Etude de changement du couvert végétal par l'utilisation des cartes du SAVI

Pour obtenir des cartes des changements du SAVI entre les trois scènes, nous avons utilisé des fonctionnalités des logicielle SIG (ARCGIS) pour le suivi des zones qui ont subi une régression ou une progression. Pour cela, on a généré trois cartes de changement qui sont :

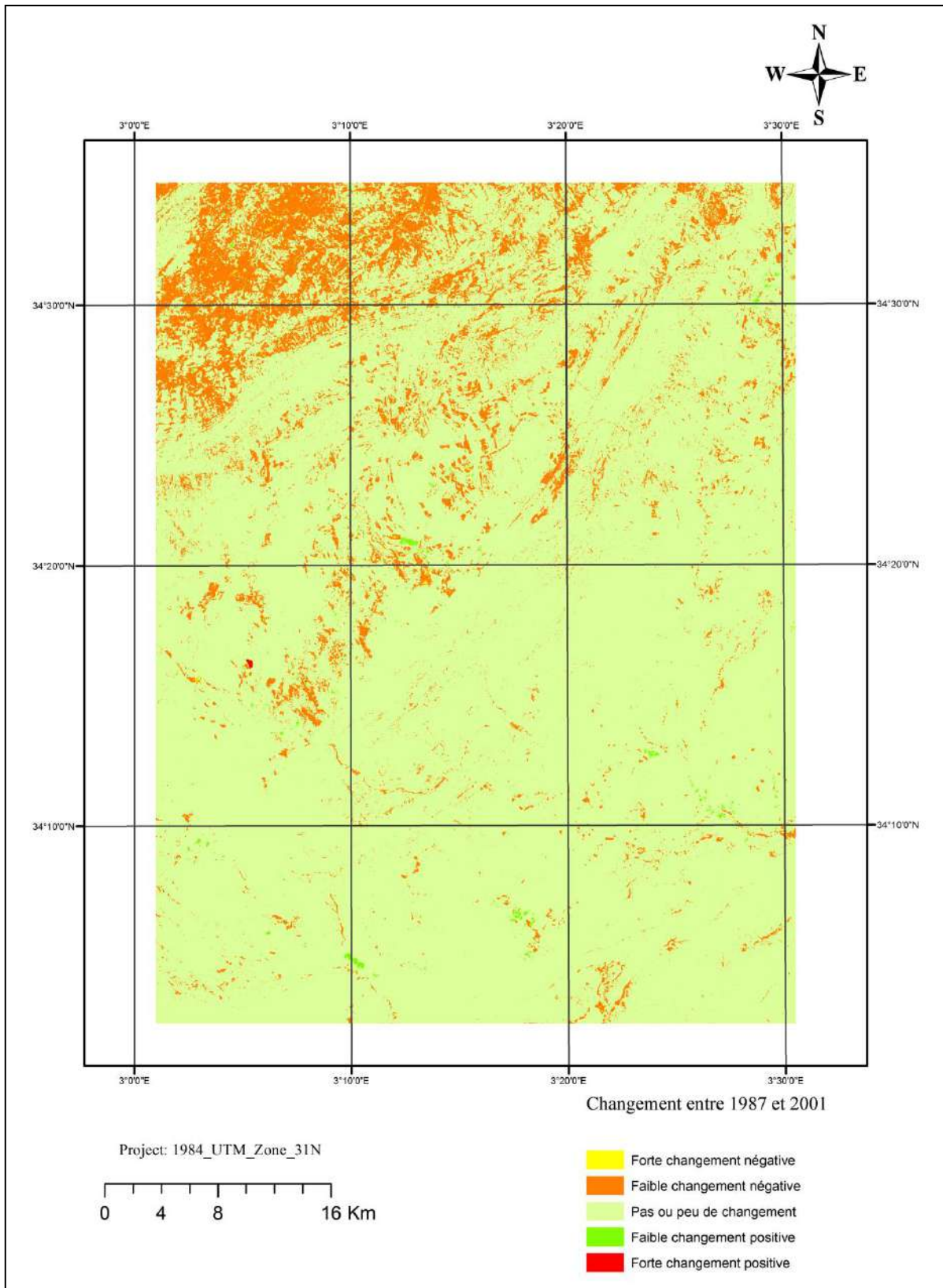


Figure 68 : Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2001

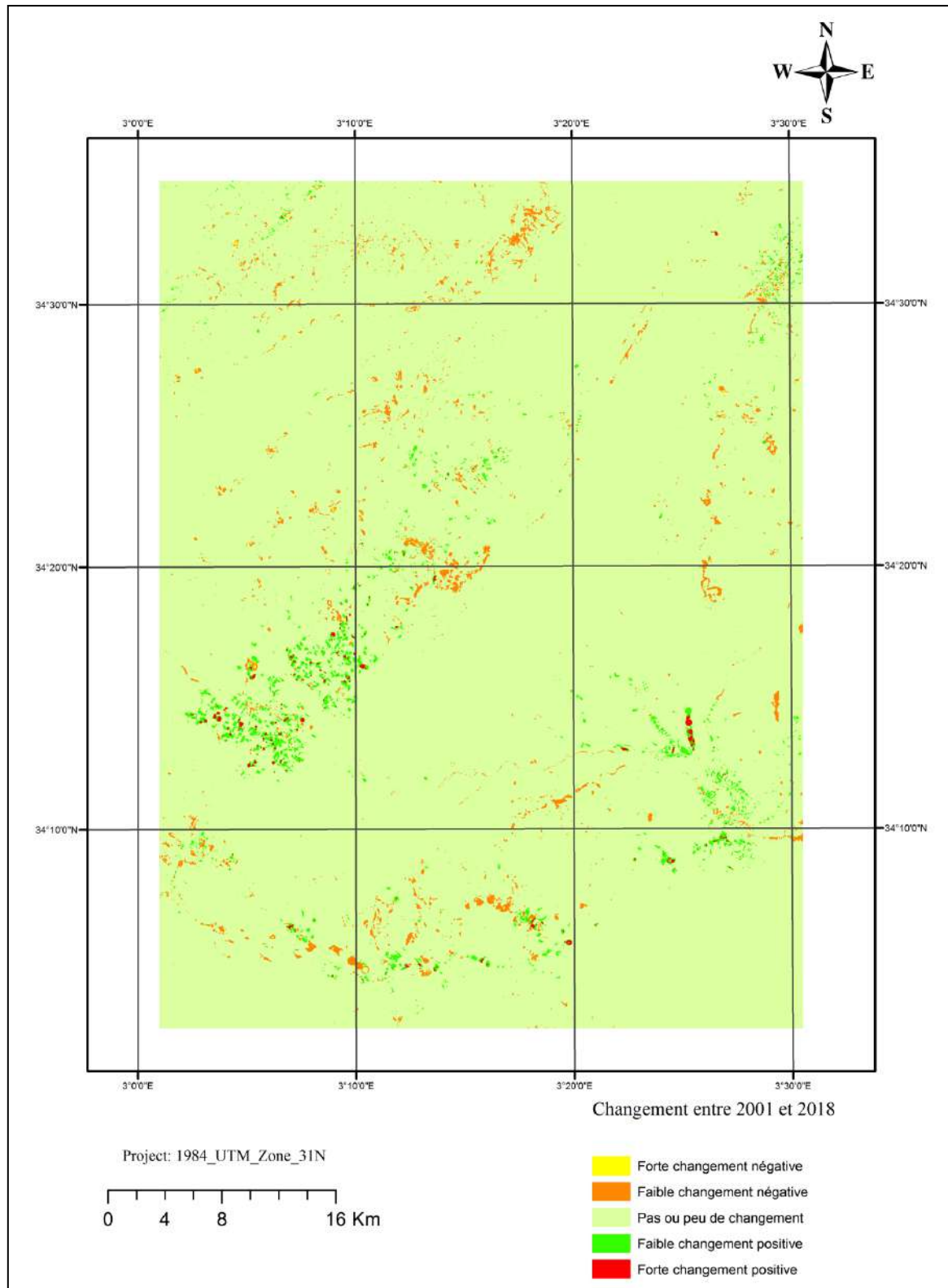


Figure 69 : Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 2001 et 2018

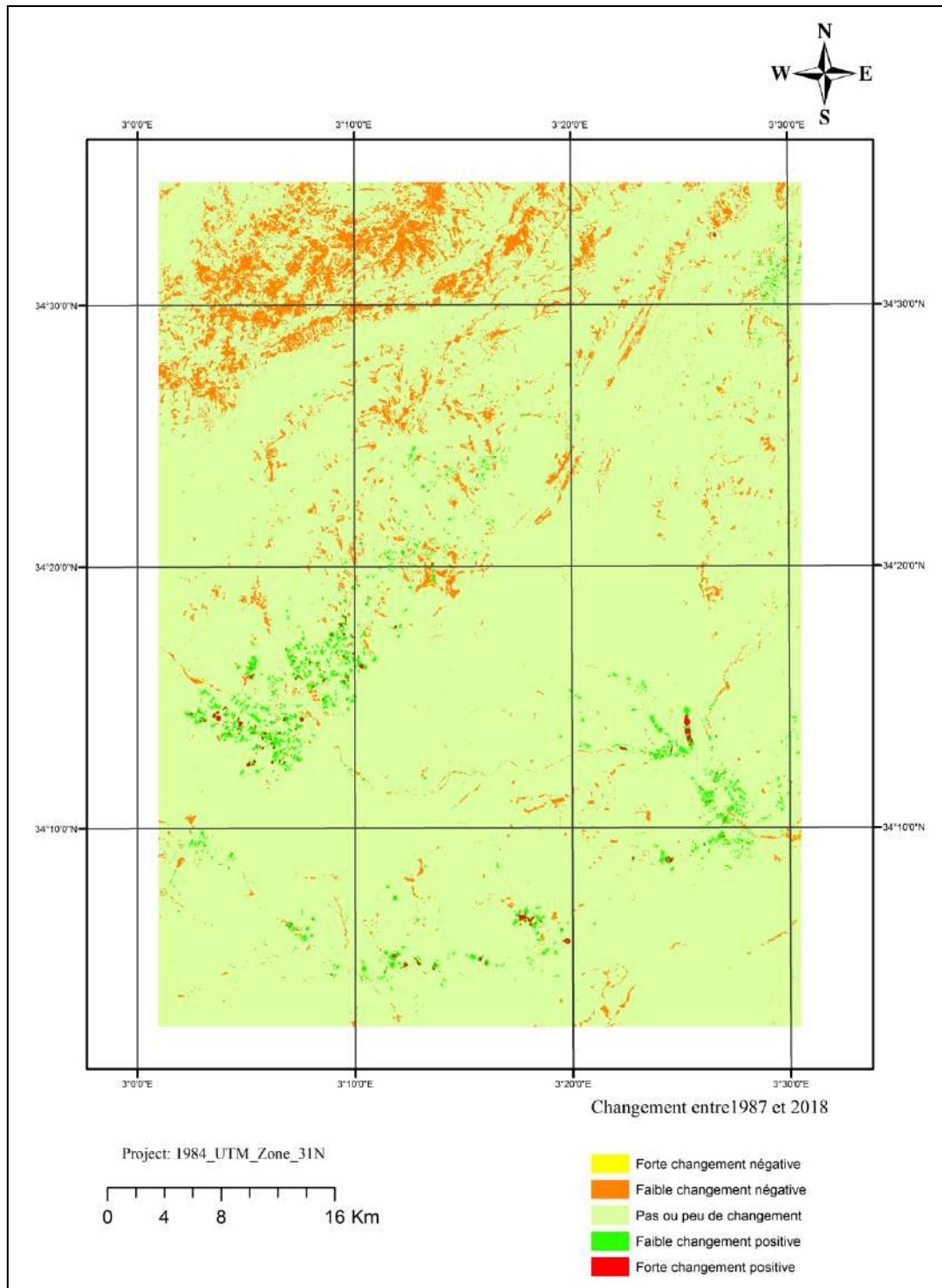


Figure 70 : Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2018

21.1. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2001

La Figure 68 représente le changement des valeurs des SAVI dans la première période 1987 et 2001 (14 ans). Le couvert végétal durant cette période a marqué une régression de l'ordre de 12,85%, soit 0,016 entre les deux moyennes du SAVI. Cette régression a touché beaucoup plus la zone du centre de la zone steppique et la zone Nord de la zone forestière et poste forestière.

21.2. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 2001 et 2018

La Figure 69 représente une carte de changement qui couvre la deuxième période (17 ans). Durant cette période, nous avons enregistré une diminution du couvert végétal de l'ordre de 33,49%, soit 0,0417. Cette dégradation a touché les différentes zones du nord, centre et sud.

Nous avons constaté que la dégradation durant cette deuxième période est plus importante par rapport à la première période, en plus de surpâturage qui ne cesse d'aggraver la situation d'année en année (Nedjraoui, 2004 ; Aidoud et *al.*, 2006). Par ailleurs et en parallèle, il y a une intensification de l'activité agricole, surtout avec le lancement de différents programmes d'appui agricole, ce qui explique l'extension des zones agricoles aux détriments des parcours steppiques (Bédrani & Nedjraoui, 2008 ; Boussaid et *al.*, 2018).

21.3. Carte de changement du SAVI entre les deux scènes 1987 et 2018

La carte de changement du SAVI (Figure 70) représente le taux de régression durant toute notre période d'étude qui résume le changement dans les deux cartes de changements précédentes.

La différence entre les deux scènes du SAVI de 1987 et celle de 2018 nous a donné une diminution de l'ordre de 46,35%, soit une valeur de 0,0577, ce qui traduit une diminution notable du couvert durant notre période d'étude.

22. Le changement d'occupation de sols

L'analyse de la Figure 71 montre que l'évolution régressive dans cette zone, déjà menacée de désertification (Djebaili, 1984 ; Melzi, 1986, Melzi et *al.*, 1993), est la conséquence d'un ensemble de contraintes causées essentiellement par l'activité anthropique : le surpâturage et l'extension de la surface cultivée dans des zones inappropriées (Nedjraoui, 2001) s'ajoute à cela l'effet négative de la succession des années sèches, qui ont frappé notre zone d'étude surtout ces 20 dernières années.

L'étude comparative de trois cartes d'occupation de sols, qui représentent chacune une image satellitaire prise dans trois dates différentes (1987, 2001 et 2018) a montré essentiellement la continuation de l'évolution régressive du couvert végétal d'une part et l'extension des unités sans végétation, d'autre part.

La légère augmentation des zones préforestières entre 1987 et celle de 2018 pourrait être due essentiellement à la dégradation de la zone forestière et à l'activité de reboisement de DGF (Direction Générale du Forêt) dans le cadre de la réalisation du projet du barrage vert.

L'effort national destiné à étendre la couverture forestière n'arrive même pas à compenser les pertes dues principalement aux facteurs anthropiques, incendies, surpâturage et l'exploitation anarchique de la forêt, ce qui que la végétation forestière est en constante régression (DGF, 2004).

La conséquence sur le couvert végétal se traduit par une régression notable, entre ces deux scènes ; En ce qui concerne les parcours steppiques qui ont été de l'ordre de 33.53% en 1987 contre 13.01% en 2018, soit une diminution de 55539,36 ha au profit des unités sans végétation (sols nus et sable). Ces dernières ont subi une progression de 6.49% en 1987, contre 34% en 2018, soit une augmentation de l'ordre de 74574,78 ha pour les unités sans végétation. Ceci confirme l'extension du phénomène de désertification déjà signalé par plusieurs auteurs depuis la fin des années 1970 et le début des années 1980 (Pouget et *al*, 1977, Melzi, 1986, Djebaili, 1984).

L'accélération de la dégradation, depuis la fin des années 1990, est causée essentiellement par deux facteurs essentiels :

Le premier est celui de la série des années sèches qui ont frappé notre zone d'études depuis l'année 1997. Les quelques années humides qu'avait connue la zone d'étude n'ont eu aucun effet devant l'avancement des superficies des zones désertifiées (A.S.A.L., 2010). Avec l'augmentation de l'activité anthropique dans les zones rurales, suite aux lancements de différents programmes de développement des zones steppiques par l'Etat, qui visent la redynamisation des territoires ruraux, par des projets de proximités de développement rural intégré (PPDRI) et des projets de renouveau rural (PRR). (Bensouiah, 2004 ; Boussaid et *al.*, 2018), il y a eu une extension des zones agricoles dans notre zone d'étude en particulier dans les zones centres et sud steppiques, déjà fragilisées par l'effet de sécheresse.

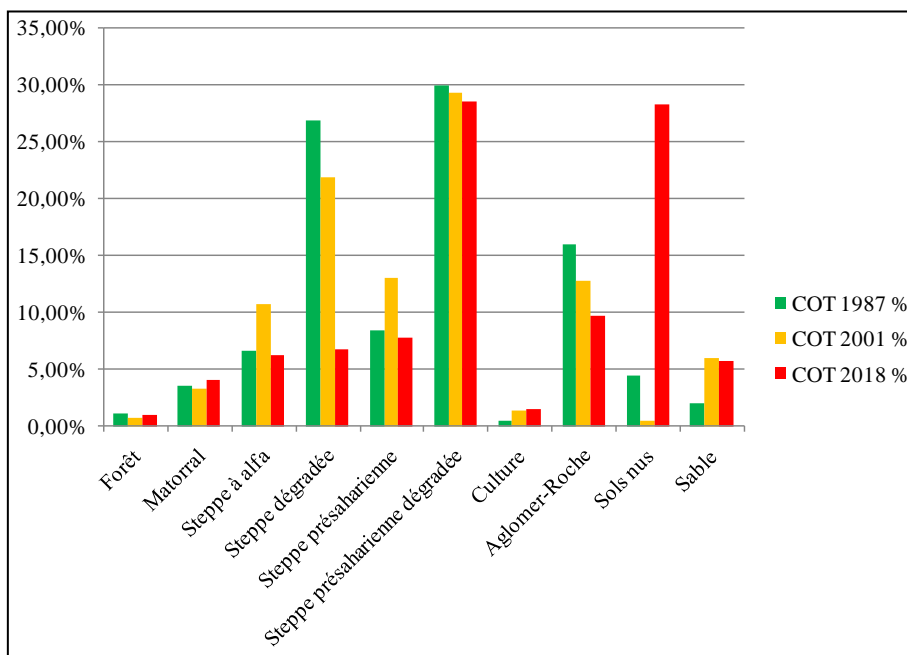


Figure 71 : Dynamique d'occupation du sol entre les trois scènes 1987, 2001 et 2018

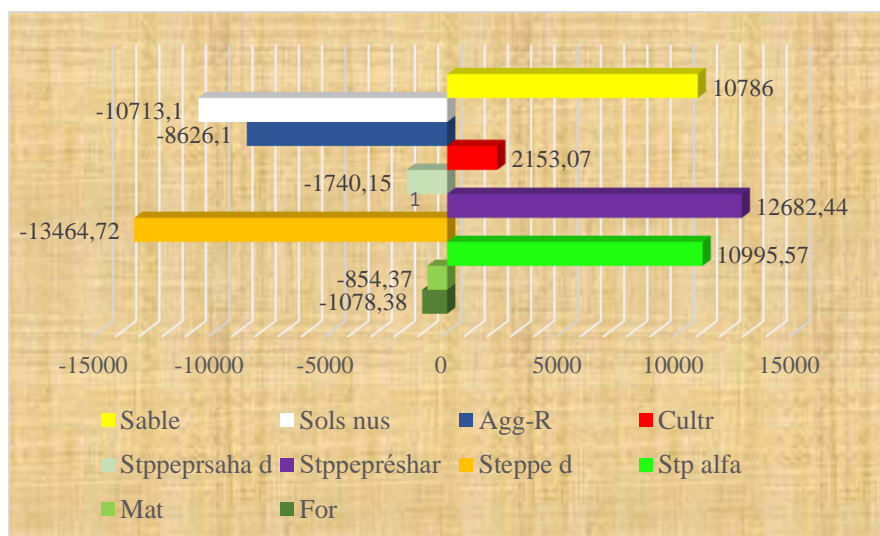


Figure 72 : Changement d'occupation de sols entre 1987 et 2001

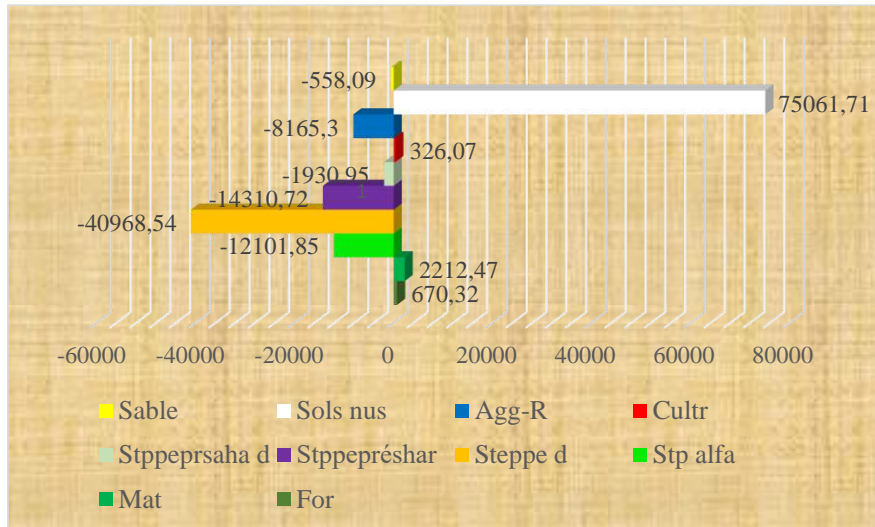


Figure 73 : Changement d’occupation de sols entre 2001 et 2018

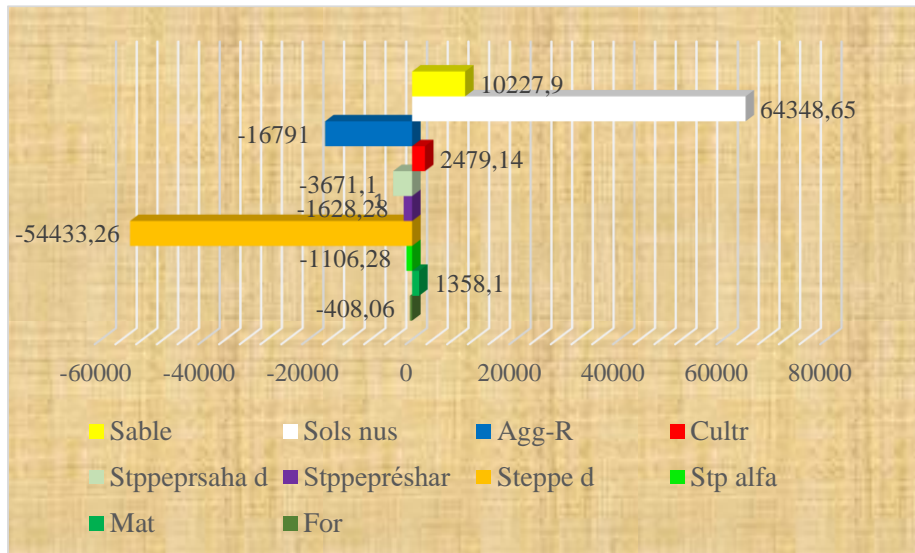


Figure 74 : Changement d’occupation de sols entre 1987 et 2018

D’après les figures ci-dessus (72, 73 et 74), nous avons remarqué que les zones forestières ont perdu l’essentiel de leurs superficies aux profits des unités steppiques et à la culture et aux sols nus, alors que les zones steppiques ont régressé aux profits des unités sans végétation et aux faciès de dégradations de la végétation présahariennes qui ont connu une progression de leurs superficies du sud vers le nord (Taibaoui, 2008 ; Taibaoui et *al.*, 2020 ; Hourizi et *al.*, 2017)

22.1. Etude de la dynamique de différentes formations végétales

D’après le tableau n°23 et la figure 75, 76 et 77 qui représentent l’importance de différentes formations végétales par rapport aux zones écologiques potentielles, nous avons remarqué que :

- Notre zone d’étude a perdu un taux de l’ordre de 25,04% des zones forestières et préforestières, soit une superficie ensemble perdue, avant 1987, de l’ordre de 67637,90ha.

-La zone forestière a perdu, durant 31 ans étudiée, pour la zone préforestière 4,62% de la zone forestière (figure n°53), soit 12499,073 ha.

Tableau 23 : dynamique de l’occupation de sols par rapport les différentes zones écologiques

	Zones Ecolo	1987	2001	2018
Forêt	6,51%	1,11%	0,72%	0,96%
Préforestières	23,23%	3,59%	3,27%	4,08%
Steppe	33,32%	33,46%	32,53%	12,96%
Présaharienne	36,93%	38,17%	42,18%	36,16%
Total	100,00%	76,34%	78,71%	54,17%

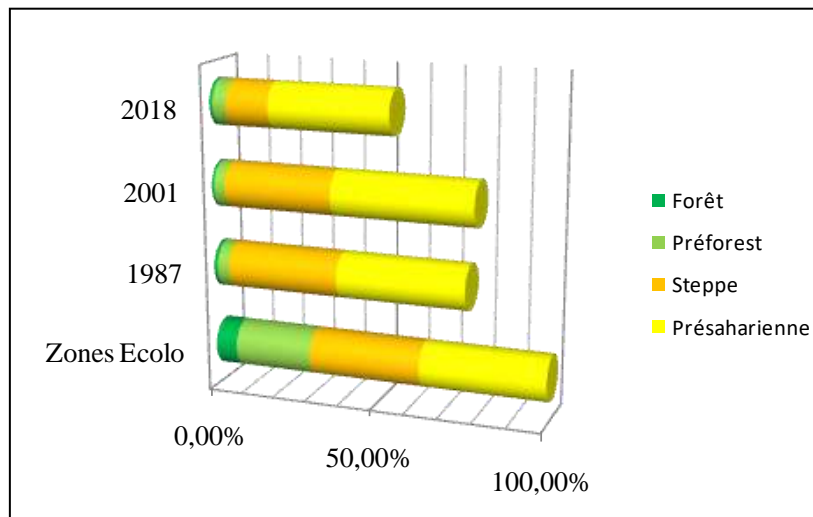


Figure 75 : dynamique de l’occupation de sols par rapport les différentes zones écologiques

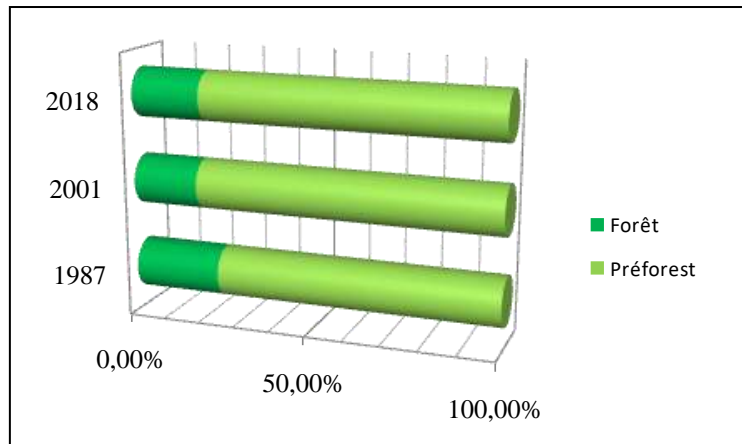


Figure 76 : dynamique de l'occupation de sols entre les formations forestières et Préforestières.

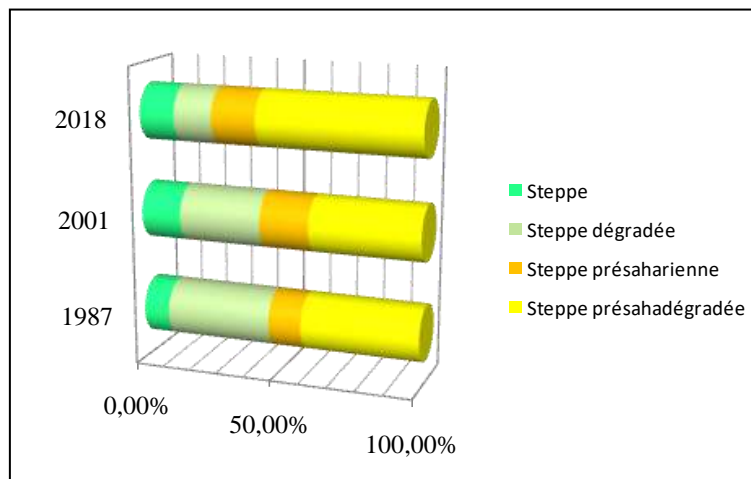


Figure77 : dynamique de l'occupation de sols des formations steppiques

Il apparait donc que la zone forestière est la zone la plus touchée, alors que pour la zone steppique on a constaté une diminution de 20,36%, soit une superficie de l'ordre de 54862,06 ha, ceci jusqu'à l'année 2018, ce qui montre la forte régression de la zone steppique depuis la scène de 1987 aux profits des autres unités de dégradation.

Malgré l'importance écologique des formations forestières de notre zone d'étude, qu'elles soient écologiques, ou qu'elles constituent la dernière barrière méridionale des massifs forestiers de l'Atlas saharien contre l'extension de phénomène de désertification, ou bien en tant que patrimoine forestier d'importance nationale de la région de Djelfa (6 % des forêts du territoire national (DGF, 2012) Celles-ci ne cessent de se dégrader de plus en plus d'années en années.

23. Analyse spatiale et cartographie de l'indice IP par l'approche géostatistique

L'indice de perturbation (IP) qui exprime le degré de dégradation de différentes formations végétales est utilisé par les phytoécologues pour l'évaluation de la dégradation des groupements végétaux. Cet indice exprime une valeur combinée des taux des deux phénomènes de désertification des zones steppiques : Thérophytisation et chamaephytisation du tapis végétal (Hébrard 1995, Taibaoui et al, 2020).

La géostatistique qui est, à la fois, une méthode d'analyse spatiale par son approche variographique et une technique de cartographie par son estimateur spatial qui est le krigeage est appliquée ici pour décrire d'une part, la structure spatiale de l'IP et d'autre part, établir une carte de sa répartition spatiale à l'échelle de la zone d'étude échantillonnée (figure 78).

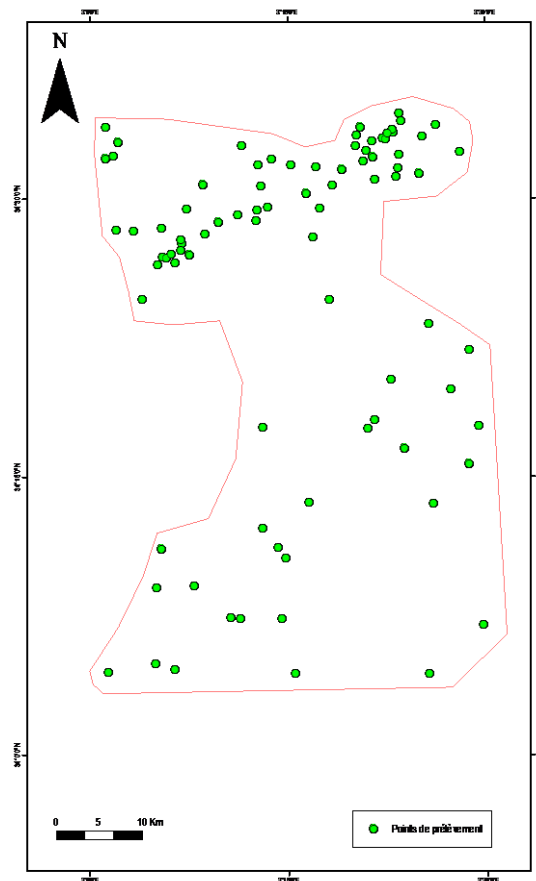


Figure 78 : Plan d'échantillonnage de l'indice IP

23.1. Statistiques descriptives de l'IP

L'analyse du tableau n° 24 montre que les valeurs de l'IP aux points des échantillons étudiés de notre zone d'étude varie entre 0.3 et 0.9, ce qui représente les extrêmes minimales et maximales, avec une moyenne de l'ordre de 0.54 sur un nombre d'échantillons de 86 bien répartis sur les différentes formations végétales de notre zone d'étude, depuis les formations présahariennes dégradées, en passant par les formations steppiques postes forestières jusqu'aux formations forestières localisées vers le nord de notre aire d'étude.

Si on retient la valeur de 0,6 comme valeur seuil à partir de laquelle la dégradation des formations végétale devient élevée, la moyenne du l'indice de perturbation égale dans notre cas à 0,54 montre une dégradation assez poussée de ces formations végétales, ce qui montre le faible taux de couverture végétale en moyenne de la zone d'étude. Par ailleurs, la valeur minimale de 0,14 indiquerait la présence d'une faible dégradation au niveau de certains points échantillonnés. Toutefois, la valeur élevée de l'écart type par rapport à la moyenne et la valeur du CV témoigneraient probablement des différences importantes entre les valeurs de l'IP des points échantillonnés, ce qui relativise la signification de la valeur moyenne, d'où l'importance de faire une analyse et une cartographie de la répartition spatiale de l'indice de perturbation.

Tableau 24 : Paramètres statistiques du IP

Indice de Perturbation IP	
Moyenne	0,54
Minimum	0,14
Maximum	0,9
Écart-type	0,30
Coefficient de variation (CV)	55 %
Nombre d'échantillons	86

23.2. Variabilité spatiale de l'Indice de Perturbation par la géostatistique

La géostatistique par deux de ses techniques de krigeage est appliquée pour analyser spatialement et cartographier la variabilité spatiale de l'IP.

La variabilité spatiale de l'IP est étudiée pour d'une part, déterminer les paramètres de structure spatiale, quand elle existe, par le biais du variogramme et d'autre part, utiliser les paramètres du variogramme pour la cartographie de l'IP par la méthode d'interpolation par krigeage ordinaire et krigeage d'indicatrice.

23.2.1. Application du krigeage ordinaire

Le variogramme moyen de l'IP montre effectivement l'existence d'une structure spatiale qui s'ajuste à un modèle théorique sphérique avec une portée de 4350 m, un effet de pépité qui tend vers zéro et un palier de 0,08. (Figure 79)

La valeur de la portée égale à 4,35 km indique l'existence d'une autocorrélation spatiale et donc une structure spatiale sur une grande distance, ce qui se traduit sur terrain par une distribution assez homogène de la végétation sur de grandes superficies pouvant dépasser en moyenne les 14 km². La valeur presque nulle de l'effet de pépité (0,01) est indicatrice d'une très faible variation de l'IP sur les faibles distances et il en est de même sur les distances élevées comme le montre la faible valeur du palier qui est égale à 0,08.

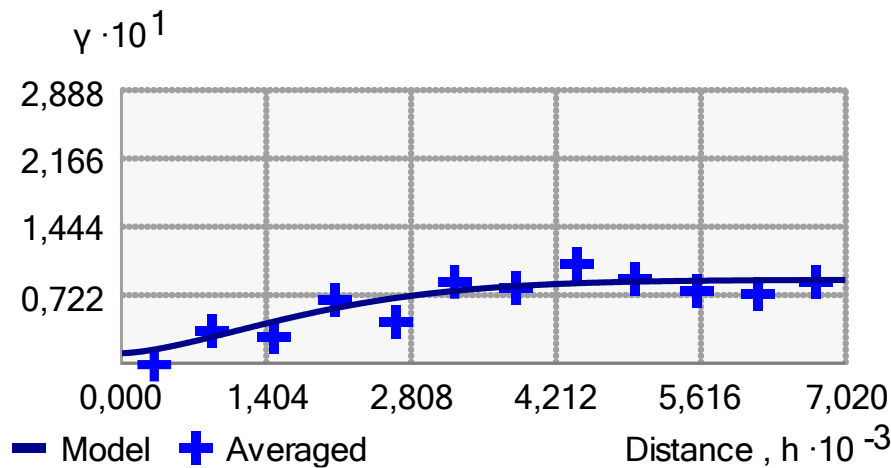


Figure 79 : Variogramme moyen de l'indice de perturbation

La carte établie par le krigeage ordinaire (figure 80) montre la répartition des classes de l'indice de perturbation représentant les différents niveaux de dégradation des formations végétales sur notre aire d'étude selon trois niveaux de dégradation : $IP < 0.3$; $0.3 < IP < 0.6$; $IP > 0.6$

Il apparait que le niveau de dégradation le plus élevé occupe la majeure partie de la zone d'étude échantillonnée. En effet, l' $IP > 6$ couvre deux principales parties :

- La première est celle de la totalité de la partie sud de notre aire d'étude occupant ainsi une altitude inférieure à 1100 m, et correspondant aux formations végétales steppiques présahariennes et présahariennes de dégradation.
- La deuxième partie, se localisant vers le Nord du Djebel Tafara, et une partie du Djellal Gharbi et Chergui, couvrant ainsi une grande partie du centre et des plages au Nord de notre aire d'étude à une altitude variant entre 1100m et 1300m.

Cette structure de répartition semble bien corrélée avec la répartition des différentes formations végétales représentées dans la carte d'occupation de 2018 (figure 67).

Les niveaux de dégradation faibles et moyennes se localisent uniquement dans la partie Nord avec des superficies encore plus faibles pour l' $IP < 3$.

Le niveau de faible dégradation ($IP > 3$) est localisé dans les zones d'altitudes des trois massifs montagneux de notre zone d'étude : massif montagneux de Toughrassane et les deux Djellal, Djellal Chergui et Djellal Gharbi, et qui correspond respectivement aux formations végétales forestières et préforestières dans notre aire d'étude.

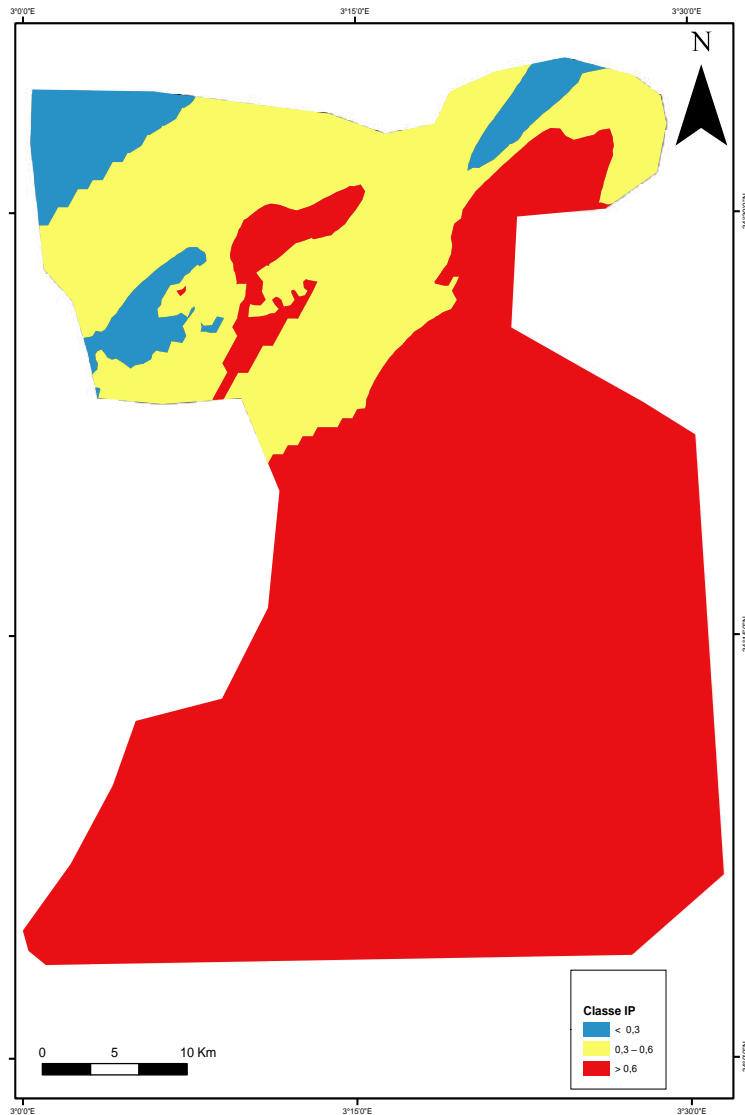


Figure 80: carte de répartition des trois classes de dégradation de l'IP de la zone d'étude

La répartition quantitative des superficies dans la figure 81 pour les différentes classes de l'indice de perturbation (IP) correspond aux différentes formations végétales de notre zone d'étude dont la plus grande partie des superficies a été enregistrée pour les formations les plus dégradés ($IP > 0.6$) avec 72,32%, ce qui représente la quasi-totalité des formations présahariennes et présahariennes dégradés en plus de celui des formations herbacées, postes forestières dégradées.

La deuxième place, par ordre d'importance dans la superficie, a été accordée aux formations moyennement dégradés ($0.3 < IP < 0.6$), avec 22.55%, ce qui représente dans notre zone d'études les différents faciès de dégradation des steppes postes forestière à alfa et qui est représenté dans

notre aire d'étude au groupement à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* et *Noaea mucronata* et groupement à *Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora*.

La dernière place d'importance des superficies de notre zone revient aux formations végétales faiblement dégradées ($IP < 0.3$) qui sont des formations forestières à *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea* et préforestières (Matorral) à *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*.

Cette répartition de différentes classes de dégradation de l'indice de perturbation semble être plus corrélée par rapport à la réalité du terrain de notre zone d'étude ainsi qu'avec la carte d'occupation de sols de 2018 (figure 67)

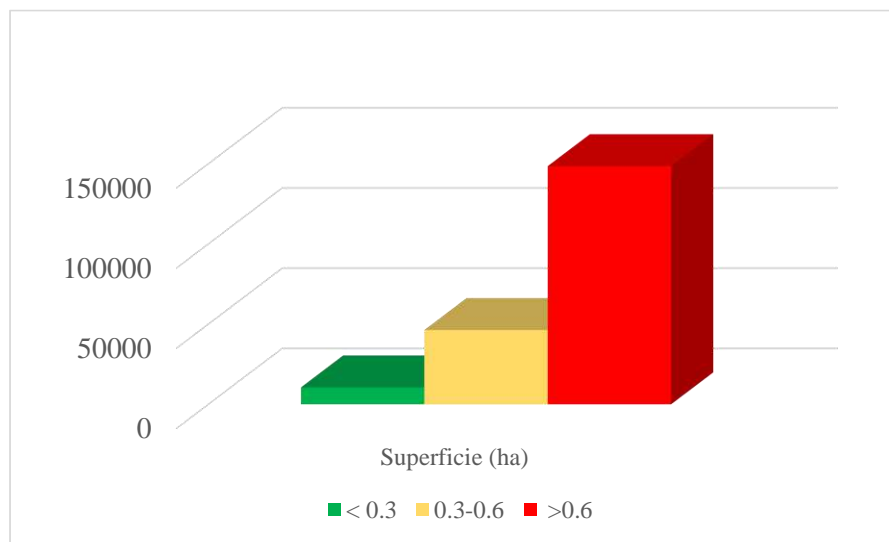


Figure 81 : répartition des classes du IP sur notre aire d'étude

23.2.2. Application du krigeage d'indicateurs

Le krigeage d'indicateur qui est une autre technique non linéaire d'interpolation et d'estimation spatiale est appliqué sur l'indice de perturbation pour deux raisons :

- 1) Il convient parfaitement à ce type de variable qui se définit par des valeurs seuils indicatrices d'une limite d'un niveau pour passer à un autre niveau, ce qui est, dans le cas de l'IP, les trois niveaux de dégradation des formations végétales,
- 2) faire une comparaison entre le krigeage ordinaire et le krigeage d'indicateurs.

23.2.2.1. Analyse spatiale des fonctions indicatrices

Les deux indicatrices retenues dans ce travail pour une analyse spatiale sont les deux seuils $IP > 0,3$ et $IP > 0,6$ qui représentent les valeurs au-delà desquelles le niveau de dégradation des formations végétales passe respectivement d'un niveau faible à un niveau moyen et d'un niveau moyen à un niveau de dégradation élevé.

Les deux variogrammes (figure. 82 **a**, **b**), établis pour les deux valeurs seuils indicatrices $IP > 0,3$ et $IP > 0,6$, montrent que ces deux indicatrices sont bien structurées avec quelques différences près.

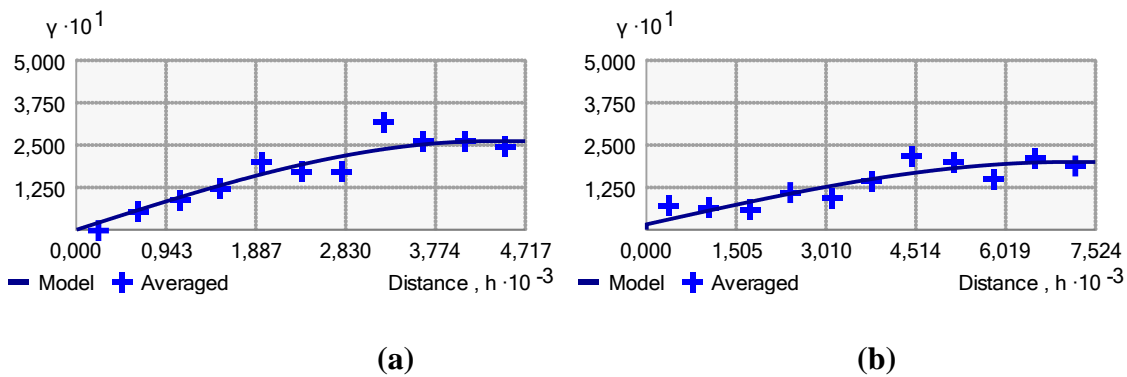


Figure 82 : Variogrammes des valeurs indicatrices aux seuils de l' $IP > 3$ (a) et $IP > 6$ (b)

Les deux variogrammes s'ajustent bien à une même fonction sphérique avec des paramètres d'ajustement relativement différents. La distance d'autocorrélation, représentée par la portée, est plus élevée pour $IP > 0,6$, ce qui indique une dépendance spatiale plus élevée entre les différents points à ce seuil par rapport au seuil $> 0,3$. Dans les deux seuils, l'hétérogénéité spatiale est pratiquement la même avec une légère augmentation au seuil de 0,6 pour les courtes distances et une légère différence en faveur de ce même seuil aux distances élevées (Tableau 25).

Tableau n° 25 : Valeurs des paramètres des deux variogrammes aux seuils de l' $IP > 3$ et $IP > 6$

	Modèle	Range	Nugget (C ₀)	Pariel Sill (C)	Ratio : $\frac{C_0}{(C_0 + C)}$ (%)
$IP > 0.3$	Sphérique	4354 m	0.00	0.262	--- (Excellent)
$IP > 0.6$	Sphérique	7056	0.016	0.184	8 % (excellent)

La cartographie des risques d'extension de ces deux niveaux de dégradation de $IP > 0,3$ et $IP > 0,6$ a été faite pour représenter spatialement et cartographier les probabilités du dépassement de ces deux seuils.

La carte établie pour la valeur seuil indicatrice $IP > 3$ montre que la probabilité de dépasser ce niveau de dégradation couvre presque la totalité de la zone d'étude échantillonnée (figure 83). Ils ne restent que trois petites zones dont la probabilité de dépasser ce seuil de dégradation est inférieure à 75%. Ces trois zones sont réparties sous formes de petites plages de faibles superficies variant entre les probabilités $< 25\%$, entre 25% et 50% et entre 50% et 75%.

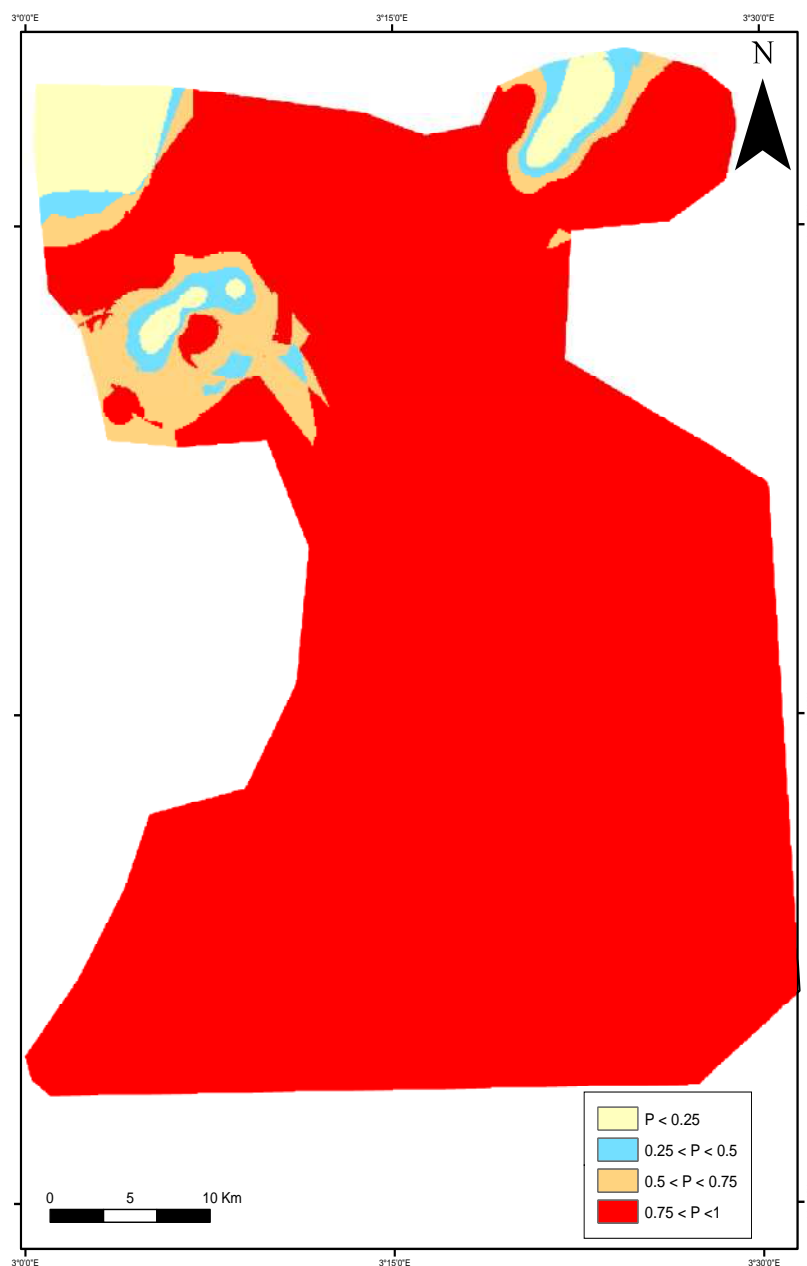


Figure 83 : Carte de probabilité du krigeage d'indicatrice au seuil $IP > 0,3$

La carte des probabilités au seuil de $IP > 0,6$ (figure 84) montre que les zones sud qui ont une altitude inférieure à 900 m et représentant les zones les plus fragiles aux phénomènes de dégradation coïncident avec les superficies qui ont la plus forte probabilité ($0,75 < p < 1$) de dépasser ce seuil. Ces zones sont occupées potentiellement par des formations présahariennes dégradées.

La deuxième zone de probabilité comprise entre 0.25 et 0.75 et qui est potentiellement steppique est représentée par la steppe à alfa, et des formations postes forestières steppiques de dégradation. Cette classe de probabilité couvre de faibles superficies et se trouvent sur des altitudes comprises entre 900 et 1100.

Les superficies qui ont les plus faibles probabilités de dépasser le seuil de 0,6 se localisent dans la partie nord de la zone d'étude où se trouvent les formations forestières et préforestières à des altitudes supérieures à 1100 m.

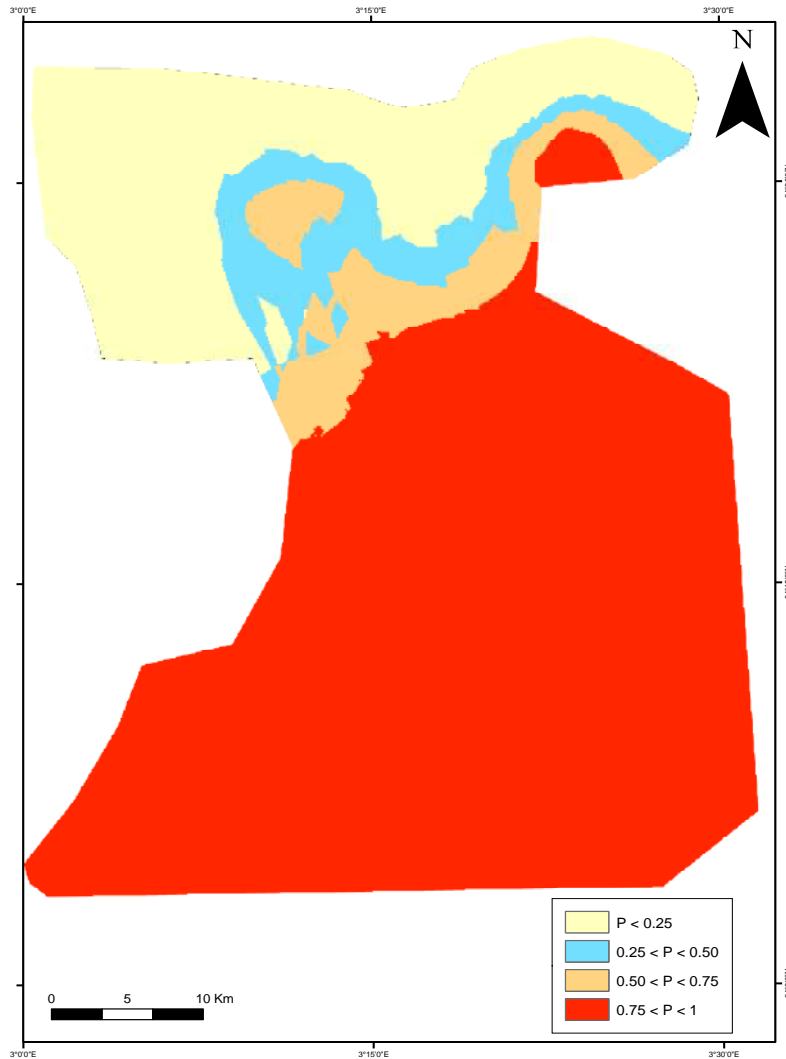


Figure 84 : Carte de probabilité du krigeage d'indicatrice au seuil $IP > 0,6$

La figure n°85 représente la répartition des superficies selon les différentes classes de probabilités aux seuils de $IP > 0,3$ et $IP > 0,6$. Il apparait, quantitativement, que la probabilité de dépasser les 75% atteint des superficies très élevées dans les cas des deux seuils avec 90 %, soit 184551 ha, et 70%, soit 137029 ha, respectivement pour $IP > 0,3$ et $IP > 0,6$.

Une différence notable pourrait être notée entre les deux seuils pour la probabilité $< 25\%$ où la superficie au seuil de 0,6 dépasse les 42000 ha, soit plus de 20% alors qu'elle n'est que de 7177 ha, soit moins de 3,5%.

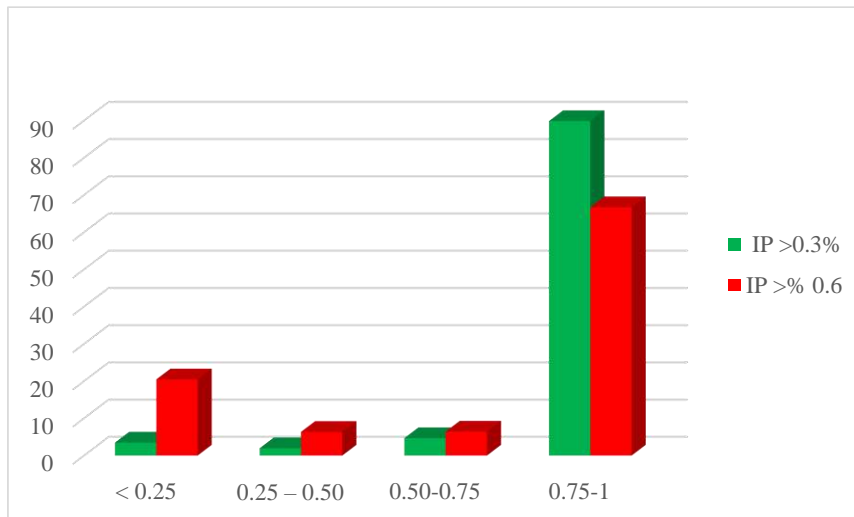


Figure 85 : Les risques d’extension dégradation des formations végétales sur les Valeurs IP> 0.3 et IP> 0.6

23.2.2.2. Cartographie de l’espérance mathématique de l’indice de perturbation

Le variogramme moyen a été calculé sur les valeurs des espérances mathématiques de trois différentes classes de L’IP exprimant les valeurs moyennes probables des trois classes de dégradation (faible, moyen, élevé) à savoir : $IP < 3$, $3 > IP < 6$, $IP > 6$. Ces trois dernières classes ont été déterminées à partir des deux seuils $IP > 3$ et $IP > 6$. La fonction de répartition à partir de laquelle les valeurs de l’espérance mathématiques de l’IP ont été calculées aux points échantillonnés est la suivante :

$$E(Z) = Z_c + 2 Z_{c+1} + 3 Z_{c+2}$$

Avec

Z_c : la valeur probable au point échantillonné au seuil $IP < 3$

Z_{c+1} : la valeur probable au point échantillonné au seuil $3 > IP < 6$

Z_{c+2} : la valeur probable au point échantillonné au seuil $IP > 6$

Le modèle d’ajustement de l’espérance mathématique de l’IP est une fonction exponentielle avec un effet de pépite de 0,00001, un palier partiel de 0,48 et une portée de 5880 m (figure 86)

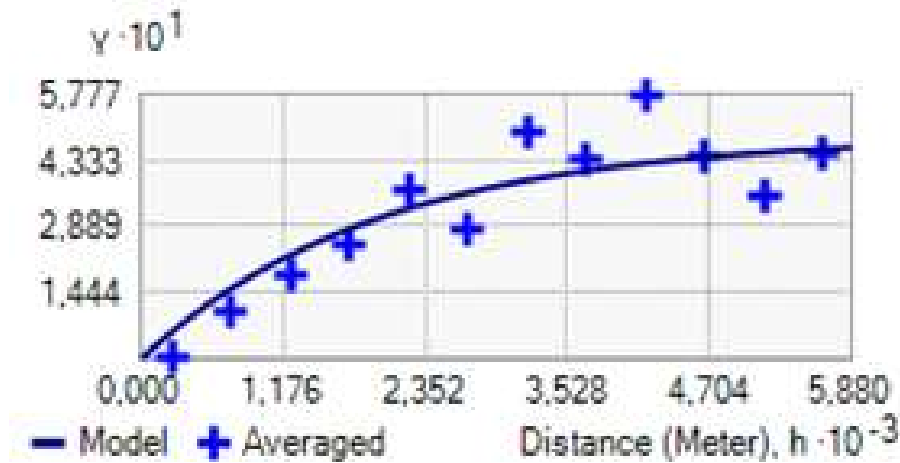


Figure 86 : Variogramme moyen de l'espérance mathématique de l'IP

La carte des classes de l'indice de perturbation a été établie sur les valeurs de l'espérance mathématique de la CE (figure 87). La répartition géographique des différentes classes est généralement la même que celle obtenue par le krigeage ordinaire sur les valeurs directement mesurées de l'IP. Toutefois, quelques différences peuvent être notées dans la partie nord de la zone d'étude où apparaissent, sur la carte de l'espérance mathématique, des petites plages appartenant aux classes extrêmes au dépend de la classe moyennement dégradée.

Les superficies retrouvées sur cette carte pour les classes de de l'IP sont de 13526 ha pour la classe inférieure à 3 (6,59 %), 40933 ha (19,93 %) pour la classe 3-6 et 150898 ha pour la classe supérieure à 6 (73,48 %).

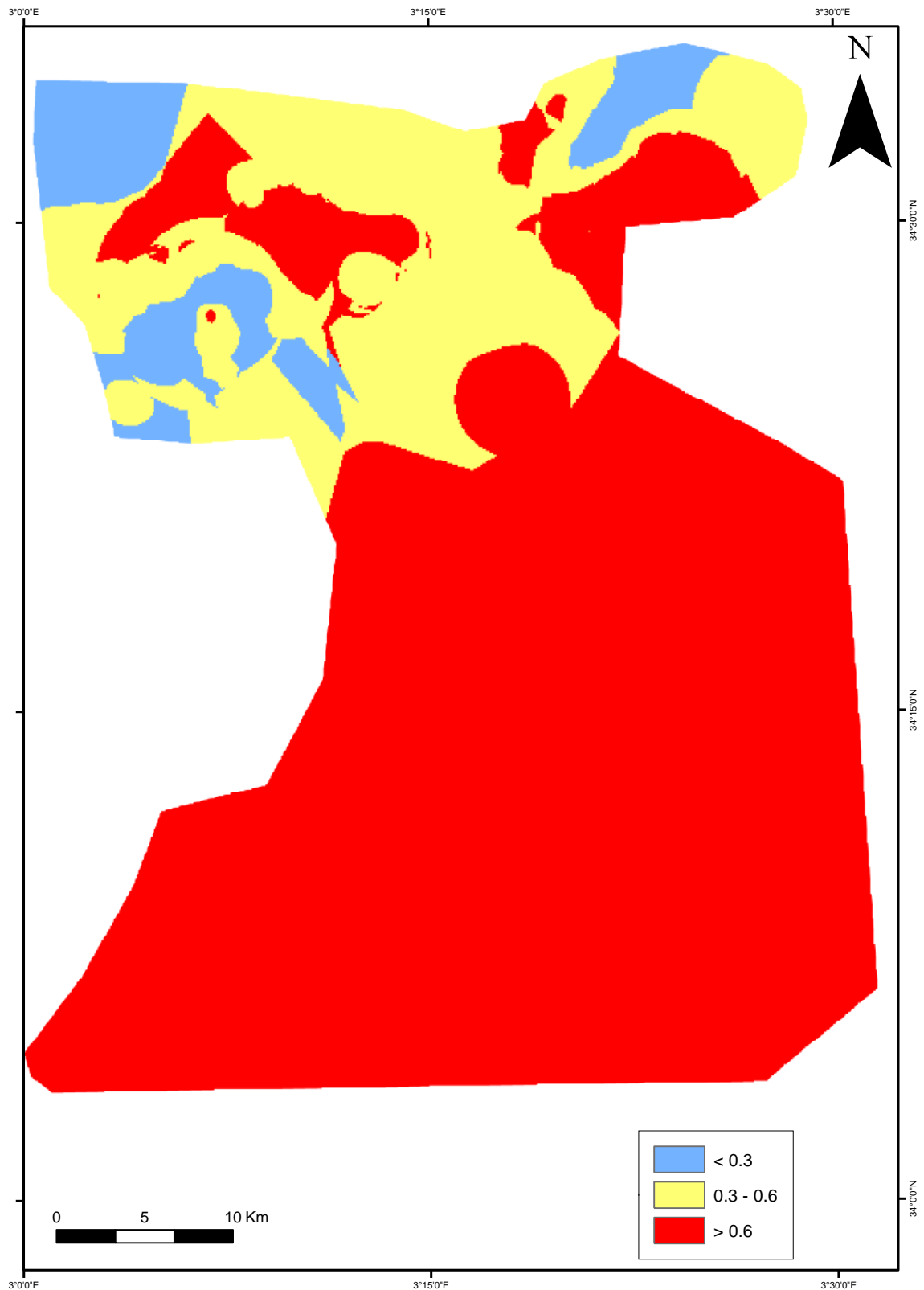


Figure 87 : Carte de l'espérance mathématique de l'indice de perturbation

La répartition quantitative des classes de superficies représentant les trois niveaux de dégradation (tableau 26) montre que pour les deux méthodes de krigeages les superficies

obtenues sont équivalentes. Les superficies très élevées de la classe correspondant à un $IP > 6$, en atteignant les 73% en moyenne avec une occupation totale de la partie sud et la partie centrale, témoignent du niveau de dégradation élevé de la végétation dans la zone d'étude. Dans le même sens, les superficies occupées par la classe correspondant à un faible niveau de dégradation ($IP < 3$) sont très faibles en se limitant à quelques petites plages au nord de la zone d'étude et ne dépassent guère les 6,59% dans le meilleur des cas. Par ailleurs, le niveau moyen de dégradation n'est pas aussi meilleur et se limite à une superficie au nord de la zone d'étude comprise entre 46316 pour le krigeage ordinaire et 40933 ha pour le krigeage d'indicateurs soit respectivement 22,55% et 19,93%.

Tableau n°26 : Superficies obtenues par krigeage ordinaire et krigeage d'indicateurs

Classe	KO		KI	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
< 0.3	10544	5.13	13526	6,59
0.3-0.6	46316	22.55	40933	19,93
>0.6	148497	72.32	150898	73,48
Total	205357	100	205357	100

Synthèse

A travers cette analyse géostatistique de l'indice de perturbation, en vue d'étudier la structure de répartition de différentes formations végétales, et les risques de dégradation de différentes zones écologiques de notre aire d'étude, nous avons noté les remarques suivantes :

- L'analyse spatiale géostatistique peuvent constituer un outil puissant pour l'étude de la structure de répartition des formations végétales d'une part, et d'autre part, d'étudier les risques d'extension du phénomène de dégradation dans notre zone d'étude, par l'utilisation de l'Indice de Perturbation (IP).
- L'analyse géostatistique spatiale a abouti à des résultats très corrélés par rapport la réalité de terrains et par comparaison de la carte d'occupation de sols de 2018 de notre zone d'étude.
- L'étude de l'extension des risques de dégradation aux niveaux des deux extrêmes de l'Indice de Perturbation (IP) ($IP > 0.3$ et $IP > 0.6$) semble être bien corrélée avec le gradient altitudinal de notre zone d'étude, en sachant que celui-ci constitue le principal facteur qui définit les différents bioclimats dans notre zone d'étude (Le Houerou et *al.*, 1977, Djebaili, 1984).

A travers cette étude nous avons remarqué :

- Que les zones à vocation forestières et pré forestières, à bioclimat semi-aride, sont des zones à risque de dégradation faible.
- Les zones postes forestière à vocations steppiques, à bioclimat aride, ont un risque d'extension de dégradation moyenne, malgré la forte pression exercée sur celles-ci.
- Alors que les zones présahariennes, à bioclimat présaharien, ont un risque de dégradation plus important.
- La zone d'étude a atteint des niveaux de dégradation élevés avec près de 75% de la superficie sont classés dans la catégorie des formations végétales dégradées et un risque de dégradation probable pouvant atteindre les 90%.

En guise de conclusion on peut déduire que, malgré la grande importance de l'action du facteur anthropique dans le façonnement des paysages des zones arides et semi-arides, celui-ci reste toujours dépendant du l'action climatique et du type de bioclimat ; la vitesse de la remonté biologique et les risque de dégradation sont liées beaucoup plus aux facteurs climatiques qu'à l'action humaine, dans notre zone d'étude.

Conclusion générale

Conclusion

L'objectif de notre travail est d'étudier la dynamique spatiotemporelle de la végétation dans la steppe sud algéroise, au niveau de la région de Djelfa, à travers une étude phytoécologique complétée par une étude multi-temporelle de la végétation.

Pour cela nous avons utilisé différentes techniques statistiques et cartographiques en se basant sur les techniques du traitement des images satellitaires des trois scènes du Landsat : de 1987, de 2001 et celle de 2018, intégrées dans un SIG (Système d'information végétale) en vue de générer les différentes cartes d'occupation de sols, indices de végétations et les différentes cartes thématiques, ce qui nous a donné les résultats suivants :

Pour la caractérisation bioclimatique de notre zone d'étude, nous avons pu montrer qu'il y a trois zones bioclimatiques différentes en allant du nord vers le sud :

- Un bioclimat semi-aride variantes à hivers frais, un bioclimat aride variantes à hivers frais respectivement dans la région de Djellal et dans la région d'Ain el Ible, et un troisième bioclimat présaharien variantes à hivers tempérés dans la région de Messaàd
- Les deux premiers bioclimats ont subi un assèchement climatique, sans que la troisième est caractérisée par une variabilité importante avec un coefficient de variation de (CV) de l'ordre de 42%.

L'analyse statistique appliquée sur nos relevés phytoécologiques nous a permis de distinguer sept groupements végétaux qui se répartissent sur quatre formations végétales : formations forestières, préforestières et formations steppiques et présahariennes.

D'un point de vue biodiversité, la richesse floristique de l'ensemble des formations végétales étudiées est composée de 170 taxons appartenant à 34 familles et 111 genres, dont 27 espèces endémiques (16 %), ce qui représente 3,95 % de la flore totale algérienne estimée à 4300 espèces et sous-espèces de plantes vasculaires.

Nous avons constaté qu'il y a dominance des taxons appartenant à des familles à faible valeur énergétique et écologique tels que les Astéracées d'une part et d'autre part, la dominance des deux phénomènes de dégradation des formations steppiques dégradées, à savoir le phénomène de chamaephytisation et le phénomène de thérophytisation.

Par ailleurs, parmi les différents taxons inventoriés, que recèle notre zone d'étude, un grand nombre d'entre eux sont marqués comme étant menacés de disparitions suivant notre classement des degrés de rareté qui a donné les résultats suivants :

- 34 espèces très rares (20%) et 56 espèces rares soit 33% contre 47% espèces entre communes et très communes sur un total de 80 espèces.

Ce qui fait que plus de la moitié des espèces recensées (53%) sont classées comme étant menacées de disparition telles que : *Alyssum alpestre*, *Ammoides atlantica*, *Euphorbia bupleuroides* ; *Alyssum scutigerum*, *Anacyclus cyrtolepidioides*, *Moricandia arvensis*. Les valeurs des indices de biodiversités ont montré des valeurs moyennes à faibles de l'indice de Shannon (H') et celui de l'équitabilité (E).

Les indices $H' = 3,34$ et $E = 0,55$ caractérisent le groupement steppique à *Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora*, et représentent les valeurs les plus importantes par rapport aux autres groupements végétaux analysés de notre zone d'étude.

L'étude du spectre biologique des formations steppiques à alfa a donné un taux élevé des thérophytes avec un taux de l'ordre de 39%, et un taux élevé chamaephytes, avec un taux de l'ordre de 33%, pour celui de l'autre groupement steppique dominé par le faciès à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* et *Noaea mucronata*, ce qui donne une idée sur l'état de dégradation de cette formation végétale. La thérophytisation et la chamaephytisation sont deux phénomènes de dégradation caractérisant les formations steppiques en voie de dégradation.

L'analyse phytogéographique a montré l'originalité méditerranéenne de la flore de la steppe sud-algéroise, qui diminue en allant du nord vers le sud.

Par ailleurs notre étude cartographique, nous a permis de distinguer quatre zones floristiquement et écologiquement différentes les unes des autres :

- la zone à vocation forestière altitude supérieure à 1100 m : elle est subdivisée en trois zones floristiquement et écologiquement différentes :

- Forêt claire à altitude supérieure à 1300 m, occupant l'anticlinal nord-ouest de notre zone d'étude (généralement occupée par la forêt de Toughressene et une partie située au nord de Djellal Chergui).

Cette formation est présentée, actuellement, par un groupement végétal à *Pinus halepensis* et *Juniperus phoenicea*, alors qu'elle était présentée par une formation forestière bien diversifiée à *Pinus halepensis* et *Juniperus oxycedrus* dans la partie nord, et à *Pinus halepensis* et *Juniperus phoenicea* dans la partie sud.

- La zone préforestière présentée par un Matorral à *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima* avec une altitude entre 1100m et 11300 m, occupant l'anticlinal méridional de la zone forestière sud (dans la forêt du Djellal Gharbi, la partie sud du Djellal Chergui et une petite partie située au nord de Djebel Tafara).

Les formations steppiques post-forestières, occupant le synclinale de la région de Djellal, présentées par les groupements steppiques à *Stipa tenacissima* et ses faciès de dégradation, issues d'une dégradation des formations forestières et préforestières,

L'analyse de la dynamique d'occupation des sols entre les trois scènes d'occupation des sols étudiées (1987, 2001 et 2018) a montré les résultats suivants :

En premier abord, nous avons constaté qu'il y a une régression générale des unités de végétations par rapport aux unités sans végétation : unités de sols nus et celles d'ensablement, avec celles d'unités de dégradation steppiques présahariennes.

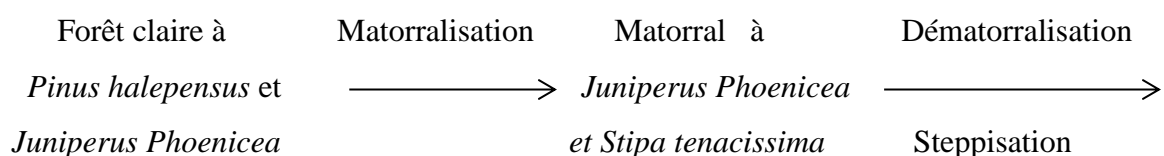
- Les formations steppiques à *Stipa tenacissima* et ses différents faciès de dégradation ont subi une régression importante entre les deux scènes étudiées durant 31 ans (celle de 1987 par rapport celle de 2018).
- En ce qui concerne l'évolution des superficies de différentes unités de végétation, nous avons constaté que la régression la plus importante est celle qui caractérise les superficies occupées par cette formation végétale steppique.

Le taux de cette diminution est de l'ordre de 20,52%, soit une perte de superficie de l'ordre de 55539,36 ha au profit essentiellement des unités sans végétation qui ont subi, quant à elles, une progression de 30,9% soit une augmentation de l'ordre de 74574,78 ha.

Nous avons remarqué aussi que ces formations steppiques se sont réfugiées vers les zones à vocations forestières et au préforestières nord, avec l'altitude, en parallèle d'une diminution de leurs aires de répartition originales. Cette régression s'est faite au profit des formations présahariennes de dégradation à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelea microphylla*, à faible valeurs pastorale, qui ont migré vers le nord par rapport à leurs aires de répartition originale (la zone à altitude < 900m), occupant l'aire de répartition des formations steppiques à dominance d'alfa (*Stipa tenacissima*).

Suite à l'analyse de différentes scènes étudiées, que ce soit d'un point de vue phytoécologique ou bien par rapport à celle issues du SIG (système d'information géographique), nous avons déduit les différents schémas de la dynamique spatio-temporelle des formations végétales dans la steppe du sud algérois, et qui sont comme suit :

Dans la zone à vocation forestière, nous avons assisté aux différents phénomènes de dégradation citant : matorralisation et dématorralisation, steppisation et thérophytisation
Selon le schéma dynamique suivant :



Formations steppiques à *Stipa tenacissima* et ses différents faciès. Thérophytisation — ~~*Loeflingia hispanica*~~ → Pelouse à *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa*

Tandis que dans la zone à vocation steppique, nous avons enregistré les deux phénomènes de dégradation : thérophytisation et chamaephytisation. Dans le cas où la dégradation persiste, il y a l'extension du phénomène de désertification au sens de Le Houerou en 1968 « La désertification est définie comme l'extension de paysages désertiques nouveaux à des zones où ils n'existaient pas dans le passé récent. Ces paysages désertiques sont caractérisés par des formes de terrain particulières : des regs, des hamadas, des dunes et des voiles éoliens ».

	Thérophytisation		Désertisation
Steppe à	—————→	Steppe présaharienne à	—————→
<i>Stipa tenacissima</i>		<i>Astragalus armatus, Arthrophytum</i>	
ses différents faciès		<i>scoparium et Thymelea microphylla</i>	

—————→ Reg ou Hamada, ou bien des dunes vives, selon le type du substrat (calcaire ou bien gréseuse ou autre) et la géomorphologie de la zone étudiée.

Cette dernière évolution caractérise la zone steppique à bioclimat aride à présaharien.

A l'instar des hautes plaines steppiques algériennes, des formations végétales de la steppe sud algéroise ont connu un changement du couvert végétal et donne par conséquence une érosion de la biodiversité caractérisant ses différentes formations végétales.

La majeure partie de cette évolution régressive est due aux perturbations d'origine anthropiques, avec leurs pratiques nuisibles à ces écosystèmes déjà fragilisés par le surpâturage, labours dans des milieux inappropriés aux cultures, coupes illicites, incendies ect....

Ce qui provoque l'extension du phénomène de désertification dans notre zone d'étude à travers les manifestations suivantes :

- L'évolution régressive des formations végétales climaciques forestières vers des formations de dégradation, telles que les formations post-forestière que ce soit vers un

matorral à *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*, ou bien vers des formations herbacées post-forestières : steppe à *Stipa tenacissima* ou pelouse à *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa*, selon les degrés de dégradation.

- L'extension des paysages désertiques, et l'érosion de la biodiversité floristique ;
- Dégradation des formations végétales climaciques au détriment des formations de dégradation ;
- Régression de l'aire de répartition des steppes à alfa (*Stipa tenacissima*), ainsi que ses différents faciès au détriment de formations de dégradations présahariennes, ou bien au détriment des autres unités sans végétation (sols nu, sable.);
- Extension des taxons à faible valeurs fourragère et énergétique rudérales, genres des *Atractylis sp* et *Noaea mucronata* aux détriments des espèces de bonnes valeurs écologiques et fourragères telles que *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba alba* ect.).

Cette évolution régressive de la végétation de notre zone d'étude est causée essentiellement par deux facteurs de dégradation : l'assèchement climatique, et surtout l'effet de la haute pression de facteurs anthropiques par le **défrichage inconsidéré de sols fragiles** sur le couvert végétal, ce qui laisse ces derniers dénudés, par les labours illicites, à l'action décapante des vents. Cette situation est propice à la formation des microdunes donnant lieu à des paysages prédésertiques ; Ceci contribue considérablement à l'amplification et à l'extension du phénomène de désertification dans notre zone d'étude et ce, d'année en année.

A travers l'analyse géostatistique de l'indice de perturbation (IP), appliquée sur notre aire d'étude en vue d'étudier la structure de répartition de différentes formations végétales et les risques de dégradation de différentes zones écologiques, nous avons noté les remarques suivantes :

- L'analyse spatiale géostatistique peuvent constituer un outil puissant pour l'étude de la structure de répartition des formations végétales d'une part, et d'autre part d'étudier les risques d'extension du phénomène de dégradation dans notre zone d'étude par l'utilisation de l'Indice de Perturbation (IP).
- La zone d'étude a atteint des niveaux de dégradation élevés avec près de 75% de la superficie sont classés dans la catégorie des formations végétales dégradées et un risque de dégradation probable pouvant atteindre les 90%.

En guise de conclusion on peut déduire que, malgré la grande importance de l'action du facteur anthropique dans le façonnement des paysages des zones arides et semi-arides ;

la vitesse de la remonté biologique et les risque de dégradation sont liées beaucoup plus aux facteurs climatiques qu'à l'action humaine, dans notre zone d'étude.

Proposition d'aménagement

Au terme de cette étude, et dans le but de lutter contre ce fléau de dégradation qui donne, par conséquences, des déséquilibres socioéconomiques et écologiques, dans toute la région steppique algérienne, il est préférable de faire une généralisation de notre travail sur l'ensemble des régions steppiques algériennes en vue d'établir un plan d'aménagement floristique et écologique sur la base de nos résultats qualitatifs et quantitatifs, qu'ils soit issus du SIG ou bien ceux de notre étude concernant la biodiversité des groupements végétaux ;

Cet aménagement se base sur le plan d'aménagement écologique établi par plusieurs chercheurs dans le domaine de restauration et de réhabilitation des écosystèmes arides et semi arides dégradés :

La restauration et la réhabilitation ont pour but la récréation des écosystèmes autonomes caractérisés par une succession dans les communautés animales et végétales et par la capacité de réparer eux- mêmes les méfaits liés aux perturbations modérées occasionnées par la nature ou l'homme.

Comme objectifs explicite ou implicite, ces deux techniques ont admis un retour au précédent niveau de flux d'énergie et cycles de nutriments ainsi que le rétablissement des conditions nécessaires à un bon fonctionnement hydrique du sol.

La restauration : selon « Society of Ecology Restoration », la restauration écologique est définie comme une action intentionnelle qui initie ou accélère l'auto-répartition d'un écosystème qui a été dégradé endommager ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable. On peut l'appliquer à travers des techniques des pâturages contrôlés (la mise en défens) réservés au rétablissement de la biodiversité, de la structure et des fonctions d'écosystèmes. la durée de la mise en défens dépend du degré de dégradation des parcours et de la conjoncture pluviométrique au cours de la période de protection.

Dans le cas de notre zone d'étude, ceci pourrait être appliqué pour protéger les formations forestières et préforestières, et post-forestières steppiques (Steppe à *Stipa tenacissima*) présentant encore un niveau suffisant de résilience (dégradation non irréversible).

En ce qui concerne les autres écosystèmes qui ont subi une dégradation plus intense, sa dynamique est alors devenue nulle ou interrompue et bloquée à un niveau ou sur une trajectoire différente de celle de l'écosystème de référence ; Une intervention humaine forte est alors

nécessaire, dans les milieux steppiques moyennement dégradée, pour faire évoluer l'écosystème, soit en replaçant l'écosystème sur une trajectoire favorable par :

- **Une réhabilitation:** par la réintroduction de matériel végétal, exemples : des espèces clef de voûte autochtones pour rétablir les essences végétales originales qui ont subi une forte érosion génétique suite aux différentes pressions anthropiques, telles que : *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba helba*, *Lygeum spartum* ect..., ou autres espèces d'importance écologique, et des micro-organismes associés ou encore des travaux du sol permettant une amélioration conséquente de son fonctionnement hydrique ou des cycles de nutriments, etc...,

Soit-on les **réaffectants** vers un nouvel usage utile. Ce nouvel état est éventuellement sans relation de structure et/ou de fonctionnement avec l'écosystème préexistant.

- **la réaffectation** est une transformation des écosystèmes vers deux voies principales :

Soit on fait le recours vers la plantation des arbustes fourragers, avec l'utilisation des espèces allochtones rustiques, et dans ce cas on fait le recours à la valorisation de l'expérience du HCDS (Haut-Commissariat au Développement de la Steppe) dans ce domaine, (depuis le lancement des grand travaux 1994 jusqu'au aujourd'hui), dont les résultats ont été satisfaisants, surtout dans les milieux steppiques gravement touchées par l'utilisation des espèces fourragères allochtones telles que l'*Atriplex canexens*, *Atriplex nummularia*, *Medicago arborea*, ect....)

La deuxième alternative est celle de la réorientation de ces milieux steppiques dégradés, vers un autre usage utile pour la société et le paysage des régions steppiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aidoud A. 1989.** Les écosystèmes pâturés (Hautes Plaines Algéro-Oranaises, Algérie). Thèse de doctorat d'État, université des sciences et de la technologie Houari Boumediène, Alger.
- Aidoud A., 1994.** Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo 37 (16) : 33-42.
- Aidoud A., 1996.** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, 7 : 187-93
- Aidoud A. & Aidoud-Lounis F., 1992.** Evaluation et régression des ressources végétales steppiques des hautes plaines algériennes. In: Gaston A, Kernik M, LE Houerou H N, ed. proceeding of the Fourth International Rangeland congress. Montpellier, 307- 309p.
- Aidoud. Lounis F., 1984.** Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux sud.oranais ; étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse 3e cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 253 p. + Ann.
- Aidoud.Lounis, F., 1997.** Le complexe alfa-armoise-sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba alba* Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales. Thèse de Doctorat, Université d'Aix.Marseille, Marseille. 263 p.
- Aidoud A., Le Floc'h., Le Houerou H.N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Science et changements planétaires/Sécheresse 17, 1-2 : 19-30.
- Alexandre F., 2008.** Géographie et écologie végétale. Pour une nouvelle convergence. Géographie. Université Paris 7 - Diderot, 2008 : 333p.
- Alzaz J. P., 2010.** Les facteurs écologiques abiotiques, la maison d'alzaz ou le blog de l'écologie la maison d'alzaz . Word press.com
- Ambapour S., 2003.** Introduction à l'analyse des données, Document de Travail n° 08/2003, BAMSI, Brazzaville, 35 p.
- Aronson J., Floret Ch., Le Floc'h. Ovalle C., Pontannier R., 1993.** Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi.arid lands. I. A view from the south. Restoration Ecology 1 : 8-17.
- Aronson J, Floret C, Le Floc'h E, Ovalle C, Pontanier R., 1995.** Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semiarides. Le vocabulaire et les concepts. In : Pontanier R, M'hiri A, Aronson J, Akrimi N, Le Floc'h E, eds. L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? Montrouge : John Libbey Eurotext, 1995.
- ASAL, 2010.** Agence spatiale algérienne, 2010, Finalisation de la carte nationale de sensibilité à la désertification par l'outil spatial. Algérie, ASAL. <http://www.asal.dz/desertification.php>.

Aubreville A., 1949b. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Paris, **1** : 352 pp.

Ayad N., Hellal B. et Maatoug M., 2007. Dynamique des peuplements d'*Artemisia herba-alba* Asso dans la steppe du sud oranais (Algérie occidentale). *Sécheresse* 18(3) : 193-198.

Barbault R., 1993. Une approche écologique de la biodiversité. *Natures, Sciences et Sociétés*, 1(4) : 322-329

Barbault F., 1995. *Ecologie des peuplements : structure et dynamique de la biodiversité.* Masson éd. Paris, 278 p.

Barbero M., Bonin G., Loisel R. & Quézel P., 1990. Changes and disturbances of forest Vegetation **87**: 151-173

Bagnoul F. & Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **88**: 193-239

Baret F. & Guyot G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and PAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, **35**: 161-173

Barry J. P., Celles J. C., Faurel L., 1974. Carte internationale du Tapis végétal et des conditions écologiques, au 1/1 000 000. Feuille d'ALGER. *Soc. Hist. Nat. Afr. du N., Alger*.

Bazil . P, Maurel. P, Gouanen. N., 2001. Télédétection satellitaire et gestion du territoire. Document de cours. Univ. Toulouse. 50p.

Ben Slimane M., Hamimed A., Elzerey W., Khaldi A., Mederbal K., 2008. Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord, *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*. **8** : 3-9.

Benabadji N. & Bouazza M., 2002. Contribution à l'étude du cortège floristique de la steppe au Sud d'El Aricha (Oranaie-Algérie), *Rev. Sci. Techn. 17 Univ. Constantine*

Benabadji N., Benmansour D. & Bouazza M., 2007. La flore des monts d'Ain Fezza dans l'Ouest Algérien, biodiversité et dynamique. *Sciences & Technologie* **26**: 47-59

Benaissa M., El Haitoum A., Hadjadj K., 2018. Floristic and medical diversity interest of Djebel Aissa national park (Ksour Montains, Algeria), *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 14 (2): 303-306

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

Bensaïd A. 2006. SIG ET Télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride: le cas de la Wilaya de Naama (Algérie)

Bensaid A. et Smahi Z. 2003. Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques. Revue Télédétection, n° 5, Vol. 3. ISSN : 1028-7736.

Bensaid A., Smahi Z., Iften T. et Benzineh S. 2003. Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques Télédétection. 3 (5) : 387-402.

Benzecri J. P. & coll.1973. L'analyse des données. II L'analyse des correspondances. Bordas, Paris, 620 pp.

Bolstad P., 2016. GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems.

Bonn F., & Rochon G., 1992. Précis de Télédétection : Principe et méthodes. PressUniversitaire du Quebec/ AUPELF. Volume, 633 p.

Bourbouze A. et Donadieu P., 1987. L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes. Options Méditerranéennes, CIHEAM, Série Etudes, 1987, 1 : 100 p.

Bouxin G. 2016. Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation/ Recherche d'adéquation entre les données de végétation et les techniques statistiques, au moyen d'exemples. Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken, 440 p.

Bouxin G., 2020. Analyse statistique des données de végétation. 577 p. Disponible sur Internet à l'adresse suivante : <http://guy.bouxin.e.monsite.com>.

Bradai A, Yahiaoui I, Douaoui A, Abdennour MA, Gulakhmadov A, Chen X. 2022. Combined Modeling of Multivariate Analysis and Geostatistics in Assessing Groundwater Irrigation Sustainance in the Middle Cheliff Plain (North Africa). Water.14(6):924. <https://doi.org/10.3390/w14060924>

Blanquet B. J., 1932. Plant sociology. (Translation by H.S. Conard, G. D. Fuller), Mac Graw Hill Book Co. Inc., New York. 18 + 439 pp.

Bréda N., Soudani K & Bergonzini J.C., 2003. Mesure de l'indice foliaire en forêt. Edition Ecofor., 157 p.

Celles J.C., 1975. Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo. Constantinois (Algérie). Thèse Doct., Univ. Nice.

Chauvin C. & Vallauri D. 2002. Indicateurs de restauration écologique de marnes dégradées dans les Alpes du Sud, 120 ans après reboisement. Revue Ecologique (Terre Vie), supplément 9 : 241-250

Chehma A., 2006. Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides (Université Kasdi-Merbah Ouargla). Ed. Dar El Houda, Aïn Melila, Algérie. 137 p.

Chessel D., Thioulouse J. & Dufour A.B., 2004. Introduction à la classification hiérarchique. Fiche de Biostatistique Stage 7, 56 pp. Disponible à l'adresse Internet. <http://pbil.univlyon1.fr/R/stage/stage7>. Pdf.

Chowengerdt, R. A., 2007. Remote sensing: Models and methods for image processing. Amsterdam [Netherlands: Elsevier.

CNUED, 1992. Rapport sur la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le

Cornet A., 1952. L'Atlas saharien sud-oranais. 19e Congr. géol. intern., Alger, Monogr. Région., 1e sér., 12 : 51 p., 1 pl. h.t.

Cornet A. 2000. Desertification: an environmental problem, a problem of development. Invited Conference, La Londe les Maures, 2000, France.

Cornet A. 2002. La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne, Sommet du Développement Durable, Johannesburg, 2002, pp. 93-130. Davis D.K., 2012, Les mythes environnementaux de la colonisation française au Maghreb, Champ Vallon, Seyssel, 329 p.

Cornet A., 2000. La désertification : un problème d'environnement, un problème de développement. Conférence invitée, La Londe-les-Maures, France

Cornet A., 2002. La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne, 35 p. [En ligne] : www.csf-desertification.org/catalogue/2001_CSFD_Cornet.pdf.

Corre J., 1961. Une zone de terrains salés en bordure de l'étang de Manguio. Etude du milieu et de la végétation. Bull. Serv. Carte phytogéogr., série B, 6 (2) : 105-151 et 7-1 : 9-48

CRBT, 1978. Centre de recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres. Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. CRBT, Alger, 256 pp. + Ann. & Cartes

D.P.T.A., 2017. Direction de la planification et de l'aménagement du territoire, Monographie de la wilaya de Djelfa, 200p

Daget Ph & Poissonet, J., 1964. Quelques remarques sur l'étude des formations herbacées et sur l'expression des résultats, C.R. réunion D.R.T., 12.13 Octobre 1964, Cnrs, Centre Emberger, Montpellier : 50-56

Daget Ph. & Poissonnet J., 1971. Une méthode d'analyse phytosocio-écologique des prairies. Ann. Agro, 21(1) : 5-41

Daget Ph., 1980. Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). In : Barbault R., Blandin P., Meyer J. Actes du colloque d'écologie théorique : Recherches d'écologie théorique : les stratégies adaptatives. Maloine, Paris : 89-114

Daget, Ph. & Poissonet J., 1991. Sur l'évolution de la composition floristique et de la valeur du gazon des pâturages lors d'aménagement, IV Congr. Int. Terres à Pâturage, **28** : 30-32

Dagnelie P., Bonin G., Loisel R. & Quézel P., 1965. Quelques méthodes statistiques d'étude de l'homogénéité et de caractérisation de la végétation. 1er Colloque Intern. Sur les " Ecosystèmes ", Copenhague, 1-7

Dahmani M., 1996. Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediterranea*, XXII 3 (4) : 19-38

Dajoz R., 2000. Précis d'Ecologie (7e édition). Dunod ; Paris. 615 p.

Dajoz R., 2006. Précis d'écologie. Éd. Dunod. Paris .57-77 p.

Debouzie D., Denis B et Rospars J.P.1987. Sampling and spatial distribution C R Acad Agric Fr 73-82

Degorce J. N. et Joliveau T. 1993. Geographical Information System for a diagnosis of the Loire River Basin. EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, 1993, EGIS Foundation. 565-576.

Denis, A., 2020. Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale I.U. Liège. Université de Liège). <https://hdl.handle.net/2268/143553>

Deshayes, M & Maurel, P. 1990. L'image spatiale et son contenu ; la Télédétection en Agriculture. Laboratoire Commun de Télédétection. : CEMAGREF.ENGREF, Montpellier France. Options Méditerranéennes, Série A.4. 10 p.

DGF (Direction Générale des Forêts), 2012. Analyse de la politique du secteur forestier et des secteurs connexes en Algérie, 81pp. www.dgf.org.dz.

DGF. Direction Générale des Forêts, 2004. Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger, septembre 2004, [en ligne] <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria.fre.pdf>

Djaby, B., 2000. Utilisation de la télédétection pour le suivi des parcours en zone agro. Pastorale sahélienne. Mémoire de DEA, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique, 140 p.

Djebaili S., 1978. Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien. Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 229 pp.

Djebaili S., 1984. Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office des publications universitaires (OPU), Alger, 182 pp.

Djebaili S., 1987. Rapport phyto-écologie et pastoral de la wilaya de Djelfa. C.R.D.T. Alger. 159 p.

Djebaili S., Achour H., Aidoud F. & Khelifi H., 1982. Groupes écologiques édaphiques dans les formations steppiques du sud-Oranaises. Bulletin d'écologie terrestre. Biocénose.1 : 7-59

Djeddaoui F. Chadli M., Gloaguen R. 2017. Desertification Susceptibility Mapping Using Logistic Regression Analysis in the Djelfa Area, Algeria. Remote Sens. 9-1031. <https://doi.org/10.3390/rs9101031>

Djellouli Y., 1981. Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux oranais (Wilaya de Saïda). Comportement des espèces vis à vis d'éléments du climat, Thèse de doctorat de 3ème cycle, USTHB, Alger, 178 p.

Djellouli Y., 1990. Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct., USTHB., Alger. 210 p.

Dobignard A. & Chatelain C., 2010.2013. Index synonymique flore d'Afrique du Nord, Conservatoire et jardin botaniques. Genève. Ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin.

Douaoui A. 2005. Variabilité spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas. Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct., INA., Alger, 233 p.

Douaoui A, Lepinard P. 2010. Remote sensing & soil salinity: mapping of soil salinity in the Algerian plain "Lower. Cheliff". Geomatics Expert, 76 : 36-41

Douaoui A., Gascuel.Odoux C., Walter Ch., 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas. Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS,11(4) : 379-39

DPSB (Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires de la wilaya de Djelfa) ,2017. Sur : <http://www.aniref.dz/index.php/>

Emberger L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne, essai d'une classification des groupements végétaux, Rev. Géobot., 42 : 641-662, 705-721.

Emberger L., 1941. Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France, Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 1943, 78 (3) : 159 -180

Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats, Rev. Trav. Lab. Bot. Fac. Sci., Montpellier, 7 : 3-43.

Emberger L., 1971. Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques, in Emberger, 1971b : 291 -301.

Escadafal R., Bégni G., 2016. Surveiller la désertification par télédétection, Dossier thématique du CSFD n°12.Paris 2016.

Floret C. & Pontanier R., 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement. Thèse Doc. Uni. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 580 pp.

- Frontier S. & Pichod V. D., 1998.** Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution. Edition Dunod, 447 p.
- Frontier S., Pichod V. D., Lepretre A., Davoult D. & Luczak C., 2008.** Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution, 4^eédition, Dunod, Paris, 558 pp.
- Gausсен H., 1948.** Carte de la végétation de la France, feuille 78, Perpignan, au 1/200.000. C.N.R.S., Toulouse
- Gausсен H., 1963.** Ecologie et phytogéographie. In : Précis de Sciences biologiques, Botanique : 926-972
- Gehu J.M., Rivaz M., S., 1981.** Notions fondamentales de phytosociologie. Syntaxonomie sche Colloque. Berichte Int. Simp. Verein. Vegetat. Herausg. R. TUXEN. 5-33
- Gimaret. C. C, Chessel D. & Pascal J. P., 1998.** Non.symmetric correspondence analysis: an alternative for species occurrences data. *Plant Ecology* **138**: 97-112
- Girarad M. C., & Girarad C. M. 1999.** Traitement des données de télédétection. Dunod ed. Paris, 9-12
- Google Earth engine. Developers, 2021.**
<https://developers.google.com/earth.engine/datasets/catalog/landsat>
- Gounot M. 1961.** Les méthodes d'inventaire de la végétation. Bull. Serv. Carte Phytogéogr., Série B, **7** : 65-84
- Gounot M., 1969.** Méthodes d'études quantitatives de la végétation. Ed.Masson, Paris, 314p.
- Gounot M., 1971.** Méthodes d'étude quantitative de la Végétation, Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 40 (7) : 107-108
- Grime J.P., 1977.** Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* **111** : 982, 1169.1194.
<https://doi.org/10.1086/283244>.
- Guillet O., 1991.** Etude et modélisation hydro pédologique d'un bassin versant de la zone sahélo-soudanienne au Burkina Faso (utilisation du modèle "SOURCE"). Thèse de doctorat de l'université Paris VI en Sciences de la terre, 267 p.
- Guinochet M., 1955.** Logique et dynamique du peuplement végétal. Ed. Masson, Paris, 144 pp.
- Guinochet M., 1973.** La phytosociologie. Collection d'écologie I. Ed. Masson, Paris, 227 pp.
- Guyot G., 1989.** Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection télédétection, 5-178 p.
- Guyot G., Guyon D. & Riom J., 1989.** Factors affecting the spectral responses of forest canopies: A review. *Geo-carto International*, **3** : 3-17

Habib N., Regagba Z., Djamel Miara M., Ait Hammou M. & Snorek J., 2020. Floristic diversity of steppe vegetation in the region of Djelfa, North. West Algeria, *Acta Botanica Malacitana*, **45**: 1-10

Haddad A., 2011. Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra. Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra. 99 p.

Hadjimitsis D. G., Clayton C. R. I., and Hope V. S. 2004. An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs, *International Journal of Remote Sensing*, 25-18, 3651-3674

Halimatou B., 2010. Caractérisation biophysique des ressources ligneuses dans les zones dégradées et reverdies au Sahel : cas du département de Mayahi (Niger). Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie appliquée. Université Abdou Moumouni. 69 p. Fatimata, 2010.

Hamada S., Dakki M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & Fennane M., 2004. Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc, Flore rare, menacée et halophile. *Acta Botanica Malacitana*, **29** : 43.66

HCDS, 2006. Bilan des réalisations du HCDS, Document interne, Djelfa, 35p

Hebrard J.P., Loisel R., Roux C., Goumila H., & Bonin G., 1995. Incidence of clearing on phanerogamic and cryptogamic vegetation in South Eastern France: disturbance indexes. In Bellan, D., Bonin, G. et Emig, G. Coord, *Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems*. Ed. Lavoisier, Intercept Ltd. :747-758

Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. 2006. An introduction to geographical information systems (3rd Ed.). Harlow, England: Pearson Prentice Hall.

Hildebert I., 1950. La répartition saisonnière des pluies en Algérie, *Annales de Géographie*, **317**: 354-361

Hirsch A., Salamani M., Boughani M., Nedjraoui, D., Hourizi R., Oukil Y., Slimani H., Kheddache Z., Belala F., Ait Hamouda T., Adi N. & Grandi M., 2015. Thirty years of ecological monitoring in Algerian arid rangelands. Pp 125-156 in: Gabriel Ferguson (ed.). *Arid and semi-arid environments*

Hirche A., Boughani A., et M. Salamani, 2007. Evolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. *Science et changement planétaire/Sécheresse*, Vol.18, N°4 314-20

Hirsch A., Salamani M., Boughani M., Oukil Y. & Hourizi R., 2010. Is the desertification really in reverse? The case of SouthWest Algeria. Conference on "Advanced Scientific Tools for Desertification Policy", Roma, 28.29 Sept.

Hirsch A., Salamani M., Boughani M., Oukil Y. & Hourizi R., 2011. Landscape changes of desertification in arid areas: the case of southwest Algeria. *Environ. Monit. Assess.* **179** : 403-420

Hourizi R, Hirche A, Djellouli Y et Nedjraoui D., 2017. Changements spatio-temporels des paysages steppiques d'Algérie. Cas de la région de Méchéria, *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, **1** :72p.

<https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage.data/raster.and.images/what.is.raster.data.htm>.

https://docs.qgis.org/2.8/fr/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html.

Huete, A. R.1988. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, **25**: 295-309

Huete, A.R., Jackson, R.D., 1988. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. *Remote Sens. Environ.* **25** : 89-105.

Huete, A. R.; Justice, C.; Leeuwen, W. V., 1999. MODIS vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis Document Version 3, NASA Goddard Space Flight Center: Maryland. 122p.

Ionesco T. & Sauvage C., 1962. Les types de végétation du Maroc, essai de nomenclature et de définition. *Rev. Geogr. Maroc.* 1 (2) : 75-86p.

Ippc (GIEC), 2020. Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Jacquemoud S., 2006. Physique de l'atmosphère, télédétection et géophysique spatiale, L3 Géosciences fondamentales. Université de Paris 7, Denis Diderot.

Jauffret S., 2001. Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides. Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien. Thèse de doctorat, faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, université d'Aix-Marseille-III, Marseille. *Journal of Geographic Information System.* 12 : 3

Kadi Hanifi_Achour H., 1998. L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relation milieu végétation, dynamique et perspective d'avenir. Thèse Doct. Etat. Univ. Alger, 228 pp.& Ann.

Kadi-Hanifi H. & Salamani M., 2004. Carte de sensibilité à la désertification de l'Algérie du Nord (Kadi-Hanifi et Salamani, 2004, DGF/OSS

Kadik L., 1984. Phyto-écologie des formations à pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill du Séalba Chergui et Gharbi Thèse Doct.3ème cycle. Univ. H. Boumediene Sciences Bab Ezzouar, 281 p. & Ann.

Khouane C. H., Belhamra M. & Aidoud A., 2018. Evolution des communautés végétales de la steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) En Algérie. *Courrier du Savoir* **26** : 107-118

Koffi D. K., Tchaa B., Thiou T., Tchamie K. 2016. Quantification des changements de l'occupation des sols dans la prefecture de Yoto (Sud Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire

Landsat. Revue des Sciences de l'Environnement, Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales (Université de Lomé), 2016 : 137-156. Ffhal.01409418pdf.

Korichi A., 2016. Etude floristique et ethnobotanique de Chouchet Tobdji (forêt de Sénalba Chergui), Région de Djelfa, Thèse Magister, Univ Djelfa, 78 pp.

Labatte J. M., 2010. Biostatistiques. Rappels des cours et travaux dirigés. Analyse des données M2. Université Anger .<http://www.math.univangers.fr.pdf>.

Lacoste A & Salanon R., 1999. Eléments de biogéographie et d'écologie, ed. Nathan 318 p.

Lacoste A et Salanon R., 2005. Elément de biogéographie et d'écologie. 2ème Ed. Nathan, Paris, 291p

Lagarde J., 1995. Initiation à l'analyse des données. Ed. Dunod. Paris, 157pp

Lahmar B., 2001. Mécanisme de désertification dans une steppe à armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso) : cas de la région d'EL May (Sud-Oranais, Algérie). Thèse de Magistère. Univ. Sci. Tech. H. Boumediene.93 P

Langlois P., 1987. Modélisation et algorithmes du traitement de la couleur. Cahiers Géographiques de Rouen : le traitement informatique de la couleur en cartographie, **27** : 1-44

Le Floc'h & Aronson J.,1995. Ecologie de la restauration. Définition de quelques concepts de bas. Natures. Sciences. Sociétés, 29-35

Le Houerou H.N., 1968. La désertisation du Sahara septentrionale et des steppes limitrophes (Libye, Tunisie, Algérie.). Réunion technique sur l'économie et la conservation de la nature (Hammamet, Tunisie, 24 - 30 Mars 1968), INRA., Alger, 25 p.

Le Houerou H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie 42: 624 p.

Le Houerou H.N. et al., 1979. Etude bioclimatique des steppes algériennes. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr Nord,8 (3-4), 33-74 + carte 1/1 000 000ème

Le Houerou H. N., 1993. Changements climatiques et désertisation. Revue Sécheresse 1993 ; Vol. 4 : 95-111.

Le Houerou H.N., 1995. Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique, Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes, série B : recherche et études 10 : 396 pp.

Le Houerou H.N., Claudin J., Haywood, M. & Donadieu, 1975. Etude phytoécologique du Hodna (Algérie). 154 p., 1 carte coul., 3 feuilles 1/200.000 (25.000 km), AGS : DP/ALG/66/509. Rapp. Techn. n°3, FAO, Rome.

Le Houerou H.N., Pouget M. & Claudin J., 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes. Bull. Soc. Hist. Nat. de YAfr. Du Nord, 68 : 37-74 (3 cartes 1/1 .000.000).

Le Houeou H.N., 1985. La régénération des steppes Algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger, ronéotypé

Lemee G., 1967. Précis de biogéographie. Masson et Cie, Paris. 258p.

Lerman I.C., 1977. Reconnaissance et Classification des structures finies en Analyse des données, rapport 70, I.R.I.S.A., Université de Rennes.

Lillesand T. & Kiefer R. & Chipman, J., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition). 10.2307/634969

Long G., 1974. Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire, Vol.1. Ed. Masson, Paris, 252 pp.

Long, G. 1975. Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. II. Application du diagnostic phyto-écologique. Masson, Paris, 222 p.

Loseen D., Mougin, E., Rambal S., Gaston A., & Hiernaux, 1995. A regional Sahelian grassland model to be coupled with multispectral satellite data. I: Model description and validation. Remote Sens. Environ., **52**: 181-193.

Mack P.,1998. From Engineering science to big science. Chap 10: Landsat and the Rise of Earth Resources Monitoring., NASA. 1998.

Mahamane A 2005. Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger. Thèse de doctorat d'Etat. Université Libre de Bruxelles. 484p.

Maire R. 1952-1987. Flore de l'Afrique du Nord, (Maroc, Algérie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Paris, Paul Le chevalier, coll. " Encyclopédie biologique " (ISSN 03014274).

Matheron, G.1965. Les variables régionalisées et leur estimation : une application de la théorie de fonctions aléatoires aux sciences de la nature, l'Université de Virginie, Masson et Cie. 306 p.

Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G. 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI)and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High. Density Cypress Forest. Sensors, **7** : 2636-2651

Maurel P., 2002. Initiation à la télédétection. UMR Cemagraf ENGREF : 5-39

McHugh ML., 2012. Interrater reliability: the kappa statistic. Biochem Med (Zagreb). PMID: 23092060; PMCID: PMC3900052.; 22-3: 276-82

Meddour R., 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tuxenienne, Université Mouloud Mammeri, Dept. Sc. Agronom., Tizi Ouzou, 40 pp.

Medjahdi B.,Letreuch. Belarouci A., Maazouz & Taïbi K., 2018. Diversité floristique des subéraies des monts de Tlemcen (Nord.Ouest Algérien) Fl. Medit. **28** : 66-77

Melzi S., 1986. Approche phytoécologique du processus de la désertification dans un secteur présaharien. Messaâd Djelfa., thèse Magister. Univ. Sci. Technol. H. Boumediene. Alger, 133pp.

Melzi S., 1993. Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. Sécheresse, **4** : 113-116

Merouane B., 2014. Quelques aspects liés à la désertification dans la steppe de sud de Tlemcen. Univ. Abou Bekr Belkaid Tlemcen (UABT). Mémoire. Ing. 142p

Mezrag M., 2018. Dynamique environnementales en zone steppique à Djelfa (Algérie), caractérisation par télédétection des changements de couverture végétale et des processus d'ensablement, Université de Lyon, 2018. Français.401p.

Monod T., 1992. Du désert. Sécheresse, 3(1) : 7-24.

Morey L. C., Blashfield, R.K. & Skinner H.A., 1983. A comparison of cluster analysis techniques within a sequential validation framework. Multivar. Behav. Res., **18** : 309-329

Moulay A., Benabdeli K. et Morsli A., 2011. Contribution à l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* du sud-Ouest Algérien. *Mediterranea*, Ser., II. **22**: 149-188

Nedjimi B et Homida M., 2006. Problématique des steppes algériennes et perspectives d'avenir. *Revue des chercheurs*.

Nedjraoui D., 1981. Teneur en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation (*Artemisia herba alba*, *Lygeum spartum*, *Stipa tenacissima*) des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saida. , Thèse 3ème cycle. Uni. Sci. Tech. H. Boumediene, Alger.159p.

Nedjraoui D., 1990. Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. Sciences, USTHB, Alger, 256p.

Nedjraoui D. 2001. Le profil fourrager de l'Algérie. Rapport URBT Alger.

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, 2004. p. 239-243 (Cahiers Options Méditerranéennes ; n. 62)

Nedjraoui D. & Bedrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo* 8 .1 : 53-75. <http://vertigo.revues.org/>

Nègre R., 1966. Les thérophytes. *Bull. Soc. Bot. France* 113, suppl., **2** : 92-108

Ozenda P. 1977. Flore du Sahara Septentrional. Ed. Centre nati. Rech. Sec. (C.N.R.S). Paris.622p

- Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin, Paris, 431 pp.
- Ozenda P., 2004.** Flore du Sahara, 3^{ème} ed. CNRS. Paris, 622 pp.
- Pignatti S., 1982.** Flora d'Italia, 1. Ed. Edagricole, Bologna.
- Pouget M., 1971.** Etude agro pédologique du bassin du Zahrez Gharbi (Feuille Rocher de Sel), Echelle 1/10 000. Etude DEMRH. Alger, 160 pp.& 5 cartes couleurs.
- Pouget M., 1977.** Région de Messaàd Ain El Ibel. Notice explicative n° 67, cartographie des zones arides. Géomorphologie, pédologie, groupement végétal, aptitude du milieu pour mise en valeur. O.R.S.T.O.M., Paris, 69 pp.
- Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroise. Trav. Docum.. ORSTOM. Paris, **116**: 8-556
- Pragati U., Sudha G. 2012.** "Introduction to satellite imaging technology and creating images using raw data from Landsat satellite ", IJGTI, 1(1): 126p.
- Puletti N., Perria R. & Storchi P., 2014.** Unsupervised classification of very high remotely sensed images for grapevine rows detection, European Journal of Remote Sensing, 47:1, 45-54, DOI: 10.5721/EuJRS20144704
- Quezel P., & Santa S., 1962.1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris.
- Ramade F. ,1994.** Eléments d'écologie : écologie fondamentale Edité par 9-Dunod, Paris.789 p.
- Raunkier C.,1934.** Biological types with reference to the adaption of plants to survive the unfavourable season, Ch. 1, p. 1 du recueil de travaux traduits en anglais, Oxford.
- Rekis, A., 2012.** Etude spatio-temporelle du changement de la végétation de la région ouest de Biskra. Approche cartographique par télédétection. Mémoire de master, Université de Mohamed Khider, Biskra.99p.
- Richard C., Grégoire G. & Frédéric A., 2010.** Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité végétale des écosystèmes forestiers : éléments de réflexion pour faire les bons choix. Rev. For. Fr. LXII **2** : 141-154
- Richard, B.1995.** Psychologie des groupes restreints. Cap. Rouge : Presses Inter Universitaires.Revue des sciences de l'éducation, 21(3) : 625-62
- Rognon P., 1996.** Désertification et aménagement, séminaires Med-campus, Université de Murcia, **8** : 25-49
- ROSELT /OSS., 2004.** Document scientifique DS n°1 conception, organisation et mise en œuvre de ROSELT/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la

biodiversité et des changements environnementaux. IRD. Collection ROSELT/OSS, Document Scientifique n°4. Montpellier : 50p. ISBN : 9973-856-13-9

ROSEL/OSS, 2008. Contribution Technique n° 1, CT n° 1. Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation.

ROSELT/OSS, 2009. Indicateurs écologiques du rosel/Oss, désertification et biodiversité des écosystèmes circum-sahariens, CollectionRoselt/OSS., contribution technique.

Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., 1973. Monitoring the vernal advancement and retro gradation (green wave effect) of natural vegetation: Progress Report RSC 1978-2. Available online : <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740004927.pdf>

Roux G. & Roux M., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. Rev. Stat. Appl., 15.2: 9-72

Salemkour N., k. Chalabi, y. Farhi & m. Belhamra. 2012. Inventaire floristique de la région des Ziban Journal Algérien des Régions Arides, 9 : 9-21

Sauvage C., 1960. Flore des subéraies marocaines (Catalogue des Cryptogames vasculaires et des Phanérogames). Trav. Inst. Sci. Chérif. Bot., 22-252 p.

Sauvage C., 1961. Recherches botaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Cherifien, Bot., 2 : 1-462

Seltzer., 1946. Le climat d'Algérie Tav institue météo et physique du globe L'université d'Alger, 219 p.

Shalaby, A. & Tateishi R. 2007. Remote Sensing and GIS for Mapping and Monitoring LC and Land. Use Changes in the Northwestern Coastal Zone of Egypt. Applied Geography, 27: 28-41

Soudani K., 1999. Etude de la structure et de la dynamique spatiale et temporelle des canopées forestières : approche par méthodes optiques indirectes et par télédétection. Thèse. Doct. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 227p.

Soudani K., 2006. Module Géomatique. Faculté des Sciences d'Orsay. Laboratoire Ecologie Systématique et Evolution UMR 8079 CNRS. Université Paris Sud XI

Stewart P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. Bull. soc. Hist. Nat. Afr. du Nord ; Alger, 59 : 14 p.

Taibaoui B., 2008. Etude phytoécologique et diachronique de la végétation d'une steppe à Armoise blanche (*Artemisia herba alba*) de la coopérative Yahiaoui (région d'Aïn Oussera, Wilaya de Djelfa). Mémoire de Magister. Univ. Sci. Technol.H. Boumedienne, Alger, 83pp. + Ann.

Taibaoui B., Douaoui A. & Bouxin G., 2020. Diversité Floristique De La Steppe Sud Algéroise : Cas De La Région De Djelfa (Algérie). LEJEUNIA, revue de botanique, Nouvelle série 203 : 41p.

Trayssac J. 1981. Etude géomorphologique du bassin versant de l'Oued Djelfa-Mellah, versant nord des monts des Ouleds Nails. Etudes méditerranéen, fasc. 3 : 241p

Tricart J., Cailleux A. 1969. Le modelé des régions sèches. Traité de géomorphologie, tome V, SEDES, Paris, 472 p.

Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment, **8** : 127-150.

URBT (Unité de recherches biologiques et terrestres), 1987. Rapport Phytoécologique de la Wilaya de Djelfa. URBT, Alger, 159 pp.

USGS.2021. <https://www.usgs.gov/faqs/what.are.best.landsat.spectral.bands.use>. my.research?qt.news_science_products=0#qt.news_science_products

Vachon M., Beaulieu. P. D., Ouellette A. & Achille M., 2005. Analyse de classification hiérarchique et qualité de vie. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, **1** :25-30

Zâafouri M.S., 1993. Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Thèse de Doctorat, Université de droit, d'Economie et des sciences, Aix Marseille III, France : 200p.

Annexes

Tableau I : Changement d'occupation de sols entre 1987 et 2001

1987													
2001		For	Mat	Stp alfa	Stepp e d	Stppepr éshar	Stppepr saha d	Cultr	Agg- R	Sols nus	Sabl e	Raw Total	Clas s total
	For	1678,23	225,18	13,86	9,63	0	0	13,41	0,54	0,09	0	1940,94	1943,19
	Mat	319,95	4788	2241,72	1234,62	13,77	17,19	43,92	194,85	5,58	0,36	8859,96	8876,52
	Stp alfa	646,56	3360,33	1019,16	8923,32	63,99	78,57	266,04	5431,14	24,12	1,17	2899,44	2905,55
	Stppe-d	118,89	645,66	2028,96	3633,25	3019,68	10907,1	249,39	3355,92	2342,16	32,49	5903,55	5921,06
	Stppepr esah	0	17,91	622,71	9850,05	7873,11	5948,64	0,99	1090,94	100,53	8,73	3533,202	3540,95
	Steppe prsah-d	0	1,08	45,45	9512,28	9012,69	50391,27	5,76	3535,47	5662,53	657,09	7882,362	7903,93
	Cultr	139,14	72,9	30,33	1135,17	208,17	340,02	689,04	889,38	161,64	2,43	3668,22	3704,67
	Aggl-R	107,37	606,15	2830,95	5139,36	2038,95	3160,71	269,55	1851,1	1439,82	162	3426,588	3444,28
	Sols-nu	0	0	2,16	107,91	3,15	250,11	0	14,04	990,27	30,69	1398,33	1400,13
Sable	0	0	0,72	250,02	452,79	9529,65	0	74,07	1352,7	4536,63	1619,658	1622,19	
Clss-T	3021,57	9730,89	1805,94	7267,27	22727,07	80779,41	1551,6	4306,9	1211,319	5435,91	0	0	

Class Chang	1343,34	4942,89	7860,78	3634,02	14853,96	30388,14	862,56	2455,7,9	1112,2,92	899,28	0	0
Image Diff	-1078,38	-854,37	1099,5,57	-1346,4,72	12682,44	-1740,15	2153,07	-8626,1	-1071,3,1	1078,6	0	0

Tableau II: Changement d'occupation de sols entre 2001 et 2018

2001													
2018		For	Mat	Stp alfa	Stepped	Stppepr éshar	Stppepr sahad	Cultr	Agg-R	Sols nus	Sabl e	Raw Total	Clas s total
	For	1599,84	230,4	483,48	69,3	0,36	0	132,57	89,46	0	0	2605,41	2613,51
	Mat	249,57	2509,83	4109,31	2011,68	57,15	34,56	383,4	1683,72	3,78	3,78	1104,6,78	1108,9
	Stp alfa	70,02	3108,06	8809,2	3950,55	78,39	66,69	57,15	771,84	12,87	2,25	1692,7,02	1108,9
	Stppe-d	14,67	1618,92	4393,71	1101,3,66	383,85	338,85	4,59	423	4,68	9,36	1820,5,29	1108,9
	Stppepr esah	0	5,76	1291,41	1169,01	16575,39	470,79	2,88	1524,15	0,18	30,6	2107,0,17	1108,9
	Steppe prsah-d	0	34,02	65,61	1392,7,05	8676,18	44066,79	101,97	5810,22	60,57	4176,81	7691,9,22	1108,9
	Cultr	3,78	40,95	83,25	1054,62	265,5	1001,16	657,36	814,41	10,89	83,16	4015,08	1108,9
	Aggl-R	0	623,79	1268,82	7434,27	3706,11	1795,14	123,03	1112,3,2	9,09	92,7	2617,6,14	1108,9

	Sols-nu	3,42	688,5	8512,38	1777,1,22	5553,81	22932,99	2230,02	1203,4,9	1273,68	5242,86	7624,3,77	1108,9
	Sable	0	0,36	0,09	682,29	50,13	8259,75	3,6	67,5	23,04	6566,58	1565,3,34	1108,9
	Clss-T	1943,19	8876,52	2905,5,51	5921,0,55	35409,51	79039,26	3704,67	3444,2,8	1400,13	1622,1,9	0	1108,9
	Class Chang	343,35	6366,69	2024,6,31	4819,6,89	18834,12	34972,47	3047,31	2331,9,6	126,45	9655,29	0	1108,9
	Image Diff	670,32	2212,47	-1210,1,85	-4096,8,54	-14310,72	-1930,95	326,07	-8165,3	7506,1,71	-558,09	0	1108,9

Tableau III : Changement d'occupation de sols entre 1987 et 2018

1987														
2018		For	Mat	Stp alfa	Steppe d	Stppepr éshar	Stppepr saha d	Cultr	Agg-R	Sols nus	Sable	Raw Total	Class total	
		For	1769,67	305,73	99,54	215,91	0,45	1,08	195,57	14,22	1,08	0	2603,25	2613,51
		Mat	909,99	3165,84	1824,03	4402,26	16,38	58,05	476,19	154,17	28,35	6,66	11041,92	11089
		Stp alfa	267,66	4421,97	5732,46	6149,34	24,03	59,31	106,74	112,86	48,87	0,9	16924,14	16953,7
		Stppe-d	14,67	1171,71	3042,81	13133,25	112,59	277,02	2,61	275,49	179,28	0,81	18210,24	18242
		Stppepre sah	0	0,54	518,4	6004,44	4345,2	2498,67	0,9	7601,13	55,44	29,25	21053,97	21098,8

Steppe prsah-d	0,09	21,6	490,05	12197, 7	11792, 88	42883,3 8	4,14	6564, 15	2139, 84	751,5 9	76845, 42	77108 ,3
Cultr	16,38	7,92	15,57	1068,9 3	484,56	1049,94	172,7 1	893,2 5	281,5 2	23,67	4014,4 5	4030, 74
Aggl-R	1,26	216,3 6	1727,5 5	9136,1 7	1772,1	2494,44	23,13	1039 1,1	375,2 1	39,33	26176, 68	26277 ,6
Sols-nu	39,51	405,4 5	4494,2 4	19494	3704,9 4	21093,1 2	554,5 8	1657 1,1	8156, 34	1696, 95	76210, 2	76461 ,8
Sable	0	0	90	733,23	434,43	10258,2	11,34	407,5 2	829,7 1	2879, 28	15643, 71	15663 ,8
Clss-T	3021, 57	9730, 89	18059, 94	72675, 27	22727, 07	80779,4 1	1551, 6	4306 9	12113 ,19	5435, 91	0	0
Class Chang	1251, 9	6565, 05	12327, 48	59542, 02	18381, 87	37896,0 3	1378, 89	3267 7,8	3956, 85	2556, 63	0	0
Image Diff	- 408,0 6	1358, 1	- 1106,2 8	- 54433, 26	- 1628,2 8	-3671,1	2479, 14	- 1679 1	64348 ,65	1022 7,9	0	0

LEJEUNIA

REVUE DE BOTANIQUE

Nouvelle série N° 203

Décembre 2020

DIVERSITÉ FLORISTIQUE DE LA STEPPE SUD ALGÉROISE : CAS DE LA RÉGION DE DJELFA (ALGÉRIE)

by

Brahim TAIBAOUI¹, Abdelkader DOUAOUI² & Guy BOUXIN³

Résumé

La zone sur laquelle porte notre contribution est localisée dans la steppe sud Algéroise (Algérie). Cette recherche est consacrée à l'analyse de la diversité floristique dans la région de Djelfa.

L'étude de la végétation de notre zone d'étude, a permis de discriminer sept groupements végétaux distincts sur le plan floristique et physionomique. L'analyse de la phytodiversité globale, a permis de recenser 170 taxons appartenant à 34 familles et 111 genres. Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Brassicaceae et Cistaceae sont les familles les plus représentées avec environ 59% des espèces. Le spectre biogéographique global indique la dominance des espèces méditerranéennes avec 80 espèces soit 47 % des taxons dénombrés. 27 espèces endémiques soit 16 % ont été identifiées, dont 16 espèces le sont d'Afrique du Nord. L'analyse des types biologiques a montré la dominance des thérophytes qui représentent 85 taxa soit 50 % par rapport aux autres formes de vie. L'analyse de la diversité floristique par l'utilisation de l'indice de Shannon-Weaver (H') dans les unités de végétation (forêt, matorral, pelouse, steppe à alfa, steppe présaharienne), a montré une diversité moyenne à faible qui oscille entre 3,34, dans les formations végétales de la steppe à alfa, et 2,40 dans la steppe présaharienne dégradée. Ces résultats

¹ Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Université Ziane Achour – Djelfa, Algérie. Email: ecotyb@gmail.com

² Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Centre Universitaire de Tipaza, Algérie. Email : aekdouaui@gmail.com

³ Rue des Sorbiers, 33 à B-5101 Erpent, Belgique. Email : guy.bouxin@skynet.be

sont confirmés par l'indice de Pielou (E) avec respectivement 0,55 et 0,39 dans les deux formations.

Mots clés : Steppe Sud Algéroise, Algérie, diversité floristique, endémisme.

Abstract

The area covered by our contribution is located on the southern Algerian steppe (Algeria). This research is dedicated to the analysis of the floristic diversity of the flora in the Djelfa region.

The study of the vegetation in our study area made it possible to discriminate seven distinct plant groupings on the floristic and physiognomic level.

The analysis of the global plant diversity made it possible to identify 170 taxa, belonging to 34 families and 111 genera. Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Brassicaceae and Cistaceae are the most represented families with about 59 % of species. The biogeographic spectrum indicates the dominance of Mediterranean species with 80 species or 47 % of the recorded taxa. 27 endemic species or 16 % have been identified, 16 of which are endemic to North Africa. The analysis of biological types showed the dominance of therophytes which represent 85 taxa or 50 % compared to other life forms. The analysis of floristic diversity with the Shannon-Weaver (H') index in the vegetation units (forest, matorral, grassland, alfa steppe, pre-Saharan steppe), showed a medium to low diversity that oscillates between 3.34 in alfa steppe, and 2.40 in degraded pre-Saharan steppe. These results are confirmed by the Pielou index (E) with 0.55 and 0.39 respectively in both formations.

Keywords : Southern Algerian Steppe, Algeria, floristic diversity, endemism.

1. INTRODUCTION

La steppe algérienne, qui occupait plus de 20 millions d'hectares, constitue les parcours de pâturage les plus répandus des pays Nord africains (DJEBAILI, 1984, HIRCHE et al., 2011). La formation végétale steppique en Algérie, malgré le rôle écologique et économique qu'elle assure sur une grande région géographique, est confrontée depuis plusieurs décennies à un processus de dégradation devenant de plus en plus irréversible (AIDOUUD et al., 2006, NEDJRAOUI & BEDRANI, 2008, TAIBAOUI, 2008, HIRCHE et al., 2010, MOULAY et al., 2011).

La région de Djelfa, à l'instar des autres wilayas steppiques de l'Algérie est marquée par le phénomène de désertification. L'étude sur la sensibilité à la désertification menée par l'agence spatiale algérienne ASAL en 2010, a mis en exergue le danger qui menace cette région ; environ 39.213,83 hectares de terres sont désertifiés et 48.148,50 hectares sont très sensibles à la désertification (CHAUCHE KHOUANE et al., 2018, GHAFLOUL et al., 2019).

En outre, la gestion rationnelle des ressources de ces écosystèmes ne saurait être efficace sans une bonne connaissance de la structure et de la composition floristique de ces écosystèmes (ARONSON et al., 1993, CHAUVIN & VALLAURI, 2002).

Par ailleurs, plusieurs recherches ont été effectuées sur l'écosystème steppique de la région de Djelfa telles que les travaux phytoécologiques et cartographiques de POUGET (1977, 1980), DJEBAILI (1978, 1984), MELZI (1986), MELZI et al. (1993), URBT (1987), NEDJRAOUI & BEDRANI (2008). Cependant peu d'études ont été consacrées à l'inventaire et l'actualisation de la diversité floristique de cette zone qui offre un patrimoine préforestier de 152.753 hectares (DGF, 2012).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre recherche qui porte comme objectif l'étude de la diversité floristique des formations végétales de la steppe Sud Algéroise de la région de Djelfa.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Zone d'étude

La province de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie, au-delà de la limite sud de l'Atlas Tellien (HABIB et al., 2020). Notre zone d'étude qui couvre une superficie de 179.903 hectares, se situe sur le versant sud des Monts des Ouled Nail, qui constitue la partie centrale des massifs

montagneux de l'Atlas Saharien. Elle touche plusieurs communes et s'inscrit entre les coordonnées suivantes (Fig.1) :

- Latitude Nord : $34^{\circ}05'$ et $34^{\circ}30'$
- Longitude : Est : $3^{\circ}10'$ et $3^{\circ}30'$

La zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hivers froids avec des étés chauds et secs. Elle est caractérisée par une pluviométrie de l'ordre de 350 mm au Nord à moins de 243 mm au Sud. La zone enregistre 10 à 13 jours d'enneigement en moyenne et 20 à 30 jours de vents dominants d'origine désertique durant l'année (POUGET, 1980).

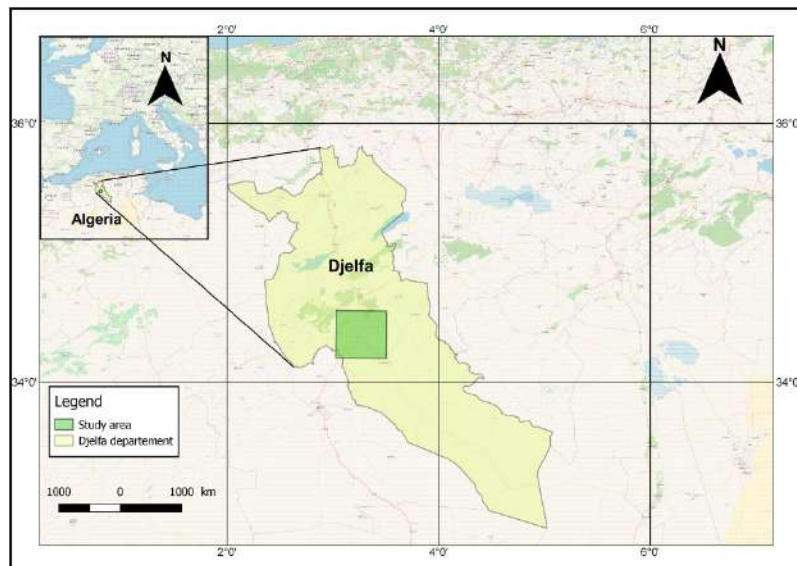


FIG. 1 - Situation géographique de la zone d'étude.

2.2 Méthodes

Plusieurs habitats écologiques ont été étudiés: forêt claire, matorral, steppe à alfa et steppe présaharienne. L'étude de la végétation a été faite en tenant compte des travaux antérieurs, tels que LE HOUÉROU et al. (1977), POUGET (1977) et MELZI (1986).

50 relevés floristiques ont été effectués durant la période optimale de végétation suivant un échantillonnage mixte (stratifié, subjectif) qui tient compte de la variabilité des formations végétales rencontrées. Selon la méthode sigmatiste, les relevés ont été réalisés sur des aires homogènes d'un point de vue écologique (GOUNOT, 1961, 1969, DAGET & POISSONET, 1971, LONG, 1974, LE HOUÉROU, 1995, OSS, 2008, RICHARD et al., 2010).

Nous avons adopté, d'une part une aire minimale de 100 m² préconisée par l'URBT (1978), DJEBAILI (1978, 1984) et BOUAZZA & BENABADJI (2002) pour les formations steppiques algériennes, et d'autre part une aire minimale de 400 m² recommandée pour les groupements forestiers (GUINOCHET, 1955, 1973, GÉHU & RIVAS-MARTINEZ, 1981, OZENDA, 1982, DJEBAILI, 1984).

L'identification et la nomenclature des espèces se base sur les ouvrages suivants : la nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales (QUÉZEL & SANTA, 1962), la flore de l'Afrique du Nord de René MAIRE (1952 - 1987), Flore et végétation du Sahara (OZENDA, 2004), l'index synonyme et bibliographique de la flore Nord-africaine (DOBIGNARD & CHÂTELAIN, 2010-2013).

Les types biogéographiques des espèces ont été déterminés sur base des travaux de QUÉZEL & SANTA (1962), PIGNATTI (1982) et DOBIGNARD & CHÂTELAIN (2010-2013). Nous avons utilisé la classification de RAUNKIAER (1934) qui se base sur la position qu'occupent les méristèmes en dormance par rapport au niveau du sol durant la mauvaise saison et se subdivise ainsi en phanérophytes, chaméphytes, héli-cryptophytes, thérophytes et géophytes.

Afin d'évaluer la diversité spécifique de notre zone, nous avons utilisé l'indice de Shannon-Weaver pour mesurer la structure intra-biotope de chaque unité de végétation (RAMADE, 2003) et l'indice d'équitabilité ou indice de régularité de PIÉLOU qui permet de mesurer la répartition des individus au sein des

espèces, indépendamment de la richesse spécifique. L'indice varie entre 0 (dominance d'une des espèces) et 1 (équirépartition des individus dans les espèces) (FRONTIER et al., 2008).

Dans le but d'estimer la rareté des taxons, nous avons utilisé l'échelle proposée par MEDJAHDI et al. (2018). RR : l'espèce est considérée comme très rare si elle n'est présente que dans 1 à 2 relevés ; R : rare si elle est retrouvée de 3 à 5 fois ; C : commune si elle se rencontre de 6 à 10 fois ; AC : assez commune si elle se rencontre de 11 à 20 fois ; CC : très commune si on la rencontre plus de 20 fois.

2.3 Analyse des données

L'analyse du tableau de relevés a été faite au moyen de l'analyse non-symétrique des correspondances NSCA (GIMARET-CARPENTIER et al., 1998). Cette technique part de l'observation de la manière dont les données sont récoltées sur le terrain. Les présences des espèces sont observées parmi des relevés. Les relevés (nombre, position, par exemple) sont choisis par l'observateur, pas les espèces. Il en résulte une dissymétrie fondamentale qui est explorée par cette technique. La différence entre l'analyse des correspondances classique (CA) et l'analyse non-symétrique concerne précisément la métrique. Les espèces ont un poids uniforme égal à l'unité dans NSCA alors que CA est basée sur la métrique χ^2 qui implique un double "averaging" calculé à partir des totaux marginaux des lignes et colonnes des tableaux. Cette dernière technique est ainsi qualifiée de duale. Dans NSCA, une forte importance est accordée aux espèces abondantes et l'effet des espèces rares est fortement limité. Dans un tableau d'occurrences, un grand nombre de taxons rares ne sera donc pas un facteur limitant. Un poids très faible ramène automatiquement un taxon vers l'origine.

Avant analyse, le tableau originel a été transformé en un tableau disjonctif, avec trois lignes potentielles par espèce, une pour les présences, une pour les abondances supérieures à 1 et une troisième pour les abondances supérieures à 3. Cette

technique, utilisée à de nombreuses reprises, évite les écueils venant de l'analyse de données d'abondance brutes tout en les intégrant d'une autre manière (BOUXIN, 2016, 2020). Les analyses ont été faites avec des programmes en R. Un test par permutation permet d'identifier les valeurs propres et contributions relatives significatives des espèces et relevés, avec un risque de première espèce $\alpha = 0,05$.

La classification ascendante hiérarchique (CAH), est préconisée par ROUX & ROUX (1967) comme complément à des analyses multivariées (LERMAN, 1977, MEDDOUR, 2011). Elle est faite suivant la méthode de WARD jugée la plus pertinente par plusieurs chercheurs (VACHON et al., 2005, LABATTE, 2010).

3. Résultats

3.1 Phytodiversité des unités de végétation

170 taxons appartenant à 34 familles et 111 genres ont été identifiés, ce qui représente 3,95 % de la flore totale algérienne estimée à 4300 espèces (DOBIGNARD & CHÂTELAIN, 2010 – 2013, BENAÏSSA et al., 2018).

Sur l'ensemble des familles recensées (Fig. 2), cinq familles dominant la flore de la région d'étude, ce sont : Asteraceae avec 41 espèces (23,56 %), Poaceae avec 20 espèces (11,49 %), Fabaceae avec 17 espèces (9,77 %), Brassicaceae avec 13 espèces (7,47 %) et Cistaceae avec 9 espèces (5,17 %). Ces familles représentent à elles seules 59 % des espèces inventoriées.

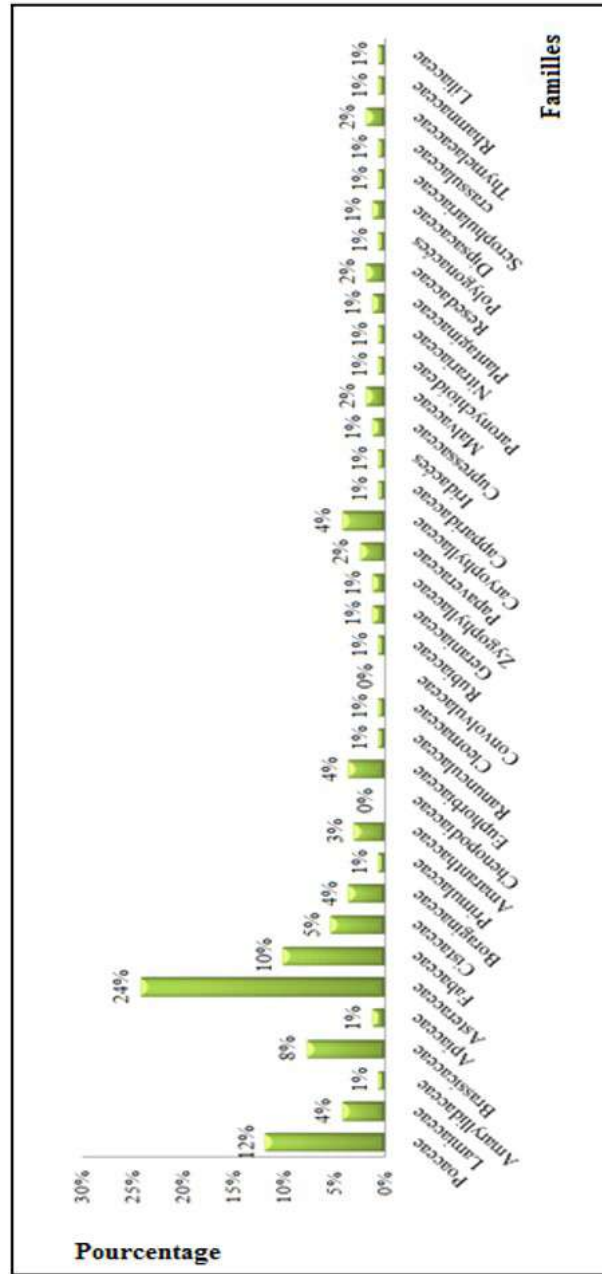


FIG. 2 - Richesse globale des familles botaniques recensées.

D'autres familles comme les Lamiaceae, Caryophyllaceae, Euphorbiaceae, Boraginaceae, Amaranthaceae et Papaveraceae sont moyennement représentées avec respectivement 7, 6, 5 et 4 taxons. Les autres familles sont peu représentées et offrent seulement 1 à 3 espèces.

Nous constatons ainsi la dominance des Asteraceae, Poaceae et Fabaceae. Ce constat est souligné par plusieurs chercheurs, notamment BENABADJI et al. (2007).

3.2 Types biologiques

La répartition des types biologiques de l'ensemble de la flore de notre région d'étude est caractérisée par le schéma qui suit : Th > He > Ch > Ph > Géo (Fig. 3). Nous enregistrons une dominance des thérophytes qui constituent la moitié de l'ensemble floristique, avec un total de 85 espèces, soit 50 %. En deuxième rang, viennent les hémicryptophytes qui sont représentées par 44 taxons soit 26 %. Les chaméphytes occupent la troisième position avec 29 espèces, ce qui représente 17 %. Ces trois types biologiques (thérophytes, hémicryptophytes, chaméphytes) sont largement majoritaires par rapport aux autres types biologiques qui ne représentent que 7 %.

Plusieurs auteurs (GRIME, 1977, DAGET, 1980, BARBERO et al., 1990, AIDOU, 1984 et BARBERO et al., 2001) ont mis en exergue la relation qui existe entre le taux élevé de thérophytes et le gradient croissant d'aridité dans les zones arides méditerranéennes. Nous assistons à une thérophytisation à cause de l'aridité du climat d'une part et l'anthropisation d'autre part (SAUVAGE, 1961, GAUSSEN, 1963, NÈGRE, 1966, DAHMANI, 1997 et KADI-HANIFI, 1998).

Cette thérophytisation est due aussi au phénomène de self-mulching, mécanisme se produisant dans les zones à forte évaporation et dans les sols limoneux en profondeur et couverts de sable en surface. Ce phénomène permet l'emménagement

de l'eau et favorise ainsi le développement des annuelles (HARRANE-ZAOUI, 2012).

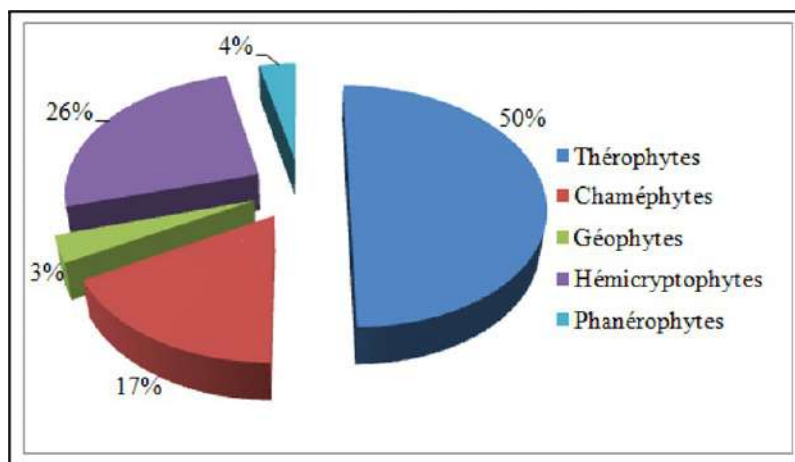


FIG. 3 - Spectre biologique global.

3.3 Types géographiques

L'examen du spectre biogéographique des espèces recensées (Fig. 4) montre une dominance des espèces méditerranéennes avec 80 espèces, ce qui représente 47 % de l'ensemble de la flore étudiée, parmi ces espèces, citons : *Pinus halepensis*, *Cistus libanotis*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Jurinea humilis*, *Helianthemum virgatum*, *Thymelaea tartonraira*, *Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris*, *Plantago albicans*, *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, *Ziziphus lotus*...

Le type géographique saharien est représenté par 33 espèces (25,56 %), dont 12 taxons sont ibéro-mauritanien. Pour ce type nous citons à titre d'exemple : *Arthrophytum scoparium*, *Aristida pungens*, *Argyrolobium uniflorum*, *Atractylis serratuloides*, *Globularia alypum*, *Asteriscus pygmaeus*, *Cleome arabica*, *Salsola vermiculata*, *Herniaria fontanesii*, *Launaea acanthoclada*, *Stipa tenacissima*...

On dénombre 27 espèces endémiques (16 %), dont la majorité est nord-africaine (16 espèces) telles que : *Ammoides atlantica*, *Anacyclus cyrtolepidioides*, *Arnebia decumbens*, *Astragalus armatus*, *Atractylis phaeolepis*, *Atractylis polycephala*, *Ceratocephalus falcatus*, *Echium trygorrhizum*, *Fagonia microphylla*, *Genista microcephala*, *Polycnemum fontanesii*, *Rosmarinus tournefortii*, *Thymelaea virgata* et *Thymus ciliatus*.

Enfin, l'ensemble géographique septentrional compte 11 taxons (5 %). Les espèces eurasiatiques sont les plus nombreuses avec 7 espèces telles que : *Alyssum granatense*, *Androsace maxima*, *Genista cinerea*, *Micropus bombycinus*, *Poa bulbosa*, *Salvia verbenaca*.

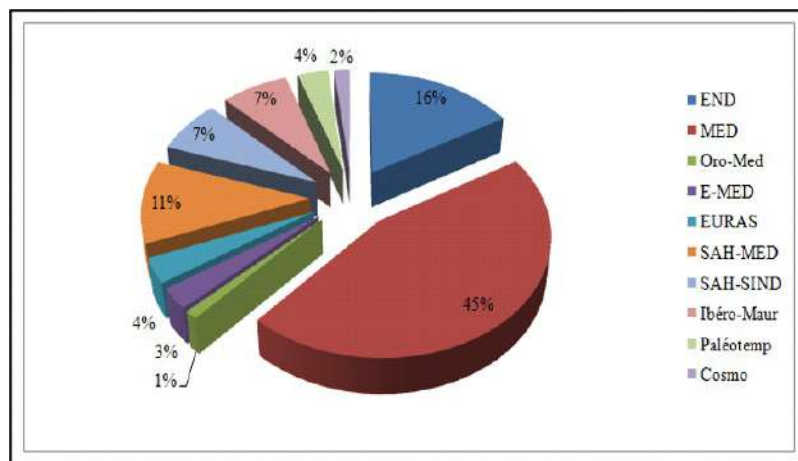


FIG. 4 - Spectre biogéographique des espèces inventoriées.

3.4 Analyse de la rareté des espèces

Concernant le critère de rareté des espèces dénombrées dans notre zone d'étude, nous distinguons (Fig. 5) :

- 34 espèces rares, soit 33 % de l'ensemble telles que : *Alyssum scutigerum*, *Anacyclus cyrtolepidioides*, *Moricandia arvensis* ;
- 56 espèces communes (28 %) telles que : *Allium cupani*, *Arnebia decumbens*, *Artemisia herba -alba* ;

- 48 espèces très rares (20 %) telles que : *Alyssum alpestre*, *Ammoides atlantica*, *Euphorbia bupleuroides* ;
- 29 espèces assez communes (17 %) telles que: *Arthrophytum scoparium*, *Astragalus armatus*, *Pinus halepensis*, *Atractylis serratuloides* ;
- 3 espèces très communes (2 %) : *Juniperus phoenicea*, *Stipa parviflora*, *Stipa tenacissima*.

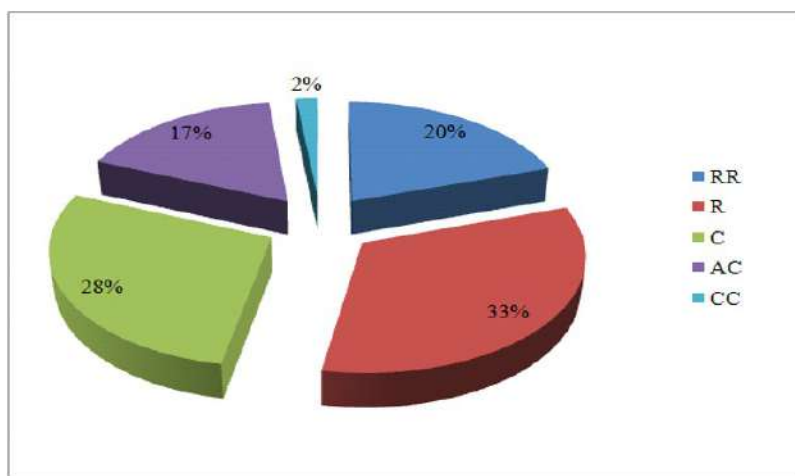


FIG. 5 - Fréquence des espèces inventoriées.

2.5 Analyse statistique

2.5.1. Interprétation de l'analyse non-symétrique des correspondances

Sur base du test par permutations, les huit premières valeurs propres de l'analyse sont significatives. L'interprétation se base sur les coordonnées des espèces sur les axes et sur les contributions relatives. Seuls les résultats des trois premiers axes sont considérés, les autres ne produisant plus que des variations locales difficiles à interpréter.

Le premier axe (tableaux 1 et 2 et figures 6 et 7) sépare les espèces et relevés en deux sous-ensembles. Le premier

forestier, est dominé par *Juniperus phoenicea*, le second présaharien par *Astragalus armatus*.

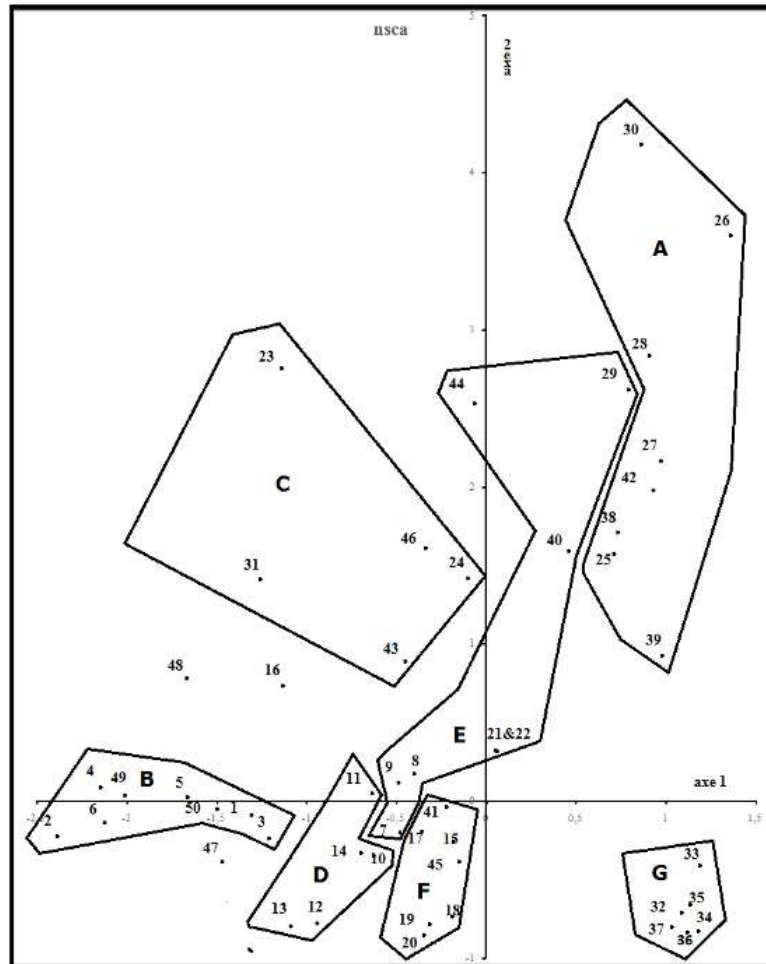


FIG. 6 - Répartition globale des relevés dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse non-symétrique des correspondances.

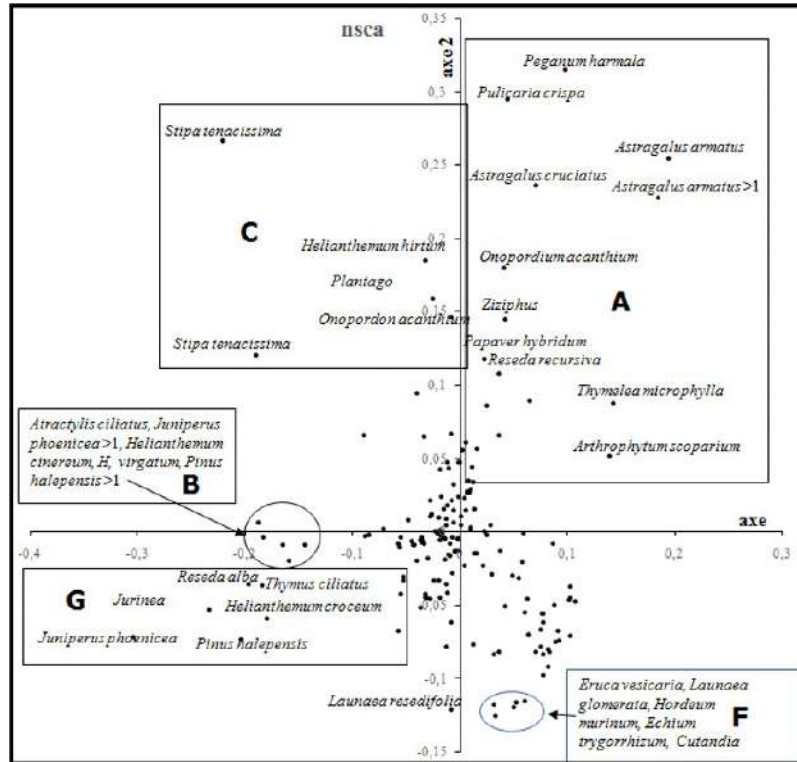


FIG. 7 - Répartition globale des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse non-symétrique des correspondances.

Dans le premier groupe (tableau 2), on trouve les relevés R1, R2, R3, R4, R5, R6, R49 et R50. Les espèces qui ont les contributions relatives les plus importantes sont celles qui caractérisent la formation de forêt claire avec un faciès à *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*.

Dans le deuxième groupe, on trouve les relevés R32, R33, R34, R35, R36, R37. Les espèces qui ont les contributions la plus importantes positives sont celles de formations de dégradation présahariennes, elles sont représentées par le faciès à *Astragalus armatus* et *Bromus rubens*.

Cet axe traduit un facteur d'aridité climatique.

Espèces	coord 1	cr% 1	Espèces	coord 1	c% 1
<i>Astragalus armatus</i>	0,19	3,79	<i>Juniperus phoenicea</i>	-0,30	9,27
<i>Astragalus armatus</i> >1	0,18	3,42	<i>Jurinea humilis</i>	-0,23	5,43
<i>Stipa tenacissima</i>	-0,22	4,89			
<i>Pinus halepensis</i>	-0,20	4,17			
<i>Reseda alba</i>	-0,20	3,86			
<i>Stipa tenacissima</i> >1	-0,19	3,61			
<i>Atractylis humilis</i>	-0,19	3,53			

Tableau 1. Coordonnées et contributions relatives des espèces sur le premier axe. >1 : espèces avec une abondance-dominance supérieure à 1 dans l'échelle sigmatiste. A gauche, les espèces avec les coordonnées positives et à droite, avec les coordonnées négatives.

Relevés	coord 1	cr% 1	Relevés	coord 1	cr% 1
R35	1,14	6,77	R2	-2,38	7,82
R34	1,18	6,54	R49	-2,01	5,92
R36	1,12	6,16	R6	-2,12	4,95
R32	1,09	5,88	R4	-2,14	4,63
R37	1,04	5,63	R5	-1,66	4,29
R33	1,19	5,50	R1	-1,30	4,06
			R50	-1,49	3,88
			R3	-1,21	3,47

Tableau 2. Coordonnées et contributions relatives des relevés sur le premier axe. A gauche, les relevés avec les coordonnées positives et à droite, avec les coordonnées négatives.

Sur le deuxième axe (tableaux 3 et 4, figure 6 et 7), les relevés qui ont les contributions relatives les plus importantes et positives sont : R38, R42, R25, R39, R27, R28, R26, R30, ce qui représente l'ensemble floristique steppique présaharien à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelaea microphylla*.

Ce deuxième axe est dominé essentiellement par un groupe d'espèces herbacées steppiques tels que *Stipa tenacissima*, par des espèces sahariennes tels que *Pulicaria crispa* et par des espèces indicatrices de dégradation tels que *Peganum harmala*.

Les relevés avec des coordonnées négatives, soit R36 et R37, représentent un faciès steppique présaharien plus dégradé à *Astragalus armatus* et *Bromus rubens*. Cet axe représente donc beaucoup plus le facteur de dégradation anthropique.

Espèces	coord2	c%2
<i>Peganum harmala</i>	0,31	9,92
<i>Pulicaria crispa</i>	0,29	8,69
<i>Stipa tenacissima</i>	0,27	7,12
<i>Astragalus armatus</i>	0,25	6,50
<i>Astragalus cruciatus</i>	0,24	5,58
<i>Astragalus armatus</i> >1	0,23	5,18
<i>Helianthemum hirtum</i>	0,18	3,42
<i>Onopordum acanthium</i>	0,18	3,25

Tableau 3. Coordonnées et contributions relatives des espèces sur le deuxième axe. >1 : espèce avec une abondance-dominance supérieure à 1 dans l'échelle sigmatiste. Espèces avec des coordonnées positives.

Relevés	coord 2	cr% 1	Relevés	coord 2	cr% 2
R30	4,18	14,44	R36	-0,84	3,40
R26	3,60	10,72	R37	-0,80	3,38
R29	2,62	6,94			
R28	2,84	5,91			
R44	2,53	5,31			
R27	2,17	4,75			
R42	1,98	4,32			
R23	2,75	4,18			
R25	1,57	3,62			
R38	1,71	3,48			

Tableau 4. Coordonnées et contributions relatives des relevés sur le deuxième axe. A gauche, les relevés avec les coordonnées positives et à droite, avec les coordonnées négatives.

Sur ce troisième axe (tableaux 5 et 6), sont mis en évidence deux ensembles végétaux steppiques, celui des relevés

(R21, R22) qui correspond à la formation steppique à *Stipa tenecissima* et *Stipa parviflora*, représenté ici par les espèces *Stipa parviflora* et *Helianthemum hirtum*, qui se superpose localement à la formation steppique présaharienne à *Astragalus armatus* et *Arthrophytum scoparium* avec des espèces sahariennes telles que *Pulicaria crispa* et *Reseda decursiva*.

Espèces	coord 3	cr% 3	Espèces	coord 3	cr% 3
<i>Reseda decursiva</i>	0,29	8,16	<i>Stipa parviflora</i>	-0,28	7,69
<i>Juniperus phoenicea</i> >1	0,23	5,46	<i>Pulicaria crispa</i>	-0,21	4,29
<i>Jurinea humilis</i>	0,23	5,06	<i>Helianthemum hirtum</i>	-0,17	3,33
<i>Plantago albicans</i>	0,21	4,44			

Tableau 5. Coordonnées et contributions relatives des espèces sur le troisième axe. >1 : espèce avec une abondance-dominance supérieure à 1 dans l'échelle sigmatiste. A gauche, espèces avec des coordonnées positives, à droite, avec des coordonnées négatives.

Relevés	coord 3	cr% 3	Relevés	coord 3	cr% 3
R47	3,28	7,89	R21	-1,87	9,34
R48	2,90	7,74	R22	-1,80	8,94
R42	2,19	5,30	R11	-1,68	5,98
R1	1,36	4,43	R10	-1,13	3,05
R38	1,65	3,24			

Tableau 6. Coordonnées et contributions relatives des relevés sur le troisième axe. A gauche, les relevés avec les coordonnées positives et à droite, avec les coordonnées négatives.

La classification hiérarchique ascendante (figure 8) individualise sept groupements végétaux distincts sur les plans floristiques et physiologiques, il s'agit de :

Le groupement A représente une formation présaharienne à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelaea microphylla*.

Le groupement B correspond à une forêt claire à *Pinus halepensis*, *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*.

Le groupement C correspond à une formation herbacée step-pique à *Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora* et *Noaea mucronata*.

Le groupement D représente une formation post-forestière, c'est une pelouse à : *Loeflingia hispanica*, *Noaea mucronata* et *Pulicaria crispa*.

Le groupement E correspond à une steppe à *Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora*.

Le groupement F correspond à une steppe à *Astragalus armatus* et *Bromus rubens*.

Le groupement G correspond à une formation préforestière (matorral) à *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima*.

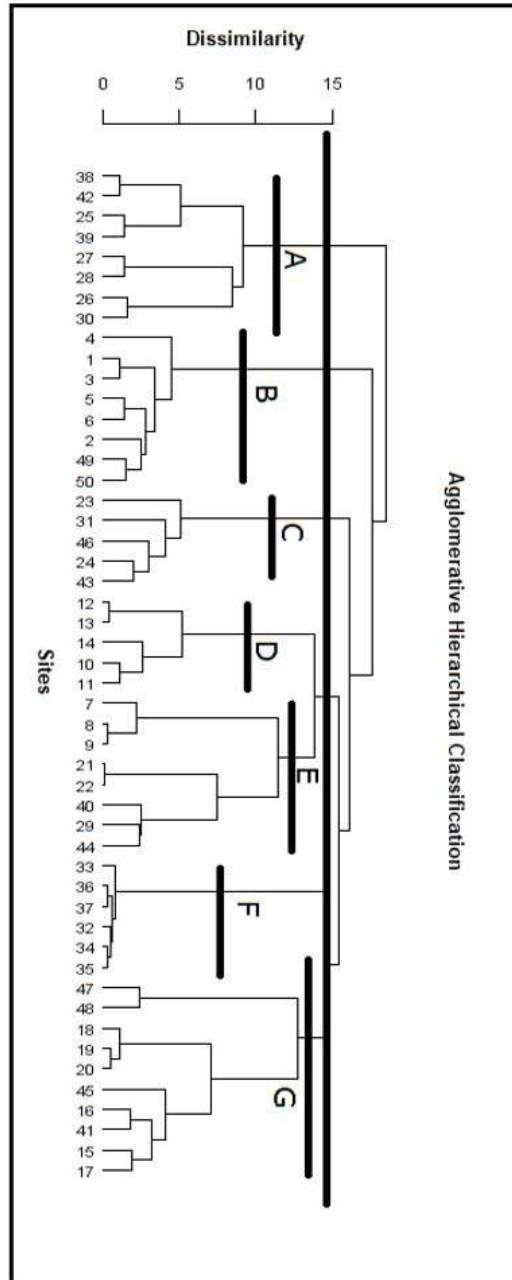


FIG. 8 – Dendrogramme obtenu par la classification hiérarchique ascendante des relevés.

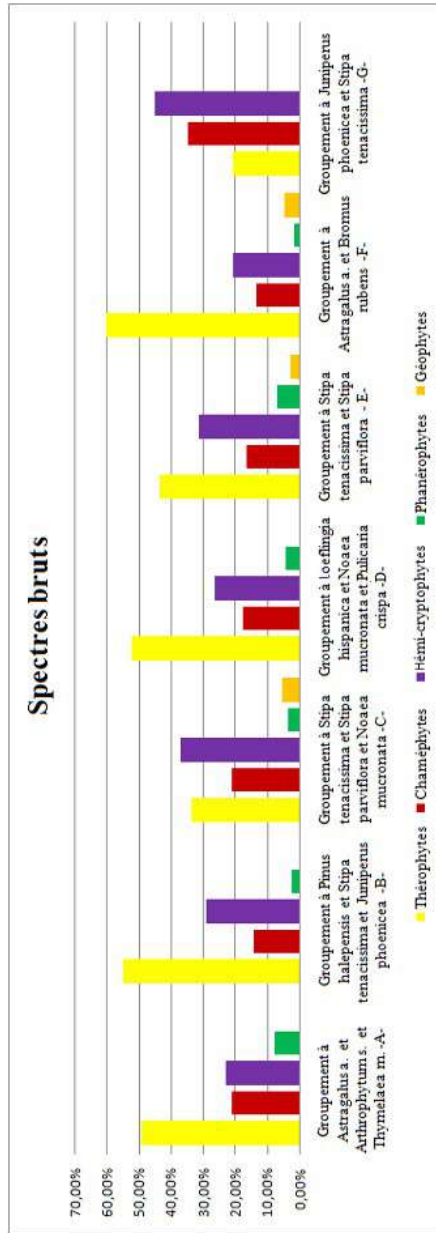


FIG. 9 - Spectres biologiques bruts de différents groupements végétaux.

Selon le spectre brut (figure 9), on a toujours la dominance des thérophytes suivie par les hemicryptophytes, puis les chaméphytes suivie par les phanérophytes et les géophytes selon le schéma suivant : Th > He > Ch > Ph > Géo, sauf dans les formations présahariennes de dégradation des groupements végétaux (A) et (E), dominées successivement par le groupement à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelaea microphylla* et le groupement à *Astragalus armatus*, *Bromus rubens*, qui sont représentés par le schéma suivant : Th > He > Ch > Géo > Ph, où les géophytes sont plus importants que les phanérophytes.

En ce qui concerne les spectres réels (figure 10), on a les schémas suivants :

Les formations forestières :

Groupement B: Ph > He > Ch > Th > Géo

Groupement G: Ph > He > Th > Ch > Géo

Groupements herbacés, steppe à alfa :

Groupement C: He > Ch > Th > Ph > Géo

Groupement E: He > Th > Ch > Géo > Ph

Pelouses post-forestières :

Groupement D: Th > Ch > He > Ph > Géo

Steppe présaharienne :

Groupement A: Ch > He > Th > Ph > Géo

Groupement F: Th > He > Ch > Géo > Ph

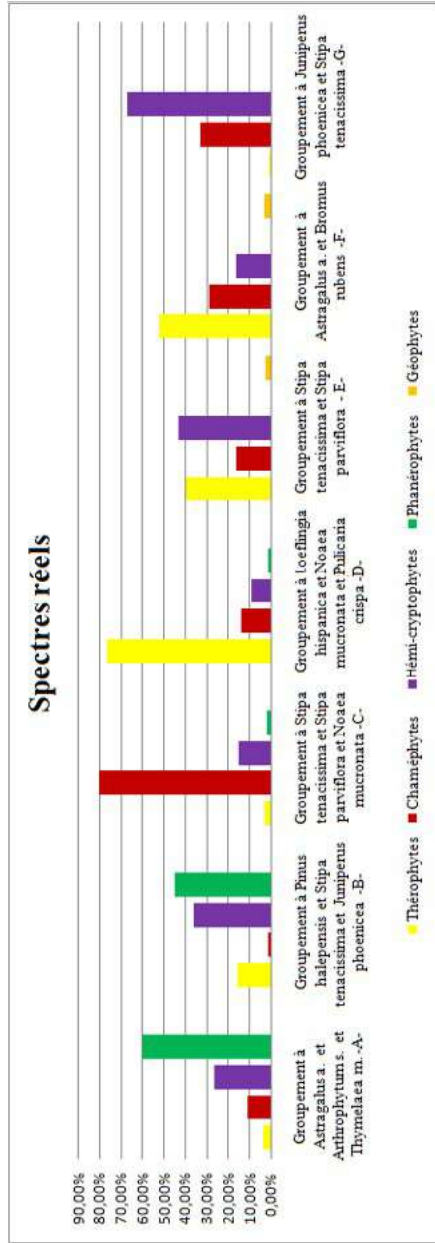


FIG. 10 - Spectres biologiques réels de différents groupements végétaux.

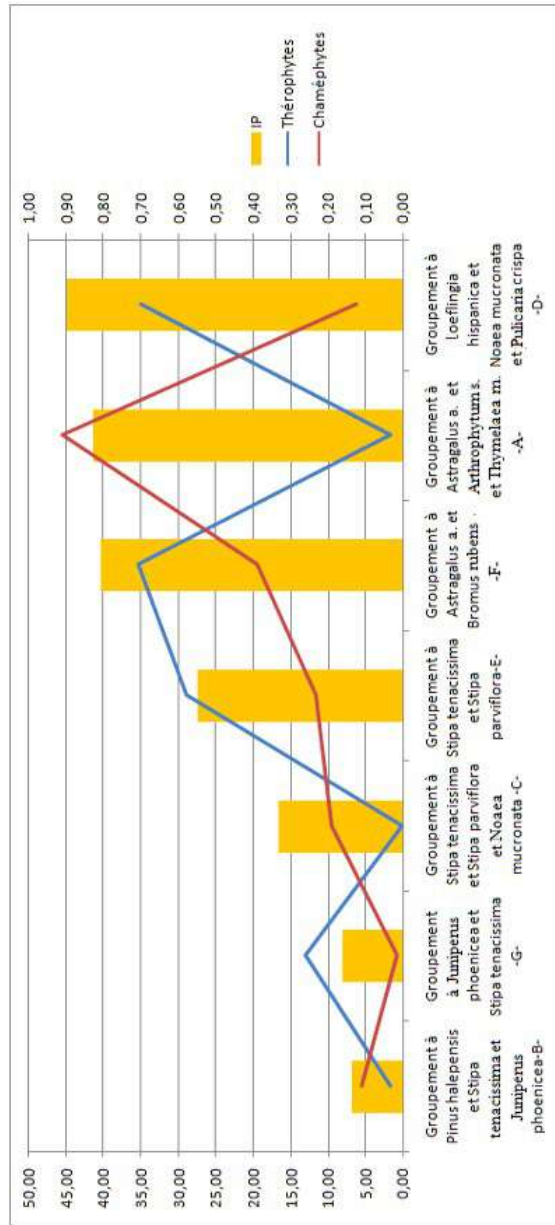


FIG. 11 - Indice de perturbation de différents groupements végétaux.

Afin d'évaluer l'état de dégradation de chaque groupement, qui s'exprime par l'abondance des deux types biologiques, les thérophytes et des chaméphytes, et correspond aux deux phénomènes de dégradation (thérophytisation et chaméphytisation) des zones arides et semi-arides, on a utilisé l'indice de perturbation de HEBRARD et al. (1995) :

Indice de perturbation IP = (chaméphytes + thérophytes)/nombre total d'espèces.

Cette indice (figure 11) montre bien que les formations herbacées présahariennes, dominées par des espèces chaméphytiques à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelaea microphylla* et la pelouse post-forestière, riche en thérophytes, représentent les formations les plus dégradées, issues des formations steppiques à *Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora*, qui ont subi à leurs tour, ces dernières décennies, une forte pression anthropique.

Ces groupements végétaux, qui correspondent aux diverses formations de dégradation, de notre zone d'études, représentent selon plusieurs auteurs (DJEBAILI et al., 1982 ; LE HOUÉROU, 1995 ; ACHOUR-KADI-HANIFI et al., 1997) les différents stades de dégradation des zones arides et semi-arides de la steppe algérienne.

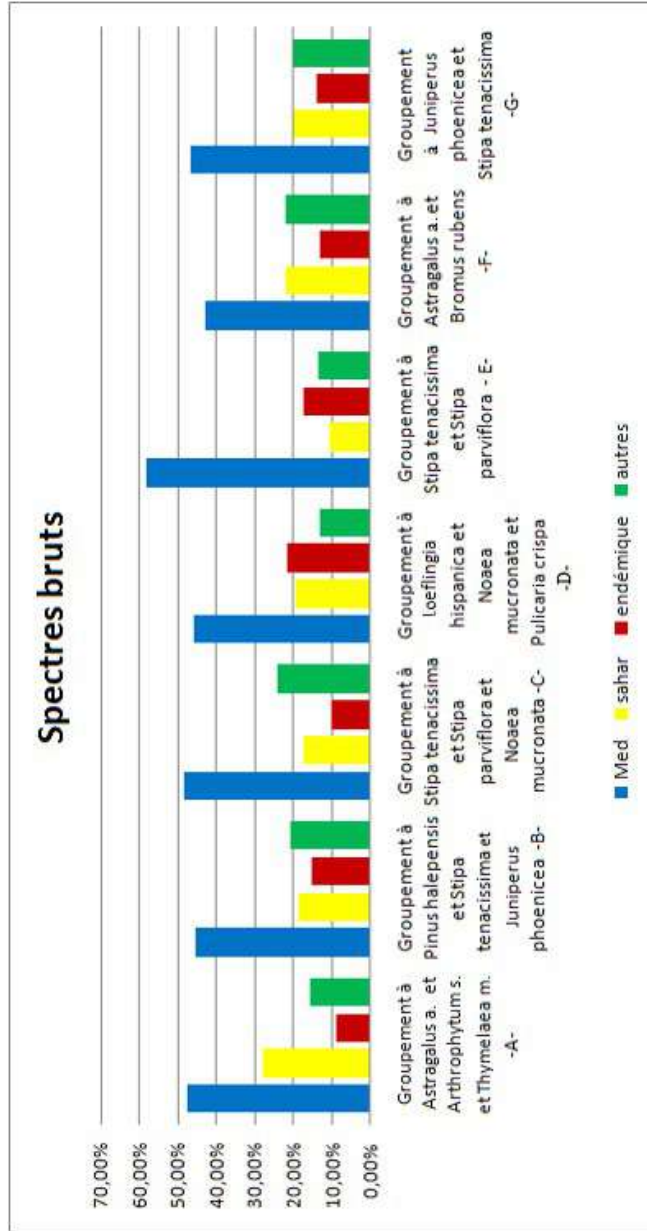


FIG. 12 - Spectres bruts phytogéographiques des sept groupements végétaux.

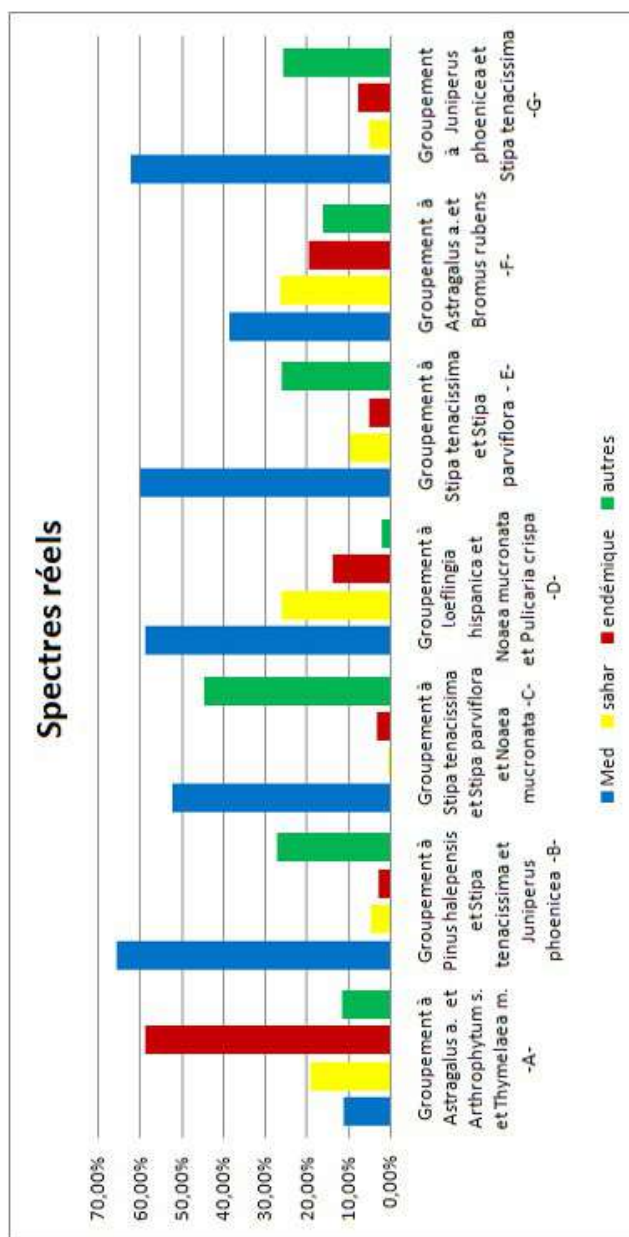


FIG. 13 - Spectres réels phytogéographiques des sept groupements végétaux.

En ce qui concerne la phytogéographie des groupements végétaux, on remarque bien que dans les deux spectres (figures 12 et 13), que ce soit brut ou pondéré, il y a la dominance de l'élément méditerranéen, qui confirme l'originalité floristique de notre zone d'étude.

L'analyse phytogéographique du spectre réel de chaque groupement a donné les schémas suivants :

Formations forestières :

Groupement B : Med >Autres > Saharien > Endémique

Groupement G : Med >Autres > Endémique > Saharien

Groupement herbacé, steppe à alfa :

Groupement C : Med >Autres > Endémique > Saharien

Groupement E : Med >Autres > Saharien > Endémique

Pelouse post-forestière :

Groupement D : Med > Saharien > Endémique > Autres

Steppe présaharienne :

Groupement A : Endémique > Saharien > Autres > Med.

Groupement F : Med > Saharien > Endémique > Autres

Dans les sept groupements, l'élément méditerranéen domine tous les autres sauf dans le groupement présaharien à *Astragalus armatus*, *Arthrophytum scoparium* et *Thymelaea microphylla*, dominés par des espèces présahariennes endémiques de dégradation qui représente selon MELZI (1986, 1993) une formation de dégradation d'une steppe à *Stipa tenacissima*, qui à son tour représente une formation de dégradation d'une forêt claire du pin d'Alep et du chêne vert, (LE HOUÉROU, 1969, CELLES, 1975, DJEBAILI, 1978, AIDOUD-LOUNIS, 1984), à cause d'une aridité croissante du Nord vers le Sud, accentuée par l'action humaine.

2.6 Variation de la biodiversité par rapport à l'aridité du climat

A partir de la figure 14, qui montre l'évolution de la diversité floristique des groupements végétaux de notre zone d'étude, représentée par la richesse floristique (S), l'indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E), en fonction d'un gradient d'aridité, on a remarqué que : la richesse floristique ne suit pas toujours l'évolution de l'indice de Shannon-Weaver et la régularité, par ailleurs ces trois paramètres ne semblent pas bien corrélés avec l'aridité. Par contre, on remarque bien que ces deux derniers paramètres ont montré les valeurs les plus faibles dans le groupement à *Astragalus armatus* et *Bromus rubens* de steppe présaharienne dégradée, avec $H' = 2,40$ et $E = 0,39$ alors les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau de groupement steppique à *Stipa tenacissima* et *Stipa parviflora* avec $H' = 3,34$ et $E = 0,55$ ce qui fait que l'anthropisation affecte les valeurs de la biodiversité plus que l'aridité climatique dans notre zone d'étude.

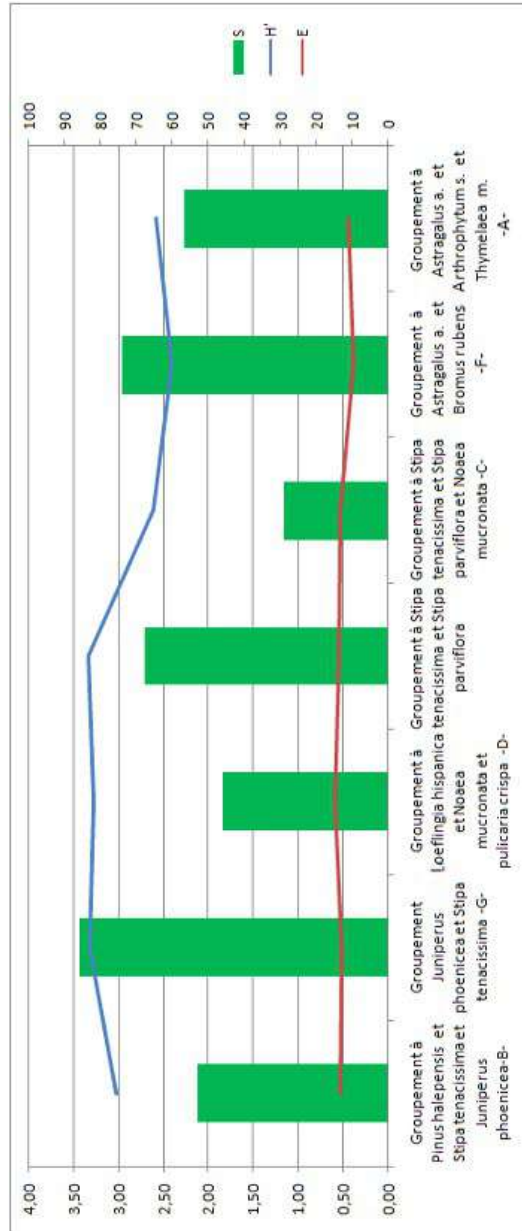


FIG. 14 - Variation des indices de diversités en fonction du gradient d'aridité.

CONCLUSIONS

L'analyse de l'état actuel de la flore des formations végétales dans la steppe sud algéroise met en évidence un état de dégradation plus ou moins avancé d'un point de vue floristique.

A travers la présente recherche, nous avons identifié 170 taxons répartis en 34 familles et 111 genres. Ces chiffres sont plus au moins importants par rapport à d'autres études réalisées dans cette région telles que : Korichi (2016), Maamri (2016), Rahmoune (2019), Habib et al. (2020).

Nous avons constaté dans notre zone d'étude une dominance des taxons appartenant à la famille des Asteraceae qui sont généralement des espèces à faible valeur énergétique et écologique ; c'est le cas du genre *Atractylis*.

La dominance des espèces annuelles et chaméphytiques confirme les deux phénomènes de dégradation des formations steppiques, phénomène de chaméphytisation et phénomène de thérophytisation, qui caractérisent la flore des formations végétales des zones arides et semi-arides. C'est une stratégie d'adaptation des formations végétales vis-à-vis des pressions anthropiques et climatiques que subit cette région. L'analyse phytogéographique a montré l'affinité méditerranéenne de la flore de la steppe sud-algéroise, qui diminue en allant du Nord vers le Sud.

REMERCIEMENTS

Nous remercions pour leur appui à ce travail le Dr Hadjaj Kuidar, enseignant à l'Université de Djelfa-Algérie, et MM. Daoudi Belkacem et Hazerchi Ahmed du Centre National de Développement des Ressources Biologiques de Djelfa-Algérie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aidoud-Lounis F., 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux sud-oranais ; étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse 3e cycle, Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 253 p. + ann.

Aidoud A., Le Floc'h É., Le Houérou H. N., 2006. Les steppes arides du nord de l'Afrique. Science et changements planétaires/Sécheresse 17 (1-2) : 19-30.

Ampapour S., 2003. Introduction à l'analyse des données, Document de Travail n° 08/2003, BAMSI, Brazzaville, p35.

Aronson J., Floret Ch., Le Floc'h É., Ovalle C., Pontannier R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. Restoration Ecology 1 : 8-17.

ASAL, 2010. Agence spatiale algérienne, 2010, Finalisation de la carte nationale de sensibilité à la désertification par l'outil spatial. Algérie, ASAL. <http://www.asal.dz/desertification.php>.

Barbero M., Bonin G., Loisel R. & Quézel P., 1990. Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean bassin. Vegetatio 87 : 151-173.

Barbero M., Loisel R., Medail F. & Quézel P., 2001. Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. Bocconeia 13 : 11-25.

Benabadji N. & Bouazza M., 2002. Contribution à l'étude du cortège floristique de la steppe au Sud d'El Aricha (Oranaie-Algérie), Rev. Sci. Techn. (Univ. Constantine) 17 : 11-19

Benabadji N., Benmansour D. & Bouazza M., 2007. La flore des monts d'Ain Fezza dans l'Ouest Algerien, biodiversite et dynamique. *Sciences & Technologie* 26 : 47-59.

Benaissa M., El Haitoum A., Hadjadj K., 2018. Floristic and medical diversity interest of Djebel Aissa national park (Ksour Montains, Algeria), *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 14 (2) : 303-306.

Bouxin G. 2016. Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation/Recherche d'adéquation entre les données de végétation et les techniques statistiques, au moyen d'exemples. Éditions Universitaires Européennes, Saarbrücken, 440 p.

Bouxin G., 2020. Analyse statistique des données de végétation. 577 pp. Disponible sur Internet à l'adresse suivante : <http://guy-bouxin.e-monsite.com/>.

Celles J.C., 1975. Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèse Doct., Univ. Nice.

Chaouche Khouane H., Belhamra M. & Aidoud A., 2018. Évolution des communautés végétales de la steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Courrier du Savoir* 26 : 107-118.

Chauvin C. & Vallauri D., 2002. Indicateurs de restauration écologique de marnes dégradées dans les Alpes du Sud, 120 ans après reboisement. *Revue Ecologique (Terre Vie)*, supplément 9 : 241-250.

CRBT, 1978. Centre de recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres. Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. CRBT, Alger, 256 pp. + Ann. & Cartes.

Daget Ph. & Poissonet J., 1971. Une méthode d'analyse phytosocioécologique des prairies. *Ann. Agro* 21 (1) : 5-41.

Daget Ph., 1980. Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). In : Barbault R., Blandin P., Meyer J. Actes du colloque d'écologie théorique : Recherches d'écologie théorique : les stratégies adaptatives. Maloine, Paris : 89-114.

Dagnelie P., Bonin G., Loisel R. & Quézel P., 1965. Quelques méthodes statistiques d'étude de l'homogénéité et de caractérisation de la végétation. 1er Colloque Intern. sur les « Ecosystèmes », 30 juillet 1965, Copenhague, 1-7.

Dahmani- Megrerouche M., 1997. Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse. Doct. Etat, Univ. Houari Boumediene, Alger, 330 pp.

DGF (Direction Générale des Forêts), 2012. Analyse de la politique du secteur forestier et des secteurs connexes en Algérie, 81pp. www.dgf.org.dz.

Djebaili S., 1978. Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien. Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 229 pp.

Djebaili S., Achour H., Aidoud F. & Khelifi H., 1982. Groupes écologiques édaphiques dans les formations steppiques du sud-Oranies. Bulletin d'écologie terrestre. Biocénose1 : 7-59.

Djebaili S., 1984. Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office des publications universitaires (OPU), Alger, 182 pp.

Dobignard, A. & Chatelain, C., 2010-2013. Index synonymique flore d'Afrique du Nord, Conservatoire et jardin botaniques. Genève.

Floret Ch. & Pontanier R., 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement. Thèse Doc. Uni. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 580 pp.

Frontier S., Pichod Viale D., Lepretre A., Davoult D. & Luczak C., 2008. *Écosystèmes: structure, fonctionnement, évolution*, 4^e édition, Dunod, Paris, 558 pp.

Gausсен H., 1963. *Ecologie et phytogéographie*. In : *Précis de Sciences biologiques, Botanique* : 926-972.

Gimaret-Carpentier C, Chessel D. & Pascal J.-P., 1998. Non-symmetric correspondence analysis: an alternative for species occurrences data. *Plant Ecology* 138 : 97-112.

Ghafoul M., Dellal A., Latreche A., Hadjadj K., 2019. The study of desertification in Algerian steppic rangelands. Case of the Djelfa region, *Azarian J. Agric.* 6 (5) : 129-138.

Gounot M. 1961. Les méthodes d'inventaire de la végétation. *Bull. Serv. Carte Phytogéogr., Série B*, 7 : 65-84.

Gounot M., 1969. *Méthodes d'études quantitatives de la végétation*. Ed. Masson, Paris, 314 pp.

Grime J.P., 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111 : 982, 1169-1194. <https://doi.org/10.1086/283244>.

Guinochet M., 1955. *Logique et dynamique du peuplement végétal*. Ed. Masson, Paris, 144 pp.

Guinochet M., 1973. *La phytosociologie*. Collection d'écologie I. Ed. Masson, Paris, 227 pp.

Habib N., Regagba Z., Djamel Miara M., Ait Hammou M. & Snorek J., 2020. Floristic diversity of steppe vegetation in the region of Djelfa, North-West Algeria, *Acta Botanica Malacitana* 45 : 1-10.

Hamada S., Dakki M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & Fennane M., 2004. Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc, Flore rare, menacée et halophile. Acta Botanica Malacitana 29 : 43-66.

Harrane-Zaoui A., 2012. Écologie et Systématique du genre Rosmarinus L. dans la région du sud algérois (Wilaya de Djelfa), Thèse Magister, Écologie et Environnement, Univ. Houari Boumediene, Alger, 144 p.

Hebrard J.P., Loisel R., Roux C., Goumila H., & Bonin G., 1995. Incidence of clearing on phanerogamic and cryptogamic vegetation in South Eastern France: disturbance indexes. In Bellan, D., Bonin, G. et Emig, G. coord, Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems. Ed. Lavoisier, Intercept Ltd. 747-758.

Hirche A., Salamani M., Abdellaoui A., Benhouhou S., Valderrama J. M., 2011. Landscape changes of desertification in arid areas: the case of southwest Algeria. Environ. Monit. Assess. 179 : 403-420.

Kadi Hanifi_Achour H. & Loisel R., 1997. Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation. Ecol. Medit. 23 : 33-43.

Kadi Hanifi_Achour H., 1998. L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relation milieu végétation, dynamique et perspective d'avenir. Thèse Doct. Etat. Univ. Alger, 228 pp. & Ann.

Korichi A., 2016. Etude floristique et ethnobotanique de Chouchet Tobdji (forêt de Sénalba Chergui), Région de Djelfa, Thèse Magister, Univ Djelfa, 78 pp.

Labatte J. M., 2010. Biostatistiques. Rappels des cours et travaux dirigés. Analyse des données M2. Université Anger. <http://www.math.univangers.fr.pdf>.

Le Houérou H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie 42 : 624 pp.

Le Houérou H.N., 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes., Bull. Soc. Hist. nat. Afrique Nord, 68 (3/4) : 33-74.

Le Houérou H.N., 1995. Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique, Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes, sér. B : recherche et études 10 : 396 pp.

Lerman I.C., 1977. Reconnaissance et Classification des structures finies en Analyse des données, rapport 70, I.R.I.S.A., Université de Rennes.

Long N., 1974. Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire, Vol.1. Ed. Masson, Paris, 252 pp.

Maamri F., 2016. Les espèces pastorales et fourragères originaires de la steppe Algérienne : distribution, diversité et voie d'utilisation. ENSA, Alger, 220 pp.

Madon O. & Médail F., 1996. The ecological significance of annuals on a Mediterranean grassland (Mt Ventoux, France). Plant Ecol. 129 : 189-199.

Maire R. 1952-1987. Flore de l'Afrique du Nord, (Maroc, Algérie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Paris, Paul Lechevalier, coll. « Encyclopédie biologique » (ISSN 03014274).

Meddour R., 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tuxenienne, Université Mouloud Mammeri, Dept. Sc. Agronom., Tizi Ouzou, 40 pp.

Medjahdi B., Letreuch-Belarouci A., Maazouz & Taïbi K., 2018. Diversité floristique des subéraies des monts de Tlemcen (Nord-Ouest Algérie) Fl. Medit. 28 : 66-77.

Melzi S., 1986. Approche phytoécologique du processus de la désertification dans un secteur présaharien. Messaad Djelfa., thèse Magister. Univ. Sci. Technol. H. Boumediene. Alger, 133 pp.

Melzi S., 1993. Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. *Sécheresse* 4 : 113-116.

Moulay A., Benabdeli K. et Morsli A., 2011. Contribution à l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algérien. *Mediterranea*, Ser. II, n° 22 : 149-188.

Morey L. C., Blashfield, R. K. & Skinner H.A., 1983. A comparison of cluster analysis techniques within a sequential validation framework. *Multivar. Behav. Res.* 18 : 309-329.

Nedjraoui D. & Bedrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo* 8 (1) : 53-75. <http://vertigo.revues.org/>.

Nègre R., 1966. Les thérophytes. *Bull. Soc. Bot. France* 113, suppl. 2 : 92-108.

Ozenda P., 1982. Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin, Paris, 431 pp.

Ozenda P., 2004. Flore du Sahara, 3^{ème} ed. CNRS. Paris, 622 pp.

Pignatti S., 1982. Flora d'Italia, 1. Ed. Edagricole, Bologna.

Pouget M., 1971. Etude agro-pédologique du bassin du Zahrez Gharbi (Feuille Rocher de Sel), Echelle 1/10 000. Étude DEMRH. Alger, 160 pp. & 5 cartes couleurs.

Pouget M., 1977. Région de Messaad Ain El Ibel. Notice explicative n° 67, cartographie des zones arides. Géomorphologie,

pédologie, groupement végétal, aptitude du milieu pour mise en valeur. O.R.S.T.O.M., Paris, 69 pp.

Pouget M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroise. Trav. Docum. ORSTOM (Paris) 116 : 8-556.

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

Ramade F., 2003. Ecologie fondamentale. 3^{ème} éd. Ed. Dunod. Paris. 690 pp.

Raunkiær C., 1934. Biological types with reference to the adaption of plants to survive the unfavourable season, Ch. 1, p. 1 du recueil de travaux traduits en anglais, Oxford.

Richard C., Grégoire G. & Frédéric A., 2010. Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité végétale des écosystèmes forestiers : éléments de réflexion pour faire les bons choix. Rev. For. Fr. LXII (2) : 141-154.

ROSEL/OSS, 2008. Contribution Technique n° 1, CT n° 1 : Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation.

Roux G. & Roux M., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. Rev. Stat. Appl., 15(2) : 9-72.

Sauvage Ch., 1961. Recherches botaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Cherifien, Bot. 2 : 1-462.

Taibaoui B., 2008. Etude phytoécologique et diachronique de la végétation d'une steppe à Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) de la coopérative Yahiaoui (région d'Aïn Oussera, Wilaya de Djelfa). Mémoire de Magister. Univ. Sci. Technol. H. Boumedienne, Alger, 83pp. + ann.

URBT (Unité de recherche biologiques et terrestres), 1987
Rapport Phytoécologique de la Wilaya de Djelfa. URBT, Alger,
159 pp.

Vachon M., Beaulieu-Prévost D., Ouellette A. & Achille M., 2005.
Analyse de classification hiérarchique et qualité de vie. Tutorials in
Quantitative Methods for Psychology 1 : 25-30.



Manuscrit "camera ready" réalisé par le cadre APE de
la Société Botanique de Liège (Ministère de l'Emploi
de la Région Wallonne, réf. NM 2373).

FNRS

Publication supportée par le Fonds National de la
Recherche Scientifique de Belgique.