



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Kasdi Merbah – Ouargla –
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Département des Sciences
Biologiques

Laboratoire de Protection
des Ecosystèmes en Zones
Arides et Semi-Arides

Année universitaire : 2020/2021

N° d'enregistrement :
/...../...../...../...../

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat ès Sciences

Option : Sciences biologiques

Présentée par

Mostafa Naceur YUCEFI

Thème

***Étude écologique et biogéographique des
formations forestières et pré-forestières de la
région de Djebel Amour, Atlas saharien***

Soutenu publiquement le : 01 / 07 / 2021

Devant le jury

- KEMASSI Abdellah	Pr.	Univ. Ghardaïa	Président
- OULD EL HADJ Mohamed Didi	Pr.	Univ. Ouargla	Directeur de thèse
- DADDI BOUHOUN Mustapha	Pr.	Univ. Ouargla	Co-encadreur
- BEN BRAHIM Fouzi	MCA	ENS-Ouargla	Examineur
- CHAIBI Rachid	Pr.	Univ. Laghouat	Examineur
- BENNACER Farouk	MCA	Univ. Laghouat	Examineur

Année universitaire : 2020 :2021

“ Dans chaque forêt il y a un arbre qui te correspond, pour ne pas te détruire protège-la.
« Gilbert Choulet »

Dédicaces

Je dédie ce travail...

*A mes très chers parents qui m'ont inculqué une bonne éducation
et m'ont inspiré le chemin de la dignité et la voie de la sagesse ...*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais point vous remercier comme il se doit,
votre bienveillance me couvre et me guide,
et votre présence a toujours été ma source de force
pour affronter les différents obstacles...*

*Je le dédie d'autant à ma femme et à mes enfants qui, grâce à eux, j'ai eu
la volonté et la persévérance pour poursuivre ma formation...*

Je le dédie aussi à toute la grande famille...

Remerciements

La présente étude a nécessité l'apprentissage et l'utilisation de connaissances diverses. Ma reconnaissance s'adresse aux personnes qui ont rendu la réalisation de cette thèse possible, et bien plus encore à ceux qui l'ont rendue agréable.

Je désire tout d'abord exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur Monsieur OULD EL HADJ Mohamed Didi, Professeur au Département de Biologie à l'Université KASDI MERBAH-Ouargla pour avoir dirigé mon travail avec beaucoup de disponibilité, de patience et d'intérêt, je vous suis reconnaissant pour vos conseils, et vos multiples corrections et critiques qui ont permis à ce travail de prendre forme; et à mon co-encadreur Monsieur DADDI BOUHOUN Mustapha, Professeur au Département des Sciences Agronomiques à l'Université KASDI MERBAH-Ouargla, je vous suis reconnaissant pour votre soutien constant, tout au long de la période de ma formation.

Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements et respects à tous mes professeurs à l'Université KASDI MERBAH-Ouargla pour leurs efforts, leur soutien et leur aide durant tout mon parcours, et spécialement à Madame OULD EL HADJ-KHELIL Aminata Professeur au Département de Biologie à l'Université KASDI MERBAH-Ouargla, et à Monsieur KEMASSI Abdellah Professeur au Département de Biologie à l'Université de Ghardaïa.

Je présente également mes vifs remerciements et ma reconnaissance distinguée aux membres du jury: Monsieur KEMASSI Abdellah, à Monsieur CHAIBI Rachid Professeur au Département de Biologie à l'Université Amar Telidji-Laghouat, à Monsieur BENNACEUR Farouk Maître de Conférence «A» au Département de Biologie à l'Université Amar Telidji-Laghouat et à Monsieur BEN BRAHIM Fouzi Directeur de l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Ouargla pour m'avoir fait l'honneur d'être examinateurs et pour leurs remarques et leurs contributions à cette thèse.

Enfin un remerciement spécial s'adresse à toute ma famille pour leur soutien moral; particulièrement, à mes parents pour leur constant appui et stimulation et pour la patience qu'ils m'ont apportée tout au long de mes études.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis...

« Étude écologique et biogéographique des formations forestières et pré-forestières de la région de Djebel Amour, Atlas saharien »

Résumé

La présente étude appréhende la végétation selon une approche phytoécologique à deux niveaux, à une échelle paysagère visant l'analyse biogéographique des formations forestières et pré-forestières par une approche cartographique supervisée et, à une échelle parcellaire qui vise l'analyse de toutes les populations présentes dans les peuplements. Pour évaluer quantitativement la portée et la nature de l'influence topographique sur la distribution des plantes dans les formations forestières et pré-forestières de la région, l'étude combine plusieurs analyses multivariées. Neuf (09) stations en montagne dans lesquelles sont récoltées des données environnementales principalement topographiques et des données sur la répartition des végétations, sont choisies. L'approche phytogéographique montre que les formations boisées de la région sont majoritairement pré-forestières, constituant des maquis parfois hauts, arborés de Pin d'Alep qui ne croit que dans le centre du djebel là où il est en refuge des influences sahariennes et soumis plutôt aux influences montagnardes à Kef El-Guelta, Gaadet Madna et Gaadet Anfous. Les Chênes verts ne sont plus prédominants, ne forment que de petits groupes, rarement des bouquets issus souvent de drageons ou de rejets d'anciennes cépées. Les Pistachiers de l'Atlas se rencontrent épars et fréquemment sur les rochers. Trente placettes (20 m × 20 m) ont été sélectionnées en fonction de leur physionomie pour l'étude de la végétation et de la topographie. La distribution de la végétation diffère considérablement d'une topographie à l'autre, indiquant des conditions environnementales différentes et déterminant un renouvellement des espèces dominantes. Les bas-versants sont colonisés par la plupart des espèces présentes dans la communauté végétale, mais seules quelques espèces persistent aux pentes abruptes du mi-versant et du haut-versant jusqu'au sommet. La faible couverture de végétation (36,98%) est enregistrée sur ces pentes. Cela est dû peut être à la forte érosion du sol et à l'affleurement rocheux (66,5–83,1%). La faible richesse spécifique moyenne est enregistrée sur les sommets des versants (39,67), s'explique par l'influence d'altitude et l'effet compétitif des arbres du Pin. Le paramètre élévation suivie d'affleurement rocheux puis de la pente sont respectivement les principaux facteurs topographiques affectant la distribution des plantes dans ces environnements. La relation entre la topographie et la distribution des espèces peut être décrite par un modèle linéaire. Dix-sept (17) modèles linéaires sont formulés pour onze (11) variables floristiques et trois (03) facteurs topographiques, l'élévation, l'affleurement rocheux et le gradient de pente qui expliquent 26 à 83% de la variance de la distribution des espèces. De même, quatre (04) groupes d'espèces végétales sont répertoriés selon les différentes topographies. La convenance des espèces végétales à une telle topographie doit être considérée lors des travaux de restauration des matorrals semi-arides dans la région d'étude.

Mot-clés : Djebel Amour, Ecologie, Biogéographie, Matorrals, Topographie.

« Ecological and biogeographical study of forest and pre-forest formations in the region of Djebel Amour, Saharan Atlas »

Abstract

The present study apprehends vegetation according to a phytoecological approach at two levels, at a landscape scale aimed at the biogeographical analysis of forest and pre-forest formations by a supervised cartographic approach and, at a plot scale which aims at the analysis of all populations present in stands. This study combined several multivariate analyses to assess quantitatively the extent and nature of the topographic influence on the distribution of forest and pre-forest plant species. Nine (09) mountain stations were selected to collect environmental data, primarily topographical data and the distribution of vegetation data. The phytogeographic approach shows that the woodlands in the region are predominantly pre-forest formations, constituting scrublands sometimes high, tree-covered with Aleppo pine which only grows in the middle of the djebel, where he takes refuge from Saharan influences, and rather subject to mountain influences in Kef El-Guelta, Gaadet Madna and Gaadet Anfous. Holm oaks are no longer predominant, only form small groups, rarely bouquets, often come from root suckers or rejections of old stump sprouts. Atlas Pistachio Trees are found scattered and frequently on rocks. Thirty plots (20 m × 20 m) were selected according to their physiognomy for the field survey of vegetation and topography. The distributions of vegetation differed significantly amongst topographies, indicating different environmental conditions and determine a turnover of important species. Most species colonize downslopes, and only some persist on steep-slopes and summits. The low coverage of vegetation (36.98%) on steep-slopes was due to the serious soil erosion and rockiness 66.5–83.1%. The low average richness in summits (39.67) was due to elevation and negative effect of trees. Elevation, then rockiness and slope were respectively the main topographic factors influencing the distribution of plants in these environments. The relationship between topography and distribution could be described by a linear model. Seventeen linear models were built for eleven floristic variables with three topographic factors, elevation, rockiness and slope explained 26–83% of the variance in distribution, also four groups of plant species were listed according to topographic positions. The suitability of plant species to the topographic factors should be considered in the restoration of semiarid matorrals in the study area.

Keywords: Djebel Amour, Ecology, Biogeography, Matorrals, Topography.

«دراسة بيئية و بيوجغرافية للتكوينات الغابية وما قبل الغابية في منطقة جبل عمور، الأطلس الصحراوي»

ملخص

تحدد الدراسة الحالية الغطاء النباتي وفقاً لنهج علم البيئة النباتية على مستويين، على نطاق المناظر الطبيعية التي تهدف إلى التحليل البيوجغرافي للتكوينات الغابية وما قبل الغابية من خلال نهج خرائطي خاضع للإشراف و على نطاق القطع يهدف إلى تحليل جميع المجموعات النباتية الموجودة في التكوينات. جمعت هذه الدراسة العديد من التحليلات متعددة المتغيرات لتقييم مدى وطبيعة التأثير الطبوغرافي على توزيع الأنواع النباتية في التكوينات الغابية و ما قبل الغابية. تم اختيار تسع (09) محطات جبلية لجمع البيانات البيئية، وخاصة البيانات الطبوغرافية و بيانات توزيع الغطاء النباتي. يُظهر النهج الجغرافي النباتي أن التكوينات الغابية في المنطقة هي في الغالب تكوينات ما قبل غابية، وتشكل أحراج عالية أحياناً، ومغطاة بأشجار الصنوبر الحلبي التي تنمو فقط في وسط الجبل، حيث يحتمي عن التأثيرات الصحراوية، ويخضع للتأثيرات الجبلية في كاف القلثة، قعدة مادنة، و قعدة أنفوس. أشجار البلوط ليست هي السائدة، بل تشكل فقط مجموعات صغيرة، ونادراً ما تكون باقات، تأتي غالباً من مخراجات الجذور أو من براعم الجذوع القديمة. أشجار الفستق أطلسي توجد متناثرة وكثيرا ما تكون في مواضع الصخور. تم اختيار ثلاثين قطعة (20 م × 20 م) حسب اشكال التكوينات النباتية للمسح الميداني للنباتات والتضاريس. يختلف توزيع الغطاء النباتي اختلافاً كبيراً من طبوغرافيا إلى أخرى، مما يشير إلى ظروف بيئية مختلفة تحدد معدل تغير الأنواع النباتية السائدة. السفوح الجبلية هي أهلة بمعظم الأنواع النباتية الموجودة في المجتمع النباتي، لكن القليل فقط منها تبقى متواصلة الى المنحدرات الشديدة، المنحدر الأوسط و العلوي وحتى الى للقمة. فقد تم تسجيل الغطاء النباتي المنخفض (36.98%) على هذه المنحدرات. قد يكون هذا بسبب انجراف التربة الشديد والنتوء الصخري (66.5-83.1%). معامل الارتفاع متبوعاً بالنتوء الصخري ثم شدة الانحدار هما على التوالي العوامل الطبوغرافية الرئيسية التي تؤثر على توزيع النباتات في هذه الأوساط الطبيعية. يمكن وصف العلاقة بين التضاريس وتوزيع الأنواع النباتية بنموذج خطي. تمت صياغة سبعة عشر (17) نموذجاً خطياً لأحد عشر (11) متغيراً نباتياً وثلاثة (03) عوامل طبوغرافية، الارتفاع، النتوء الصخري ودرجة الانحدار والتي تفسر من 26 إلى 83% من تباين التوزيع النباتي. وبالمثل، تم سرد أربع (04) مجموعات من الأنواع النباتية وفقاً للتضاريس المختلفة. يجب مراعاة ملائمة الأنواع النباتية لمثل هذه التضاريس أثناء أعمال إعادة تهيئة أحراج المناطق شبه الجافة في منطقة الدراسة.

كلمات مفتاحية: جبال عمور، علم البيئة، البيوجغرافيا، الأحراج، طبوغرافيا.

Sommaire

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	II
Introduction.....	1
Chapitre 1.- Présentation de la région d'étude.....	3
1.1.- Géologie.....	4
1.2.- Géomorphologie.....	5
1.3.- Synthèse géologique et géomorphologique.....	6
1.4.- Conditions édaphiques.....	8
1.5.- Hydrologie.....	10
1.6.- Conditions climatiques.....	11
1.7.- Phytogéographie.....	12
2.2.- Caractérisation bioclimatique de la zone d'étude.....	15
2.2.1.- Précipitations.....	15
2.2.1.1.- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles.....	15
2.2.1.2.- Régime saisonnier.....	16
2.2.2.- Températures.....	18
2.2.3.- Synthèse bioclimatique.....	22
Chapitre II.- Méthodologie du travail.....	26
II.1.- Principe d'étude.....	26
II.2.- Stations d'études.....	27
II.3.- Approche biogéographique par télédétection.....	32
II.3.1.- Approche cartographique à base d'images satellites.....	33
II.3.2.- Données GIS utilisées.....	35
II.3.3.- Variables topographiques inventoriées sur MNT.....	36
II.4.- Approche phytoécologique par échantillonnage floristique.....	40
II.4.1.- Choix de la technique d'échantillonnage et des sites de prélèvements.....	40
II.4.2.- Choix de la taille de l'échantillon.....	42
II.4.3.- Exécution des relevés phytoécologiques.....	44

II.4.4.- Variables spécifiques inventoriées sur terrain.....	44
II.4.5.- Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques.....	47
II.6.- Exploitation et analyse statistiques des résultats.....	51
II.6.1.- Approche biogéographique.....	52
II.6.2.- Approche phytoécologique.....	52
Chapitre IV : Résultats et Discussion.....	54
III.1.- Approche biogéographique par télédétection.....	54
III.1.1.- Prétraitements des images.....	54
III.1.2.- Données cartes topographiques.....	55
III.1.3.- Classification supervisée.....	55
III.1.4.- Réalisation de cartes de densités des classes.....	57
III.1.5.- Variables topographiques.....	58
III.1.6.- Traitement des données numériques.....	59
III.1.6.1.- Traitements statistiques.....	60
III.1.6.2.- Bilan diagnostic.....	64
III.1.6.3.- Discussion des résultats de l'approche phytogéographique.....	66
- Station de Kaf Sidi Bouzid ①.....	66
- Station de Djebel Gourou ②.....	66
- Station de Djebel El-Aouidja ③.....	67
- Station de Kaf El-Guelta ④.....	68
- Station de Djebel Sidi Okba ⑤.....	68
- Station de Djebel Zlagh ⑥.....	69
- Station de Gaadet Madna ⑦.....	70
- Station de Gaadet Anfous ⑧.....	70
- Station de Gaadet Ez-Zellidj ⑨.....	71
III.2.- Approche phytoécologique par échantillonnage floristique.....	72
Conclusion générale.....	90
Références bibliographiques.....	92
Annexes.....	111

Liste des figures

Figure 1. Localisation géographique de la région de Djebel Amour.....	4
Figure 2. Coupe géologique interprétative de la région d'étude.....	5
Figure 3. Régimes pluviométriques saisonniers de la région d'étude.....	18
Figure 4. Moyennes totales des valeurs de m, M, T et (M – m).....	20
Figure 5. Variations moyennes mensuelles des valeurs de m.....	21
Figure 6. Variations moyennes mensuelles des valeurs (M – m).....	21
Figure 7. Diagrammes ombrothermiques de la région d'étude.....	22
Figure 8. Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne.....	24
Figure 9. Positions de la région d'étude sur le Climagramme d'Emberger.....	25
Figure 10. Carte topographique de la région et des stations d'étude.....	30
Figure 11. Principe du calcul d'ombrage sur la base du MNT.....	37
Figure 12. Principe du calcul de courbure sur la base du MNT.....	38
Figure 13. Directions d'exposition.....	39
Figure 14. Paramètres du TWI.....	40
Figure 15. Représentation schématique du plan d'échantillonnage.....	43
Figure 16. Imagettes exemplaires de la classification supervisée.....	56
Figure 17. Dendrogramme des distances attributaires entre des classes de signature.....	56
Figure 18. Imagettes exemplaires de la réalisation de carte de densité.....	57
Figure 19.- Graphique de l'ACP (KSB).....	60
Figure 20.- Graphique de l'ACP (DGR).....	61
Figure 21.- Graphique de l'ACP (DEA).....	61
Figure 22.- Graphique de l'ACP (KGL).....	62
Figure 23. Graphique de l'ACP (DSO).....	62
Figure 24.- Graphique de l'ACP (DZL).....	63
Figure 25.- Graphique de l'ACP (GMD).....	63
Figure 26.- Graphique de l'ACP (GNF).....	64
Figure 27.- Graphique de l'ACP (GZL).....	64
Figure 28. Vue de la station de Kaf Sidi Bouzid.....	66
Figure 29. Vue de la station de Djebel Gourou.....	67
Figure 30. Vue de la station de Djebel El-Aouidja.....	67
Figure 31. Vue de la station de Kaf El-Guelta.....	68
Figure 32. Vue de la station de Djebel Sidi Okba.....	69
Figure 33. Vue de la station de Djebel Zlagh.....	69
Figure 34. Vue de la station de Gaadet Madna.....	70
Figure 35. Vue de la station de Gaadet Anfous.....	71
Figure 36. Vue de la station de Gaadet Ez-Zellidj.....	71
Figure 37. Spectre biologique brut de la liste globale de la flore recensée.....	76
Figure 38. Spectres biologiques réels des espèces recensées dans chaque topographie.....	77
Figure 39. Dendrogramme de l'AHC de 30 placettes en utilisant la méthode de Ward.....	81
Figure 40. Analyse Canonique des Corrélations.....	84

Liste des tableaux

Tableau 1. Précipitations moyennes annuelles enregistrées (mm).....	17
Tableau 2. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles enregistrées (mm)	17
Tableau 3. Températures moyennes mensuelles de la région d'étude.....	20
Tableau 4. Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimats correspondants.....	23
Tableau 5. Cartes topographiques consultées.....	55
Tableau 6. Moyenne \pm Ecart type des densités des classes dans les points échantillons.....	58
Tableau 7. Moyenne \pm Ecart type des variables topographies des points échantillons.....	59
Tableau 8. Résultats de l'ACP des données des stations d'étude.....	60
Tableau 9. Comportement des composantes du paysage forestier vis-à-vis des variables topographiques.....	65
Tableau 10. Liste des variables floristiques.....	72
Tableau 11. Liste des variables topographiques.....	73
Tableau 12. Caractéristiques des placettes échantillons.....	73
Tableau 13. Nombres d'espèces et de genres par famille.....	74
Tableau 14. Importance des éléments phytogéographiques dans la flore recensée.....	79
Tableau 15. Corrélation, valeurs propres et pourcentage cumulé de l'ACP.....	80
Tableau 16. Moyenne \pm écart type des indices floristiques dans les quatre topographies.....	82
Tableau 17. Indices de similarité entre les topographies.....	83
Tableau 18. Paramètres statistiques de l'Analyse Canonique de Corrélation.....	83
Tableau 19. Corrélation entre les variables initiales et les variables canoniques.....	83
Tableau 20. Modèles linéaires de la relation entre les facteurs topographiques et les indices floristiques par analyse de régression multiple.....	85
Tableau 21. Caractéristiques de l'analyse AHC et groupes d'espèces végétales spécialistes aux topographies.....	86

Introduction

Introduction

Dans le bassin méditerranéen, l'espace forestier requiert une importance écologique et socio-économique certaine. Les forêts algériennes comme celles méditerranéennes, présentent des richesses naturelles importantes dont une diversité floristique avérée (Quezel et Médail, 2003). Situées dans une zone où les conséquences des activités humaines se font sentir depuis au moins quatre millénaires, ces forêts ont le plus souvent été pillées, ou entièrement détruites par les civilisations successives. Cet espace est sous une pression anthropique due à l'élevage extensif non contrôlé ainsi qu'à la surutilisation des produits et services. La situation actuelle de ces forêts, est alarmante et des solutions intégrant le concept de développement durable doivent être impérativement trouvées (Quezel et Médail, 2003).

En Algérie, l'accroissement de l'impact anthropique lié à l'explosion démographique que connaît le pays, associé à la péjoration climatique de ces dernières décennies et aux méthodes d'aménagement sans doute peu adéquates, ont entraîné une régression inquiétante du patrimoine forestier (Le Houerou, 1991; Rognon, 1994 *in* Dahmani, 1997). La forêt une fois mise en place, est livrée à elle-même jusqu'au jour où elle sera la proie de divers fléaux comme le feu ou les maladies (Dilem, 1992). Généralement, lorsque l'équilibre est rompu, c'est la régression qui prédomine (Floret et Pontanier, 1982).

Parmi les systèmes écologiques les plus vulnérables à ces changements environnementaux, les écosystèmes arides de part leur fragilité liée à la sévérité des conditions climatiques et à l'action anthropique marquée surtout par le surpâturage. Ces écosystèmes sont caractérisés par des conditions spécifiques climatiques qui se manifestent par une longue saison sèche, une intense évaporation, des précipitations faibles avec une forte variabilité de leur répartition spatio-temporelle (Le Houérou, 1959). Il s'y ajoute des conditions d'aridité édaphique, provoquées par le ruissellement et les faibles réserves en eau du sol, le plus souvent de faible profondeur (Grouzis, 1992). Sous ces conditions, la dégradation est un phénomène qui a pris de l'ampleur depuis longtemps (Le Houérou, 1989).

Les écosystèmes arides recèlent une biodiversité importante adaptée à des conditions de milieu particulières fournissant un capital naturel, des biens et des services des plus remarquables (Whitford et Ludwig Wade, 2002). Parmi les composantes de ces écosystèmes, la végétation est d'une importance incontestable vue sa résilience malgré les différentes formes de dégradation et de perturbation d'ordre climatique et anthropique (Dahmani, 1997).

La flore constitue la composante vivante la plus affectée de ces écosystèmes, en effet, les nombreuses perturbations causent un déséquilibre écologique qui est à l'origine de la diminution voir la disparition du couvert végétal. Ce phénomène a commencé à attirer l'attention dès la fin du 19^{ème} siècle (Trabut, 1889 *in* Aidoud, 1989) et n'a cessé de s'accroître réduisant de plus en

plus les potentialités végétales de ces milieux (Aidoud, 1989). La biodiversité au niveau d'un paysage est donc la résultante des processus de perturbation, de succession et de l'organisation spatiale des gradients environnementaux qui en découle (Froise, 1999).

L'écologie est l'étude de la distribution et de l'abondance des organismes vivants qui résulte des interactions biotiques et abiotiques dans la nature (Crawley, 1997). La croissance des plantes est déterminée par les facteurs abiotiques qui établissent la niche fondamentale, définie comme étant la portée des conditions et des ressources avec laquelle certains individus d'espèces peuvent persister (Cronk *et al.*, 2001). Les limites de la niche fondamentale sont déterminées par tolérance physiologique vis-à-vis des facteurs abiotiques ; ainsi ; ces derniers sont déterminants des aspects de croissance de certaines plantes (Karowe, 2003).

De façon générale, dans l'ensemble des massifs montagneux de l'Atlas saharien algérien entre Biskra et la frontière marocaine, les chainons du Djebel Amour sont les plus boisés. Ils se soulèvent avec netteté de 1.400 à plus de 1.700 mètres d'altitude présentant une assez forte individualité physique. Elles sont des montagnes aux formes massives où prévaut le paysage de plateau. Presque entièrement constituées par les grès du Crétacé inférieur. Elles ont des sols sablonneux, légers et pauvres, mais les grès, roches fissurées et perméables, constituent de bons réservoirs dans cette région qui est la moins dépourvue de pluies dans l'Atlas saharien (Despois, 1957).

Cette région n'a bénéficié que de très peu d'études voire d'observations. Il n'existe que peu de références qui font allusion à la flore de la région (Maire, 1926; Quézel et Santa, 1962-1963; Pouget, 1980; Kadik, 1983 ; Ozenda, 2004) et à la faune (Heim de Balzac, 1926 ; Isenmann et Moali, 2000).

La région de Djebel Amour (Algérie) se caractérise par des massifs d'essences forestières très répandues en méditerranée tels que le Genévrier rouge, le Cade, le Chêne-vert et le Pin d'Alep, qui constituent d'intéressants massifs forestiers (Combe, 1900). Ce paysage forestier et pré-forestier connaît des transformations régressives rapides liées aux différents processus de la dégradation (Bonin et Quezel, 1980). De nos jours, il ne se rencontre que des maquis clairs de Genévrier de Phénicie, des maquis clairs arborés de Pin d'Alep et des taillis de Chêne-vert, constitués par une série de cantons isolés (B.N.E.D.E.R., 2011). Bonin et Quezel (1980) mentionnent qu'il est infiniment probable que cette évolution régressive de ces écosystèmes (forêts, pré-forêts et matorrals) soit engagée et peut devenir irréversible.

Notre capacité à prédire l'effet des changements de notre environnement sur la biodiversité dépend avant tout de notre compréhension des mécanismes qui régissent la distribution des espèces et l'assemblage des communautés (Jung, 2009). Face à la destruction de l'habitat dans le monde entier, comprendre comment les communautés se rassemblent et les forces qui influent sur leur dynamique, la diversité et le fonctionnement des écosystèmes qui

affectent les processus mondiaux seront d'une importance critique pour la gestion et la restauration des terres (Cavender *et al.*, 2009).

Certains travaux rapportent qu'en forêt, les facteurs environnementaux (édaphiques et topographiques) déterminent la répartition spatiale des arbres (Chuyong *et al.*, 2011, Réjou-Méchain *et al.*, 2011; Florence, 1981). La topographie a une influence importante sur la structure et la composition de la forêt, sa variation (angle de pente, exposition ou élévation) crée une hétérogénéité des ressources à travers le paysage. En effet, elle affecte les conditions environnementales, la disponibilité des ressources et les régimes de perturbation dans les communautés végétales (Cook, 1966; Daws *et al.*, 2002; Bennie *et al.*, 2008; Dyer, 2009). Elle influence ainsi les changements dans la disponibilité de la lumière, et les changements dans la profondeur et la composition du sol et dans sa teneur en eau et son drainage (Bale et Charley, 1994; Chen *et al.*, 1997; Bale *et al.*, 1998, Olivero et Hix, 1998; Galicia *et al.*, 1999; Tokuchi *et al.*, 1999). Cette répartition inégale des ressources environnementales conduit souvent à une complexité de la structure et de la composition des forêts dans un paysage (Ediriweera *et al.*, 2016). Afin de répondre à cette problématique, les recherches en écologie aident à mieux comprendre les processus et les patrons de répartition des espèces en fonction des facteurs environnementaux et en passant d'une approche plutôt descriptive (phytoécologie, biogéographie, phytosociologie) à une approche plus mécanistique (écologie évolutive ou fonctionnelle) (Choler, 2002).

L'étude écologique et biogéographique des formations forestières de la région de Djebel Amour, s'inscrit dans la connaissance et l'inventaire de la flore forestière et pré-forestière de la région de Djebel Amour. Elle a pour objectif l'étude autécologique des essences forestières et leur signification biogéographique. Elle est envisagée afin de doter les différents acteurs (décideurs, gestionnaires etc..) d'outils de base permettant d'affiner la gestion durable des écosystèmes et de mieux raisonner le choix des essences lors des reboisements.

Le travail est présenté d'une manière classique selon une approche qui s'articule en quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré sur la présentation de la région d'étude notamment les conditions climatiques et les données bibliographiques floristiques et faunistique de la région d'étude. Dans le second chapitre la méthodologie adoptée est exposée. Les résultats obtenus sont présentés dans le troisième chapitre avec et comparés à des travaux antérieurs. Une conclusion et des perspectives achèvent cette étude.

Chapitre I

Chapitre I.- Présentation de la région d'étude

Le Djebel Amour fait partie de l'Atlas saharien algérien. Il est situé entre les monts des Ksour à l'Ouest et ceux des Ouled Naïl à l'Est, qui ne constituent pas une entité géographique. Il est difficile à délimiter dans cette immense chaîne atlasique qui s'abaisse progressivement de l'Ouest vers l'Est (Camps, 1986). Il s'étend sur une centaine de kilomètres de longueur, du Sud-ouest au Nord-est, pour une largeur de 60 kilomètres, entre le Sahara au Sud et les Hauts-plateaux au Nord (Côte, 1996).

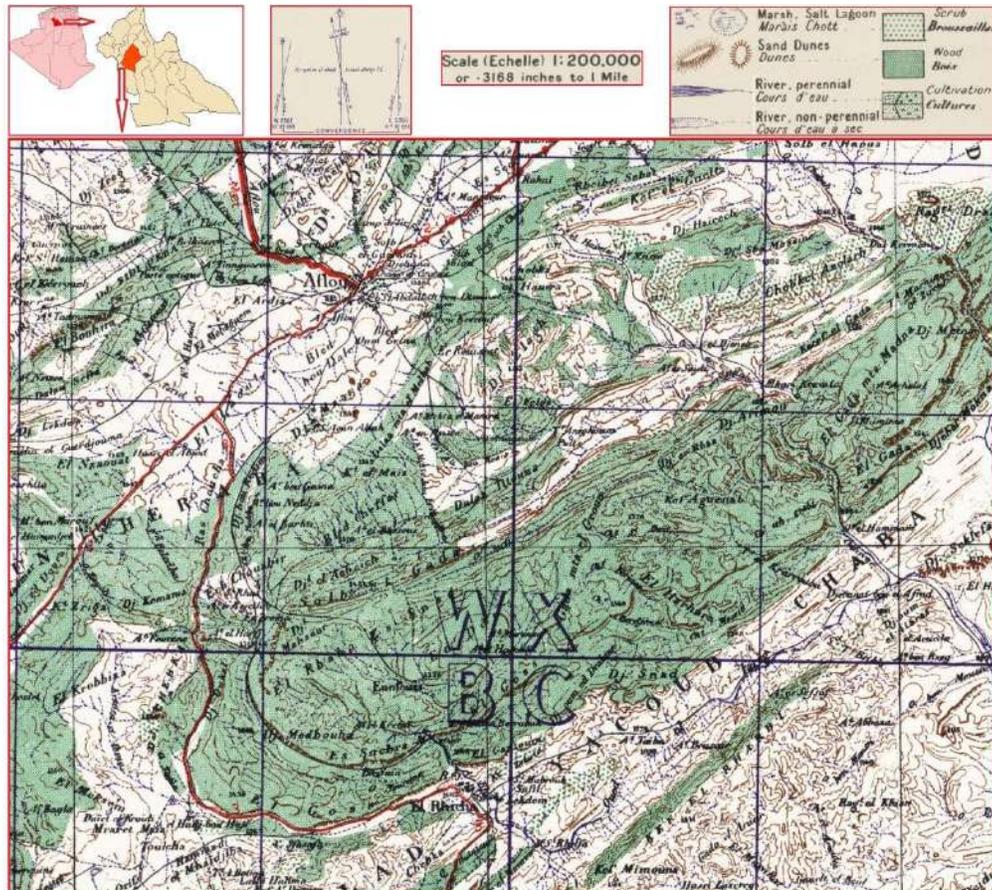


Figure 1.- Localisation géographique de la région de Djebel Amour (Extrait de la carte topographique d'Aflou 1956) (Source: http://legacy.lib.utexas.edu/maps/ams/north_africa/txu-oclc-6949452-ni31-6.jpg)

Pour décrire les conditions générales caractérisant la zone d'étude il faut rappeler qu'au niveau du Djebel Amour, quatre régions se succèdent du Nord-ouest au Sud-est: les hautes plaines steppiques, les parties hautes du massif, la zone montagneuse méridionale et le piémont saharien (Despois, 1957; Stambouli, 2004):

- **Hautes plaines steppiques:** se situent entre 1100 et 1300 mètres au Sud-ouest et 900 à 1000 mètres d'altitude au Nord- est.

- **Parties hautes de la montagne:** en venant du Tell le relief s'élève au-dessus de la steppe en un glacis de pente assez forte, c'est le Djebel qui se définit par ses montagnes de 1400 à plus de 1700 mètres d'altitude, ses roches gréseuses, son climat froid en hiver, ses sources, et ses forêts.

- **Partie méridionale de la montagne:** comporte un ensemble montagneux très important en bordure même du désert, mais aussi des altitudes plus basses et le relief qui s'affaisse en dépressions plus au moins larges. C'est une région montagneuse, mais plus chaude et plus sèche que la précédente, et qui va s'élargir du Nord-est au Sud-ouest.

- **Piémont Saharien:** se définit par son relief, par sa sécheresse et ses pâturages. C'est bien un piémont ou glacis d'érosion qui annonce le début du Sahara.

1.1.- Géologie

L'Atlas saharien est un domaine bien individualisé qui se distingue tant par son relief et sa structure que par le climat qu'il supporte et par une lithologie marquée par la prédominance de formations marno-gréseuses (Stamboul, 2004).

L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs à structures plissées (fig. 2) orientée N.E.-S.O., s'étendant depuis l'Ouest de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne. Il résulte de la tectonique compressive de l'orogénèse alpine qui a soulevé une puissante série sédimentaire d'âge secondaire donnant naissance ainsi aux synclinaux perchés et anticlinaux caractéristiques du domaine atlasique. L'Accident sud-atlasique est une suite de failles en échelon subverticales qui marquent la limite entre l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud (Herkat, 1999).

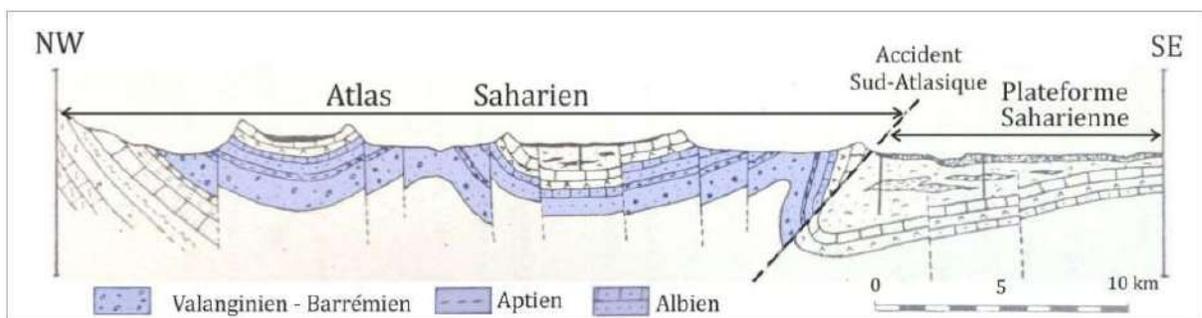


Figure 2.- Coupe géologique interprétative de la région d'étude. Au nord de l'accident sud-atlasique, les formations du Continental Intercalaire (en bleu) affleurent localement. Au Sud, ces formations sont enfouies à grandes profondeurs et ne sont pas représentées sur la coupe (Chettih, 1995).

Au Nord, l'Atlas saharien se rattache au domaine des Hauts plateaux Oranais dont il n'est séparé que par la ligne de fractures qui correspond à l'accident Nord Atlasique. Au Sud, la flexure qui le sépare de la plateforme saharienne apparaît comme une entité structurale majeure où se relaient divers types d'accidents (Stamboul, 2004).

La zone du Djebel Amour présente des plis anticlinaux, coffrés et faillés avec une remontée du Trias, des roches vertes et des synclinaux formés par des grés du Continental Intercalaire. Cette région est constituée de couches de calcaire et parfois de grés de l'albien, alternant avec des lits marneux servant de réservoirs pour les ressources naturelles (Hammouda, 2009).

Au Nord, l'Atlas saharien se rattache au domaine des hauts plateaux Oranais dont il n'est séparé que par la ligne de fractures qui correspond à l'Accident Nord Atlasique. Au Sud, la flexure qui le sépare de la plateforme saharienne apparaît comme une entité structurale majeure où se relaient divers types d'accidents. En se dirigeant de l'Est vers l'Ouest, les formations géologiques de l'Atlas Saharien deviennent de plus en plus anciennes (Stamboul, 2004).

D'Ouest en Est, l'Atlas saharien peut être subdivisé en Monts des Ksour, Massif du Djebel Amour, Monts des Ouled Nail. Pour le massif du Djebel Amour, cette montagne aux formes massives où prévaut le paysage de plateau, est caractérisée par deux grands ensembles géologiques importants, le jurassique (calcaire et marno-calcaire) et le crétacé (grés) (Stamboul, 2004).

D'un point de vue stratigraphique, l'Atlas Saharien Central est constitué par des affleurements Méso-Cénozoïques allant du Bathonien jusqu'à l'Actuel. Les séries paléozoïques n'affleurent pas. Du point de vue tectonique, ce domaine est caractérisé par des plis synclinaux et anticlinaux de grande dimension tantôt très allongé avec des flancs longs et courts, tantôt sous forme de dômes ou bombements à cœur érodé. Les structures sont allongées suivant une direction N.E.-S.O. dans la partie occidentale et Est-Ouest dans la partie Est du domaine (Bettahar, 2009).

I.2.- Géomorphologie

La géomorphologie peut être considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques (Aidoud-Lounis, 1984).

La zone d'étude est caractérisée par plusieurs formes géomorphologiques à savoir des Hamadas qui sont des reliefs tabulaires de pente (Stamboul, 2004). Le Djellal, qui présente des formations relativement planes (glacis) et qui couvre les deux tiers Nord-ouest de cette région. Il relie Tiaret à Aflou et il s'élève assez rapidement au dessus de la steppe en un glacis de pente assez forte et parfois ravinée (Stamboul, 2004).

Les reliefs de la région sont caractérisés par un très faible couvert végétal, ce qui est expliqué par la nature de leurs sols et la présence marquée des éléments grossiers. Les principaux djebels sont d'après Stambouli (2004):

- **Djebel Zlagh**, qui barre l'horizon d'Aflou à 1593 m d'altitude ;

- **Djebel Gaada**, dont la partie élevée se termine au Sud-est par le vaste plateau de grés ceinturé de falaises difficilement accessibles.

Les dépressions fermées ou Haoudhs, qui reçoivent parfois les eaux de ruissèlement où nous pouvons observer durant la période hivernale, les rassemblements des oiseaux d'eau qui font le repos de quelques jours, voire quelques semaines (Kouidri, 2013).

Les accumulations sableuses qui sont des formations éoliennes où on distingue quatre formes: voiles sableux, nebkas, nappes de sable et microdunes.

- **voiles sableux** qui sont des dépôts discontinus de sable, peu épais et plus ou moins mobiles. Ils favorisent le développement des psammophytes annuelles telles que *Schismus barbatus* (L.) Thell. (Poaceae) et *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae) (Pouget, 1980) ;

- **nebkas**, qui sont des accumulations de sables fins arrêtées par un obstacle végétal de petite dimension ;

- **nappes de sable** qui sont des accumulations continues, localisées dans les dépressions. Elles sont colonisées par des psammophytes tel que *Thymelaea microphylla* Coss. & Durieu ex. Meisn. (Thymelaeaceae) et des placages d'espèces annuelles tels que *Plantago albicans* L. et *Schismus barbatus*;

- **microdunes**, elles sont les accumulations les plus importantes, et sont plus ou moins fixées par quelques psammophytes vivaces, comme *Stipagrostis pungens* subsp. *pungens* (Desf.) De Winter (Poaceae) surtout au niveau des oueds secs (Pouget, 1980).

I.3.- Synthèse géologique et géomorphologique

Sur la base des travaux de Despois (1957) et Stambouli (2004), la région de Djebel Amour comporte des zones qui se succèdent en allant du Nord au Sud telles que: les hautes plaines steppiques, les parties hautes de la montagne, la partie méridionale et le piémont saharien:

Pour les Hautes plaines steppiques, le relief est essentiellement constitué par de larges plaines et de molles collines qui dominent des hauteurs de 100 à 200 m avec des fortes pentes et faisant figure de montagnes et qui sont faites des mêmes strates gréseuses du Crétacé Inférieur et Moyen (Despois, 1957).

Des glacis, qui sont de grands plans aux formes rigides, inclinés vers les dépressions, ceinturent montagnes et collines et taillent en biseau aussi bien les strates des grès crétacés que les couches épaisses argilo-sableuses rouges du Tertiaire continental. Ces glacis sont généralement durcis d'une croûte calcaire et découpés en plateaux ou en lanières par la morsure des torrents, celle de l'Oued Sebgag et de ses affluents en particulier. Localement recouverts de sables éoliens, ils s'enfouissent sous les alluvions des dépressions fermées dont le fond, tapissé de limon fertile, porte le nom de « dayas ». Ces dayas, où se rassemblent et s'infiltrent les eaux de ruissèlement, sont particulièrement nombreuses dans la moitié nord du djebel (Despois, 1957).

Allant vers le sud, débutent les parties hautes de la montagne par un relief où les directions, comme celles de la structure, sont orientées du Sud-ouest au Nord-est. Les couches, presque toutes de grès, sont modérément plissées, et c'est l'aspect de plateau qui l'emporte. Les formes du relief et surtout les conditions bioclimatiques permettent de diviser la montagne en deux grands ensembles (Despois, 1957).

Le premier, qui couvre les deux tiers Nord-ouest, est le plus élevé et le plus varié. C'est Djebel Djellal, qui s'élève au-dessus de la steppe en un glacis de pente assez forte et parfois raviné, les montagnes qui le dominent sont, au Sud-ouest des synclinaux perchés de grès du céno-manien qui dressent vers le Nord leur pente la plus forte, souvent coiffée d'une corniche tels que le Djebel Oum El-Guedour et Djebel Sidi Okba (1707 m), et au Nord-est l'anticlinal du Djebel Djehaïffa, défoncé par l'Oued El-Maleh, et jusqu'au Kef Sidi Bou Zid (1503 m.) (Despois, 1957).

Cette série de montagnes offre face à la steppe un front presque continu, franchi en cluses par quelques rivières. Après cette ligne montagneuse on arrive au cœur du Djebel Amour, une large zone déprimée, dans l'ensemble synclinale, où les couches de grès donnent de mornes surfaces structurales. C'est là que se place la ligne de partage des eaux entre les oueds qui vont se perdre dans la steppe et ceux qui descendent vers le Sahara (Despois, 1957; Stambouli, 2004).

Dans cette zone se succèdent du Sud-ouest au Nord-est des collines et des petites dépressions, la conque où se forme l'Oued Sebgag, la plaine dite El-Haoudh, de part et d'autre d'Aflou, le synclinal perché du Djebel Gourou (1706 m), le Djebel Zlagh (1593 m), qui barre l'horizon d'Aflou, qui est la partie restée en relief d'un long anticlinal partiellement évidé au Sud-ouest, et qui s'aplatit en plateau jusqu'à la corniche en croissant qui domine Taouiala (Despois, 1957; Stambouli, 2004).

La partie élevée du Djebel se termine au Sud-est par le vaste plateau de grès ceinturé de falaises difficilement accessibles qu'on appelle la Gaada (plateau). C'est un synclinal à fond plat dont les couches se relèvent sur les bords, principalement au nord, et qui est mis en relief sur sa face méridionale. Il est creusé d'étroites vallées, les plus profondes sont ceux des branches supérieures de l'Oued Mzi, les oueds Morra et Ouaren qui, nés plus au Nord, traversent la Gaada dans toute son épaisseur. On distingue parfois la Gaada d'Enfous, au Sud-ouest, qui est creusée par les branches supérieures et les affluents de l'Oued El-Gheicha-Fareg, la Gaada centrale ou d'El-Groun que rayent les vallons affluents de l'Oued Ouaren, et la Gaada de Madna au-delà des gorges transversales de l'Oued Ouaren. Mais il s'agit d'une même unité structurale et morphologique (Despois, 1957).

A la partie méridionale de la montagne, au Nord-est, le versant méridional de la Gaada est bordé par une dépression monoclinale où coule l'Oued Fareg (le séparateur), puis par la grande chaîne anticlinale du Kef Mimouna (1619 m). Elle se décompose en deux rides où affleurent les grès et dolomies du Jurassique, la première formant les djebels Gharbi (1441 m) et Seklafa (1277 m), la seconde le Djebel El-Merrakab (1519 m). Cette chaîne anticlinale qui borde le Sahara est creusée transversalement, en cluses comme celles du Seklafa, par les oueds Ouaren et Morra qui se

réunissent pour former le M'Zi et le Foug Redad qui est plus homogène et forme un anticlinal coffré. L'Oued Reddad (le vomisseur) et l'Oued El-Maleh traversent cet anticlinal (Despois, 1957).

Au Sud-ouest l'ensemble déprimé avec les crêtes, de direction Nord-est Sud-ouest, qui s'allongent en vue d'El-Gheicha et qui sont les affleurements de couches assez fortement inclinées, ont été en partie nivelées avec ébauche de glacis descendant vers le Sud-est. Ils sont relayés, dans la région d'El-Khadra, par le synclinal de Kef Et-Teïr et de Kef Ez-Zag qui est resté en relief entre les deux dépressions anticlinales de Taouiala et de Kebala. L'Oued Kebala les traverse, il est l'une des branches de l'Oued El-Maleh qui draine une immense cuvette d'érosion colmatée d'alluvions tertiaires: poudingues, sables, argiles et surtout complexe argilo-sableux (Despois, 1957).

Le large développement des vallées, des vallons et des bassins place la plus grande partie de la montagne méridionale au-dessous de 1250 m. Enfin, le piémont saharien piémont ou glacis d'érosion qui nivelle d'abord, les couches inclinées de grès, et qui se continue vers le Sud soit par des cuvettes alluviales quaternaires sous lesquelles il s'ennoie, ainsi de part et d'autre de l'Oued El-Maleh et entre Aïn Madhi et Tadjerouna, soit par la surface encroûtée des dépôts continentaux du Tertiaire. Ceux-ci, plus sablonneux que dans le Nord et traversés de couches de grès tendre, sont entaillés parfois par des ravins peu profonds mais suffisants pour dégager de modestes hamadas (plateaux). En surface ils sont parsemés de dayas, légères dépressions couvertes d'un sol limoneux et que les pluies peuvent y remplir d'eau douce (Despois, 1957).

La mince crête qui s'allonge de part et d'autre d'El Maya, seul témoin d'un ancien synclinal, celle qui entoure la cuvette synclinale de la Dakhla d'El-Houaïta et les collines de la région de Tadjemout montrent que le nivellement du piémont est resté incomplet (Despois, 1957).

I.4.- Conditions édaphiques

Les sols des zones arides et semi-arides ont été décrits par plusieurs auteurs. Ils sont en général des sols fragiles, pauvres en humus et peu profonds. Les processus de pédogenèse qui se produisent dans les conditions du climat semi-aride sont influencés non seulement par des précipitations insuffisantes mais aussi par une évaporation élevée. Hammouda (2009) a distingué plusieurs types de sols dans la région d'étude:

- **Les sols minéraux bruts très peu évolués**, se caractérisent par une faible différenciation des horizons. Suivant la nature et la consistance de la roche mère, on distingue:

Les lithosols: sont des sols d'érosion qui se développent sur les roches dures (grès, calcaire), ces sols sont très squelettiques rencontrés sur des crêtes et sur les sommets de djebels; et **les régosols**: sont aussi des sols d'érosion qui se développent sur les roches tendres (marnes, argiles) et se rencontrent dans les entailles des oueds et dans certains glacis.

- **Les sols d'apports peu évolués**, classés suivant l'origine des dépôts: alluviaux ou éoliens.

Les sols d'apport alluvial sont les plus représentés dans la région de Djebel Amour, ils sont situés

dans les lits des oueds ainsi que sur les zones d'épandage et les petites dayas. La surface du sol présente une croûte de battance. En général, les sols alluviaux bénéficient d'un apport d'eau de ruissellement. Ces sols peuvent être intéressants pour les cultures céréalières et fourragères. Ils peuvent présenter également un faciès post-cultural à *Artemisia campestris* L. (Asteraceae) et *Peganum harmala* L. (Nitrariaceae).

Les sols d'apport éolien se localisent sur des formations éoliennes fixées par la végétation: champ de sable, placage et microdunes. Ces sols sont colonisés par des psammophytes comme *Stipagrostis pungens* subsp. *pungens* (Desf.) De Winter (Poaceae) et *Retama raetam* (Forssk.) Webb (Fabaceae).

- **Les sols calcimagnésiques**, comprennent des rendzines qu'on retrouve sur les versants de djebels. Leur texture est souvent limono-argileuse. Lorsque l'érosion est forte, l'horizon A est décapé, la Roche-mère est mise à nu, aboutissant à la formation d'un lithosol. Ces rendzines sont colonisées par un matorral à base de *Quercus ilex* L. (Fagaceae), *Juniperus phoenicea* L. (Cupressaceae), *Launaea lanifera* Pau (Asteraceae) et *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth (Poaceae).

Les sols bruns calcaires sur les piedmonts et les glacis du Quaternaire récent. Ces sols sont peu profonds, leur épaisseur varie de 10 à 30 cm. La texture varie de limono-sableuse à sablo-limoneuse avec un taux de matière organique faible.

Les sols à accumulation calcaire qui occupent une superficie importante sur les glacis du Quaternaire Ancien et Moyen. Lorsque ces sols sont recouverts d'un léger apport éolien, on y trouve une végétation psammophile à base de *Thymelaea microphylla* Coss. & Durieu ex Meisn. (Thymelaeaceae).

Ces sols calcimagnésiques ont leur surface sensible à l'érosion (surtout l'érosion en nappe). Ils sont couverts d'une pellicule de glaçage surmontée souvent d'un voile éolien.

- **Les sols hydromorphes** (à gleys salés) sont formés dans les vallées des oueds. Ces sols sont caractérisés par la différenciation des horizons génétiques et la présence de gleys. La texture du sol est limoneuse, et la teneur en matière organique est élevée dans l'horizon supérieur (5%) qui décroît avec la profondeur (Hammouda, 2009).

La plus grande partie des hautes plaines a des sols calciques, le plus souvent squelettiques ou minces, ils s'épaississent dans les dayas où ils deviennent plus ou moins salins et dans les principales vallées où ils ont les caractères des alluvions. Assez riches en calcaire et non dépourvus de matières organiques, ils donnent de bonnes terres de culture lorsqu'ils sont assez épais et qu'ils sont irrigués ou inondés par les eaux de ruissellement (Despois, 1957).

A l'inverse des steppes, les parties hautes du massif bien qu'elles soient abondantes en eau ont peu de bonnes terres. Les sols calciques de la steppe pénètrent en golfe et on les retrouve, par taches, dans la région des hauts oueds Morra et El-Maleh-Ouaren irrigués par les sources de ces cours d'eau ils révèlent des qualités moyennes. Les sols forestiers sont un peu humifères, les uns sont assez riches en calcaires, mais la plupart en sont dépourvus et donnent des sols « en équilibre » ou des sols « insaturés », en résultat des sols sablonneux, légers et pauvres non seulement en calcaire

mais aussi en acide phosphorique (Despois, 1957; Stambouli, 2004). Kadik (1983) les définit comme des sols sur calcaires durs plus ou moins dolomitiques ou sur grès siliceux à texture grossière et sont perméables.

A la partie méridionale de la montagne les sols les plus largement représentés sont les sols calciques des steppes, mais ils ne sont un peu épais, et encore par taches, que dans la dépression de Taouiala-El-Khadra et dans celle où convergent les oueds qui forment l'Oued El-Maleh. Il n'y a plus de véritables forêts et les montagnes, comme les glacis du piémont saharien, n'offrent plus que des sols squelettiques ou des affleurements rocheux (Despois, 1957).

Dans le sud de la région, les formations sableuses du tertiaire continental représentent un aquifère intérieur lorsqu'elles atteignent une épaisseur importante (Stamboul, 2004).

1.5.- Hydrologie

La région de Djebel Amour est soumise à un climat qui, globalement va du semi-aride à l'aride, l'altitude aura un rôle prépondérant et malgré des précipitations faibles, des écoulements liés au ruissellement pourront se mettre en place et qui iront réalimenter les dayas et les nappes localisées sur la bordure Saharienne.

Le domaine atlasique et sa bordure saharienne sont caractérisés par leur faible précipitation. Toutefois, ils peuvent donner naissance à des écoulements s'enfonçant loin vers le Sud où ils assurent la recharge des nappes souterraines. La seule explication possible repose sur la prise en compte de l'intensité des averses qui, dépassant la capacité d'absorption ou d'ingestion, des sols voient leurs eaux ruisseler et donner naissance à des écoulements. Pour le Djebel Amour, cela signifie que le ruissellement et donc le régime de crue présenté par les oueds est essentiellement lié aux précipitations orageuses. Selon Stambouli (2004), la zone de l'Atlas saharien amourien est caractérisée par des pentes de 12,5 à 25 % et la zone des Hauts Plateaux et des Plateaux Sahariens caractérisée par des pentes de 0 à 3 %.

Les ressources en eau du secteur sont associées aux nappes souterraines, les grès, roches perméables, sont de bons réservoirs dans cette région qui est la moins dépourvue de pluies de l'Atlas saharien occidental, le Djebel Amour est en effet relativement riche en eau: les sources y sont assez nombreuses (Despois, 1957). Il donne naissance à de longs oueds pérennes sur une grande partie de leur cours, les principaux oueds sont les suivants (Stamboul, 2004): Oued Sebgag, Oued Seklafa et Oued Sidi Naceur.

- **L'Oued Sebgag**: à 20 km à l'ouest d'Aflou, il existe un certain nombre de sources pérennes donnant naissance à l'Oued Sebgag qui reçoit en aval plusieurs affluents pour former l'Oued Touil, puis l'Oued Cheliff, le plus important oued d'Algérie. Son parcours est de 10 km et son bassin versant recouvre une superficie de 126.5 km² ;

- **L'Oued Seklafa:** situé au Sud-est d'Aflou, il constitue l'affluent le plus important de l'Oued M'Zi (d'une longueur de 40 km, il draine un bassin de 775.6 km²). C'est au niveau des grés du Barrémien - Aptien – Albien et des calcaires du Jurassique que jaillissent à débit très faible et variable les sources de l'Oued Morra dont la plus importante est l'Ain Arar (environs 4 l/s).

- **L'Oued Sidi Naceur:** prend sa naissance au niveau de la terminaison Nord occidentale du Djebel Amour. Plusieurs émergences contribuent à son alimentation, en particulier les sources d'El-Hadj El-Mechri et de Sidi Naceur. L'écoulement s'effectue du Sud-ouest vers le Nord-est avec un parcours de 120 km. Le bassin versant limité au Nord par celui du Chott Chergui qui couvre une superficie de 1972 km² (Stamboul, 2004).

Dans le Djebel Amour, le Barrémien, Aptien, Albien se présente sous forme d'une série de bassins synclinaux parfois indépendants, comportant chacun un ou plusieurs aquifères. Les plus importants sont le Synclinal d'Aflou, d'El-Gantara au Nord, le synclinal de Gaada-Taouiala au centre et le synclinal d'Ain Madhi au Sud (Stamboul, 2004).

Le réseau hydrographique de faible vitalité s'organise en système endoréique dont les eaux de ruissellement sont collectées au moment des pluies. De par sa situation au flanc Nord-ouest de l'Atlas Saharien, la région d'Aflou se caractérise par un réseau hydrographique important avec un type d'écoulement endoréique (Pouget, 1980).

I.6.- Conditions climatiques

Trois facteurs principaux interviennent dans la définition du régime qui règne sur le Djebel Amour (Stamboul, 2004):

- **La situation géographique:** distant de 300 km de la mer, la région se retrouve à la limite méridionale du secteur balayé par le Front polaire et le Front polaire dérivé. De ce fait, les influences Atlantico-méditerranéennes seront très dégradées, tandis que s'affirme l'empire saharien au fur et à mesure que l'on se déplace vers le Sud.

- **L'altitude:** dont les effets compensent partiellement ceux de la latitude et qui apporte des températures froides en hiver et chaudes en été en raison d'un fort ensoleillement. Au plan des précipitations, un accroissement pourrait être noté avec l'altitude. Pour une moyenne sur l'ensemble du massif qui serait de 200 mm, le maximum pourrait atteindre 400 mm sur les sommets les plus élevés.

- **L'orientation des versants:** qui, lorsqu'ils sont exposés aux vents pluvieux se montrent plus humides que leurs revers. Cette orientation des versants conforte l'effet de l'altitude vis-à-vis des précipitations.

La pluviosité moyenne annuelle de la steppe est estimée comprise entre 200 et près de 400 mm, les pluies augmentant avec l'approche des montagnes, l'altitude tempère les chaleurs de l'été, mais en hiver les vents froids des quadrants Nord et Ouest sont à redouter et les chutes de neige ne sont pas exceptionnelles (Le Houerou *et al.*, 1977).

Quant aux régions hautes assez variées par leur relief, elles présentent des caractères bioclimatiques communs. Situées à peu près partout au-dessus de 1300 m et souvent de 1400 m d'altitude, elles ont des étés tempérés mais les hivers sont longs et froids. Il peut geler dès octobre, et jusqu'à la mi-avril, soit durant plus de 6 mois. La neige n'est pas rare de décembre à mars et elle reste souvent plusieurs jours sur le sol, même en dehors des îlots montagneux. Les vents, vents froids d'Ouest à Nord, sont souvent redoutables. Les étés, par contre, sont très tempérés, avec de forts écarts diurnes de température; les nuits y sont fraîches sauf quand souffle le siroco, le vent chaud et sec du désert. La montagne est mieux arrosée que la steppe, dans sa partie septentrionale. Elle peut recevoir jusqu'à 500 mm par an. La sécheresse de l'été méditerranéen est ici atténuée par des orages qui peuvent être très pluvieux. Ils s'accompagnent souvent de grêle (Camps, 1986).

Concernant la partie méridionale de la montagne, qui se place en grande partie au dessous de 1250 m d'altitude les observations météorologiques manquent totalement et la station la plus proche reste celle d'Aflou. Partout, sauf sur les plus hauts sommets, la neige est rare et elle ne reste pas sur le sol plus de quelques heures. La pluviosité annuelle, nulle part mesurée, doit être de 200 à 300 mm en moyenne et varier non seulement avec les années, mais aussi avec l'exposition et l'altitude. Ce ne sont pas les 200 m perdus en altitude qui font cette différence climatique c'est l'exposition au Sud et surtout l'abri des vents froids d'hiver (Despois, 1957).

Plus en bas, la vallée de l'oued M'Zi entre 900 et 950 m d'altitude est torride dès la fin du printemps, c'est déjà le Sahara pour les habitants de la montagne.

Finalement, pour le climat du piémont saharien les hivers ne sont pas aussi doux car les altitudes restent assez fortes: entre 900 et 1050 m. Pour la même raison les chiffres des étés ne sont pas très élevés, en effet la continentalité est accentuée dans la zone présaharienne avec des étés très chauds, des hivers froids et des vents de sable au printemps. Les amplitudes diurnes des températures sont plus fortes en hiver qu'en été alors qu'on observe le contraire dans la montagne. Les pluies annuelles sont inférieures à 200 et souvent à 175 mm (Despois, 1957).

I.7.- Phytogéographie

De nombreux travaux en botanique et en phytosociologie, ont été réalisés sur l'Algérie steppique, on peut citer: Maire (1926), Quézel (1957), Ozenda et Keraudren (1960), Quézel et Santa (1962, 1963), Barry et Faurel (1968), Rodin *et al.* (1970), Barry et Celles, (1972-1973), Barry *et al.* (1974), Celles (1974, 1975), Quézel (1975), Le Houérou *et al.* (1977), Djebaili (1978).

Les modifications adoptées par Quézel et Santa (1962, 1963), Barry et Celles, (1972-1973) et par Barry *et al.* (1974) ont apportés plus de détails sur la subdivision de Maire (1926) en se basant essentiellement sur l'aspect floristique.

Selon Barry et Celles (1972-1973) et d'après la carte de végétation au 1/1.000.000 d'Algérie établie par Barry *et al.* en 1974, la zone d'étude fait partie du Groupe méditerranéen de l'Holarctis, de la Région méditerranéenne, Sous-région Eu-méditerranéenne, du Domaine Maghrébin steppique, secteur de l'Atlas Saharien et sous-secteur de l'Atlas Saharien algérois (Kaabeche, 1990).

Elle est bordée au Nord, par le secteur des Hauts plateaux Algéro-oranais et au Sud par le Sahara septentrional (région Saharo-sindienne) (Kaabeche, 1990).

En zones arides, la végétation est fidèle à certains aspects de la géomorphologie en relation avec la lithologie (Le Houérou, 1969; Djebaili, 1978). Les zones steppiques présentent une végétation exceptionnelle qui est le résultat des interactions de plusieurs facteurs essentiels dont le climat et le sol ainsi que l'action anthropique (Le Houérou, 1971, 1993, 1995) et provient de la dégradation de formations forestières primitives.

I.7.1.- Formations forestières et de dégradations forestières du Djebel Amour

- Forêts du Djebel

La notion de « forêt » diffère des régions nordiques pluvieuses plus arrosées à celles du Sud relativement sèches. Pour Le Houérou (1971), une « forêt » est toute formation d'au moins 100 arbres par hectare. Les "forêts" d'Aflou sont fortement soumises aux délits, et elles sont constituées de Genévrier de Phénicie, Pin d'Alep, Chêne vert et du Pistachier de l'Atlas, et sont installées sur un substrat siliceux très rocheux, peu profond avec peu d'humus (Smaïhi, 2009). Elles sont toujours plus ou moins dégradées, à cause du climat et de l'homme (Kadik, 1983; Barbéro *et al.*, 1990).

Les vestiges de l'ancienne forêt de chêne vert qui, occupa jadis, des superficies importantes de la région, le reste de cette formation forestière se localise au niveau des bords d'oueds. Une grande partie de cette formation a été remplacée dans le cadre du grand projet du barrage vert par le Pin d'Alep. Les formations naturelles de ce conifère qui occupent le Djebel Amour, sont actuellement des forêts dégradées.

Du côté des monts des Ouled Nail, le Pin d'Alep et le Chêne vert ont tendance à se regrouper avec le Genévrier de Phénicie et du Genévrier oxycèdre. La composition floristique du Pin d'Alep est composée par: *Helianthemum cinereum* (Cav.) Pers. (Cistaceae), *Globularia alypum* L. (Plantaginaceae), *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae), *Cistus libanotis* L. (Cistaceae), *Genista microcephala* Coss. & Durieu (Fabaceae), *Atractylis humilis* L. (Asteraceae), *Phillyrea angustifolia* L. (Oleaceae) et *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae).

Il faut aussi signaler les formations de reboisement du Pin d'Alep qui occupent de vastes étendues dans la région avec des taux de réussite différents et des étagements très hétérogènes.

- Matorrals du Djebel

Le matorral, terme d'origine espagnol a été adopté par Ionesco et Sauvage (1962) pour décrire, les formations de ligneux bas n'excédant pas 7 m de hauteur. Il représente la forme considérée comme la plus typique de la végétation méditerranéenne (Di Castri, 1981). Ce type de formation est qualifié, sur substrat calcaire de *Garrigue* et sur substrat siliceux, de Maquis. Le terme de matorral est habituellement utilisé pour qualifier, du point de vue physiognomique, cette végétation quel que soit le type de substrat (Bourbouze et Donadieu, 1987).

Les matorrals du Djebel Amour peuvent être considérées comme des forêts présteppiques au sens de Quézel et Médail (2003), suite à une insuffisance de précipitations (stress hydrique) ou à des températures hivernales très basses (stress thermique) (Quézel *et al.*, 1980 *in* Quézel et Médail, 2003).

Le recouvrement global du couvert végétal dans ces formations ne dépasse pas 50%. Elles sont à base d'Alfa *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth (Poaceae), Genévrier de Phénicie *Juniperus phoenicea* L. (Cupressaceae) et Genévrier oxycèdre *Juniperus oxycedrus* L. (Cupressaceae). Ces dernières formations, où déjà domine l'Alfa, assurent la transition dynamique vers les groupements steppiques (Le Houérou *et al.*, 1977).

I.7.2.- Formations steppiques

Les formations steppiques ne constituent pas une végétation primitive mais divers stades de dégradation d'une forêt claire xérophile à *Pinus halepensis* Mill. (Pinaceae) et *Juniperus phoenicea* L. (Cupressaceae) (Le Houérou, 1959, 1969).

La steppe est l'écosystème où s'exacerbent l'ensemble des contraintes méditerranéennes par le déficit hydrique qui devient permanent (aridité) et par la pression anthropique qui est dans la plupart des cas, de plus en plus intense (Aidoud, 1994).

Selon Le Houérou (1995), la steppe comme les formations végétales basses et ouvertes, dominée par des espèces pérennes, dépourvue d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables.

Les formations à Alfa *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth (Poaceae) remplacent la végétation forestière sur les mi-versants et sur les glacis anciens et moyens avec des sols calcimagnésiques. Des steppes mixtes d'Alfa, de Sparte *Lygeum spartum* L. (Poaceae) et d'Armoise blanche *Artemisia herba-alba* Asso (Asteraceae) sur les chenaux d'oueds ensablés surtout dans les versants nord du djebel et qui connaissent-elles même des dégradations suite au surpâturage. Elles se

partagent le paysage, plus au sud, assurant la transition avec les végétations sahariennes où la steppe à Remt *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (Amaranthaceae) domine.

Les dépressions fermées de la région, sont presque totalement exploitées pour la céréaliculture. Les espèces caractéristiques de ces milieux, telle le Pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) et le Jujubier *Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae), colonisent parfois les lignes de crêtes des reliefs qui gardent par leur nature, un taux considérable d'humidité.

Les régions qui subissent des pressions anthropiques importantes (surtout le surpâturage) sont couvertes par des formations de dégradation telles que le Drinn *Stipagrostis pungens* subsp. *pungens* (Desf.) De Winter (Poaceae), Harmel *Peganum harmala* L. (Nitrariaceae), et essentiellement l'Armoise champêtre *Artemisia campestris* L. (Asteraceae) et le Chouprouk *Noaea mucronata* (Forssk.) Asch. & Schweinf. (Amaranthaceae). Les jachères sont colonisées par des espèces épineuses comme les Chardons *Carduus* L. sp..

I.8.- Caractérisation bioclimatique de la zone d'étude

Dans la région méditerranéenne, la classification bioclimatique d'Emberger est généralement la plus utilisée, où les bioclimats sont définis par un climagramme pluviothermique, elle repose sur « les caractères climatiques qui influencent le plus fortement la vie végétale » (Le Houérou *et al.*, 1977).

Comme l'Algérie du Nord, les zones steppiques dont la région d'étude, ont un climat méditerranéen avec une saison estivale sèche et chaude, le semestre hivernal étant par contre pluvieux et froid. Il s'agit d'une forme particulière de ce climat caractérisé essentiellement par des faibles précipitations présentant une grande variabilité intermensuelle et interannuelle, et par des régimes thermiques relativement homogènes mais très contrastés, de type continental (Emberger, 1955, 1971; Le Houérou *et al.*, 1977).

La caractérisation climatique de la région d'étude, s'est référée à des observations notamment les précipitations et les températures de plusieurs périodes anciennes en raison du manque de données continues (Seltzer, 1946; Dubief, 1959; 1963; Chaumont et Paquin, 1971; E.N.E.M.A, 1976) cités par Hammouda (2009), et aux observations actuelles de la station météorologique d'Aflou qui est la plus proche, située à 1422 m d'altitude (O.N.M., 2020).

I.8.1.- Précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale, dont l'alternance saison des pluies, saison sèche, joue un rôle régulateur des activités biologiques (Ramade, 1984).

Selon Kadik (2005) et Medjrab (2005), les précipitations en Algérie sont influencées par des facteurs topographiques (altitude et exposition) et géographiques (longitude, latitude et continentalité) et possèdent de ce fait une grande variabilité spatiale. La pluviosité augmente avec l'altitude, où elle est plus élevée sur les versants Nord exposés aux vents humides, augmente également d'Ouest en Est et à l'inverse. Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le sud.

I.8.1.1.- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées sur plusieurs périodes dans la région d'étude sont représentées sur le tableau (tab.1), et les moyennes mensuelles et annuelles pour les deux périodes (1913-1938) et (2000-2019) sont montrées dans le tableau (tab.2).

Tableau 1.- Précipitations moyennes annuelles enregistrées (mm) dans la région d'étude (Hammouda, 2009; ONM, 2020)

Seltzer 1913-1938	Dubief 1926-1950	Chaumont et Paquin 1913-1963	E.N.E.M.A 1950-1975	O.N.M 1967-1987	Moyenne anciennes périodes	O.N.M 2000-2019
342	332	330	376.5	318.3	339.76	282.94

Tableau 2.- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles enregistrées (mm) dans la région d'étude des deux périodes (1913-1938) et (2000-2019) (Hammouda, 2009; ONM, 2020)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P (mm)
1913-1938	31	33	38	32	28	28	9	11	24	45	30	33	342
2000-2019	31.7	30.4	32.8	32.6	23.4	11.3	12.5	8.6	13.2	23.8	33.3	29.3	282.9

Il ressort de l'analyse des données des tableaux 1 et 2 que la quantité de précipitations que reçoit la région d'Aflou a diminué d'environ 56 mm par rapport à la période (339.76 mm en moyenne). Elle était de 342 mm au début du siècle dernier alors que pour les vingt dernières années, elle est de 282,94 mm. Djellouli et Nedjraoui (1995) ont signalé que la pluviosité moyenne annuelle a diminué de 17 à 27% dans les steppes algériennes.

Pour la période (1913-1938), le mois le plus pluvieux, est le mois d'Octobre avec 45 mm, alors que pour la période (2000-2019), c'est le mois de Novembre avec 33,3 mm. Le mois le plus sec de la période (1913-1938), est le mois de Juillet avec 9 mm alors que celui du mois d'Aout est le moins pluvieux pour la période (2000-2019) avec 8.6 mm seulement.

I.8.1.2.- Régime saisonnier

La connaissance de la pluviométrie annuelle moyenne, est une donnée insuffisante pour caractériser un régime pluviométrique régional. Il est nécessaire de la compléter par la détermination de la répartition saisonnière des pluies de l'année et de sa variation (Chaumont et Paquin, 1971).

Le régime pluviométrique est également utilisé comme un élément caractéristique du climat. Pour le végétal, la répartition des pluies est plus importante que la quantité pluviométrique annuelle. L'eau qui lui est utile est celle qui est disponible durant son cycle de développement (Aidoud, 1983).

Le régime pluvial est couramment exprimé par le régime saisonnier. Les régimes pluviométriques saisonniers de la région d'étude des deux périodes sont représentés sur la figure suivante (fig. 3).

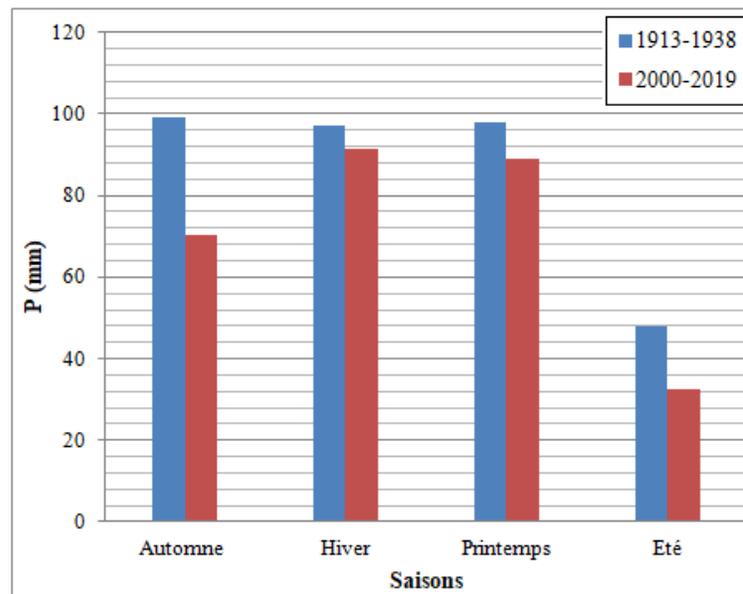


Figure 3.- Régimes pluviométriques saisonniers de la région d'étude des deux périodes (1913-1938) et (2000-2019)

L'examen de la figure 3 montre que le régime saisonnier des précipitations de la région d'étude a changé d'allure, un régime APHE: Automne, Printemps, Hiver, Eté pour la période (1913-1938) tandis qu'un régime HP AE: Hiver, Printemps, Automne, Eté pour la période (2000-2019).

I.8.2.- Températures

Dans la croissance et le développement des végétaux les températures ont un rôle essentiel. Les deux facteurs limitant sont la durée du froid hivernale, et la sécheresse estivale (Kadik, 1984).

Les températures, tout comme la pluviosité, sont des éléments importants pour la vie des végétaux. En effet, en écologie, la connaissance de la valeur des extrêmes est un indicateur pour les seuils létaux. Elles agissent principalement par les deux extrêmes thermiques (m et M) (Djellouli et Djebaili, 1984). Ces deux facteurs, selon Djellouli (1981), sont très importants, car ils donnent réellement les limites de résistance des êtres vivants. Elles permettent aussi d'évaluer «température moyenne», et «amplitude thermique extrême moyenne» qui traduit la continentalité d'une station (Kadik, 2005).

- **M**: moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, cette valeur est importante car elle représente l'un des facteurs limitant pour certains végétaux ;
- **m**: moyenne des températures minimales du mois le plus froid, elle exprime le degré et la durée de la période critique des gelées (Emberger, 1930) ;
- **T**: température moyenne mensuelle, avec $T = (M + m) / 2$;
- **(M – m)**: amplitude thermique extrême moyenne.

L'amplitude thermique extrême moyenne est très importante en climatologie. Ainsi, Debrach (1953) a proposé une classification thermique du climat:

- $M - m < 15^{\circ} C$ climat insulaire ;
- $15^{\circ} C < M - m < 25^{\circ} C$ climat littoral ;
- $25^{\circ} C < M - m < 35^{\circ} C$ climat semi continental ;
- $M - m > 35^{\circ} C$ climat continental.

Les $(M - m)$ sont importants dans la vie du végétal. Ils représentent l'indice de continentalité. Le « m » selon Sauvage (1960), est un élément vital pour la végétation. En effet, Alcaraz, 1969 considère $m = 1^{\circ} C$ comme étant un facteur seuil dans la répartition du Chêne vert, du Pin d'Alep et du Thuya ainsi que dans la répartition des différents sols (Dahmani, 1984).

Les valeurs de m, M, T et $(M - m)$ de la région d'étude pour trois périodes considérées (1913-1938, 1967-1987, et 2000-2019) sont données dans le tableau (tab.3) et représentées sur les figures 4-5.

L'examen des données du tableau 3 et de la figure 4, montre que la température moyenne annuelle a connu une diminution au cours des trois périodes (1913-1938, 1967-1987 et 2000-2019). De même, les valeurs de m qui selon la figure 5, montrent une forte diminution surtout pendant la période hivernale. L'Algérie steppique reste comprise entre les isothermes $+1^{\circ} C$ et $+3^{\circ} C$. Par contre la partie centrale de l'Atlas saharien connaît des valeurs comprises entre $+1^{\circ} C$ et $-2^{\circ} C$ et même encore plus bas sur les régions plus hautes (Le Houérou *et al.*, 1977) dont la région de Djebel Amour, ce qui peut expliquer l'absence de certaines espèces dont la vie est liée aux hivers tempérés.

La température moyenne maximale du mois le plus chaud montre une légère élévation entre au cours de la période (2000-2019) (tab.3; fig.4).

Tableau 3.- Températures moyennes mensuelles de la région d'étude pour trois périodes considérées (Hammouda, 2009; ONM, 2020)

Période	Température	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1913	M	0	-1.3	2.4	4.3	8	12.5	15.1	15.3	11.7	7.8	3.1	0.5
	M	8.6	8.3	14.2	17.4	23.4	28.3	33	32.6	26.4	20.1	13.6	9.1
- 1938	T	4.3	3.5	8.3	10.8	15.7	20.4	24.0	23.9	19.0	13.9	8.35	4.8
	(M - m)	8.6	9.6	11.8	13.1	15.4	15.8	17.9	17.3	14.7	12.3	10.5	8.6
1967	M	-2.27	-2.46	-0.23	3.64	8.69	12.3	15.6	16.0	12.4	8.1	2.34	-1.83
	M	9.64	9.48	13.9	16.3	22.3	28.8	32.1	31.5	27.0	19.7	14.0	9.2
- 1987	T	3.68	3.51	6.88	9.98	15.4	20.5	23.9	23.7	19.7	13.9	8.21	3.68
	(M - m)	11.9	11.9	14.2	12.6	13.6	16.4	16.5	15.5	14.5	11.6	11.7	11.0
2000	M	-4.5	-3.4	-0.3	1.8	5.7	10.8	14.7	14	10	5.6	-0.3	-3
	M	9.2	10.2	14.6	18.4	22.8	29	33.4	32.6	27.2	21	13.5	9.4
- 2019	T	2.35	3.4	7.15	10.1	14.2	19.9	24.0	23.3	18.6	13.3	6.6	3.2
	(M - m)	13.7	13.6	14.9	16.6	17.1	18.2	18.7	18.6	17.2	15.4	13.8	12.4

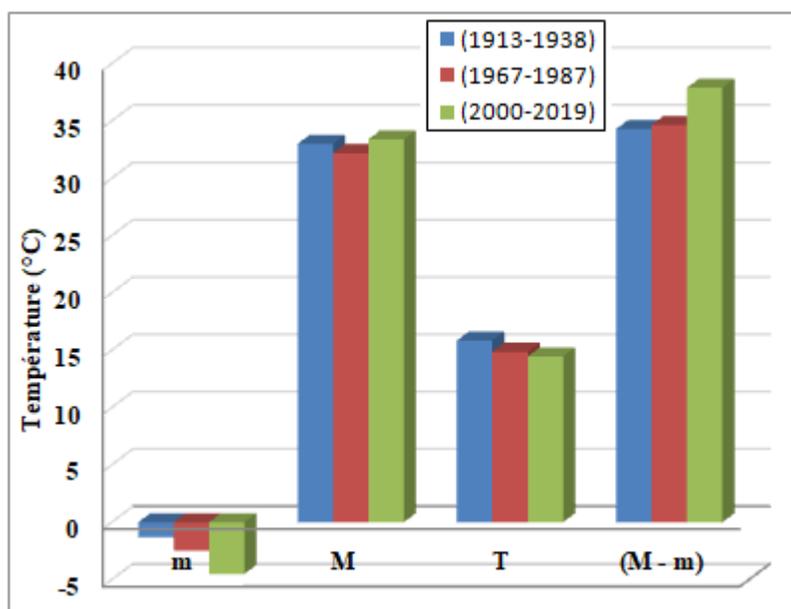


Figure 4.- Moyennes totales des valeurs de m, M, T et (M – m) sur les périodes considérées

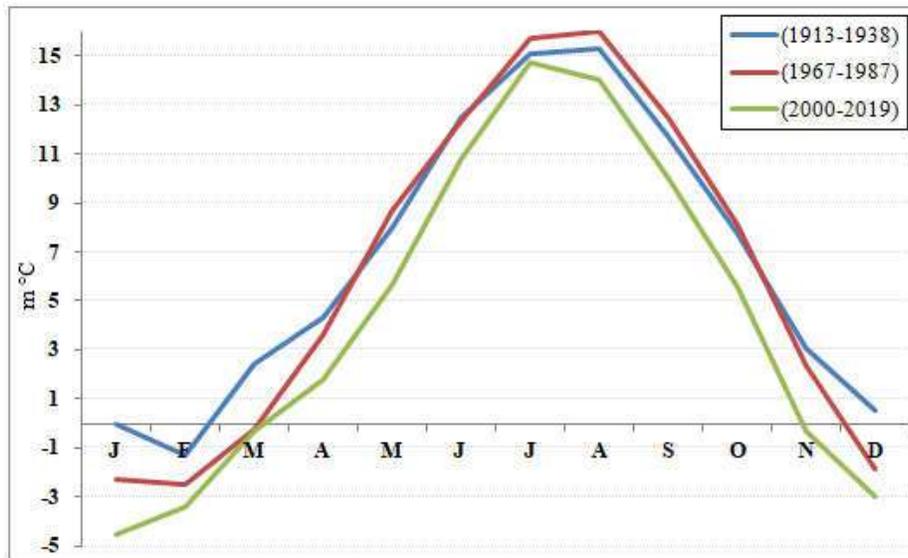


Figure 5.- Variations moyennes mensuelles des valeurs de m sur les périodes considérées

Pour les valeurs d’amplitude thermique les observations (tab.3; fig.4 et 6) montrent une élévation considérable durant la période (2000-2019), et selon la classification thermique proposée par Debrach (1953), le climat de la région d’étude est clairement devenu plus continental, il a changé du semi-continental avec des amplitudes de 34.3° C et 34.6° C pour respectivement les périodes (1913-1938) et (1967-1987) au continental avec 37.9° C pour la période (2000-2019) caractérisé par des étés chauds et des hivers très froids (Le Houérou, 1995).

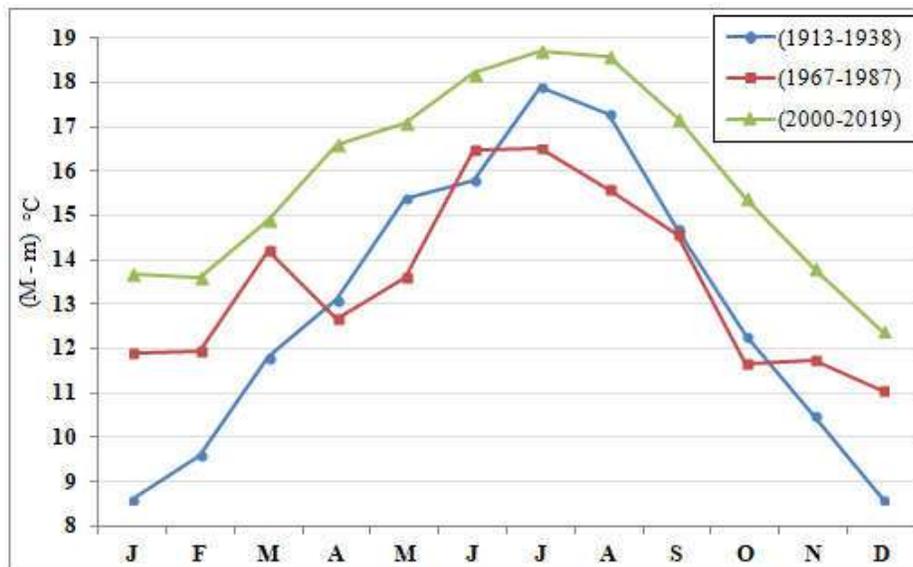


Figure 6.- Variations moyennes mensuelles des valeurs (M – m) sur les périodes considérées

I.8.3.- Synthèse bioclimatique

Comme les différents paramètres climatiques abordés précédemment n'agissent pas indépendamment les uns des autres, il serait important d'en faire une synthèse par l'utilisation de quelques indices climatologiques comme le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953) et le quotient pluviothermique d'Emberger (Dajoz, 2006).

- Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Selon Bagnouls et Gausсен (1953), la saison sèche est définie comme étant: « l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre, est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle, exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$) ».

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953), permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique par la représentation sur un même graphique des précipitations et des températures moyennes mensuelles où l'intersection des deux courbes, ombrique et thermique, détermine la durée de la saison sèche. Il est représenté comme suit:

- En abscisse par les mois de l'année ;
- En ordonnées à gauche par les précipitations (en mm) ;
- En ordonnées à droite par les températures moyennes (en °C) ;
- Une échelle de $P = 2T$.

Deux diagrammes ombrothermiques ont été construits pour la région d'étude sur les deux périodes (1913-138) et (2000-2019), les résultats obtenus sont représentés sur la figure 7.

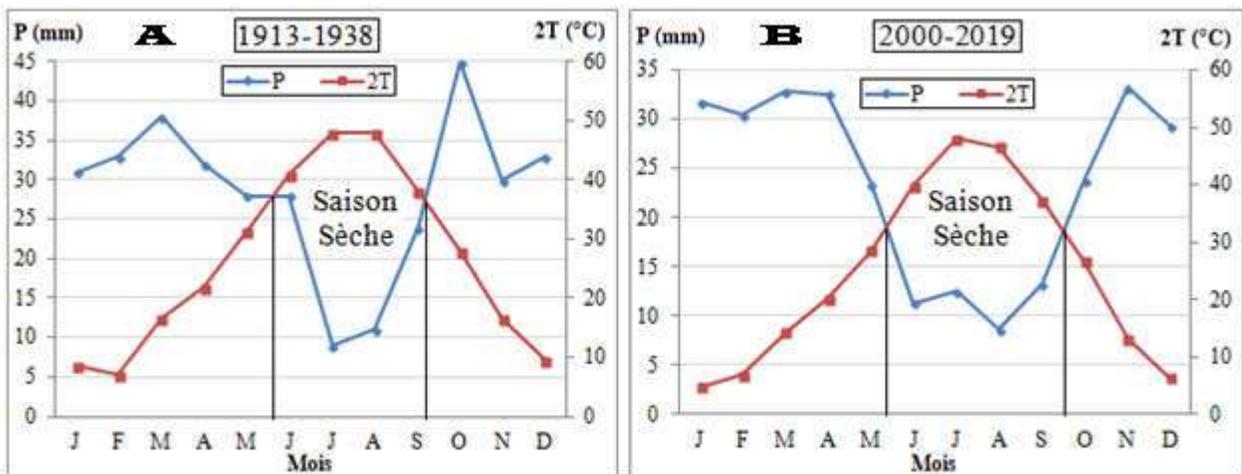


Figure 7 (A,B).- Diagrammes ombrothermiques de la région d'étude de deux périodes (A: 1913-1938; B: 2000-2019)

L'examen de la figure 6 montre que l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle ($P \leq 2T$) est de

cinq (05) mois pour la période (1913-1938) dont, Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre; et est de six (06) mois pour la période (2000-2019) avec Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre. Ces résultats révèlent une prolongation de la saison sèche dans la deuxième période d'observation qui s'allonge d'un mois de plus, ceci est peut-être dû au réchauffement climatique (Bruno *et al.*, 1993) remarqué pareillement à la tendance continentale du climat au cours de cette période.

- Indice d'aridité de De Martonne

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne a défini comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient « I_{DM} » (Coutagne 1943). Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température; l'évaporation étant considérée comme une fonction linéaire de la température. Il a été ajouté 10 aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice (Lebourgeois, 2010).

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses. De Martonne a proposé six grands types de climats selon les valeurs de l'indice annuel (tab.4) (Lebourgeois et Piedallu, 2005).

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10}$$

Où I_{DM} est l'indice d'aridité de De Martonne, P est la précipitation moyenne annuelle en (mm) et T la température moyenne annuelle en (C °).

Tableau 4.- Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimats correspondants (Lebourgeois et Piedallu, 2005)

Valeurs de I_{DM}	Bioclimats	Significations
< 5	aridité absolue	Désert
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe
10 à 20	semi-aride	formations herbacées, steppes ou savanes
20 à 30	Subhumide	prairie naturelle
30 à 40	Humide	les arbres jouent un rôle de plus en plus important dans le paysage
> 40	Humide	la forêt est partout, la formation climatique

L'indice d'aridité de De Martonne pour la région d'étude a été calculé sur trois périodes (1913-1938, 1967-1987 et 2000-2019). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 8.

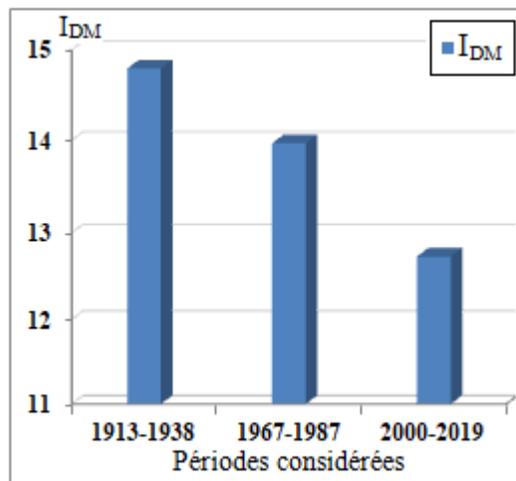


Figure 8.- Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne sur les périodes considérées

L'examen des résultats de l'indice d'aridité I_{DM} donne que le bioclimat qui règne dans la région d'étude est semi-aride (valeurs comprise entre 10 à 20) durant toutes les périodes considérées, en outre il montre clairement une diminution allant de la période (1913-1938) à celles de (1967-1987) et de (2000-2019), ce qui indique une augmentation de l'aridité du climat de la région d'étude et affirme sa tendance de plus en plus vers un climat continentale.

- Quotient pluviothermique d'Emberger

Le Quotient pluviothermique (Q_2) d'Emberger (1952, 1955) correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations (P) en (mm) et, pour les températures, d'une part de la moyenne des minimums du mois le plus froid (m), d'autre part de la moyenne des maximums du mois le plus chaud (M).

Selon Prevost (1999), le climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté en abscisse par la moyenne des minima des températures du mois le plus froid, en ordonnées par le quotient pluviométrie (Q_2) d'Emberger. La formule utilisée pour la présente étude est celle de Stewart (1969) adaptée pour l'Algérie et le Maroc qui se présente comme suit:

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

Q_3 : Quotient pluviothermique d'Emberger ;

P : moyenne des précipitations annuelles en mm ;

M : moyenne des maximums du mois le plus chaud en degré Celsius ;

m : moyenne des minimums du mois le plus froid en degré Celsius ;

$M-m$: Amplitude thermique.

La valeur du quotient pluviothermique varie en fonction inverse du caractère xérique d'un lieu donné, plus la sécheresse annuelle est grande, moins la valeur du quotient est élevée. Pour la région d'étude, le quotient pluviothermique a été calculé sur trois périodes (1913-1938), (1967-1987) et (2000-2019). Les résultats obtenus sont notés sur le climagramme d'Emberger (fig.9).

- Climagramme d'Emberger

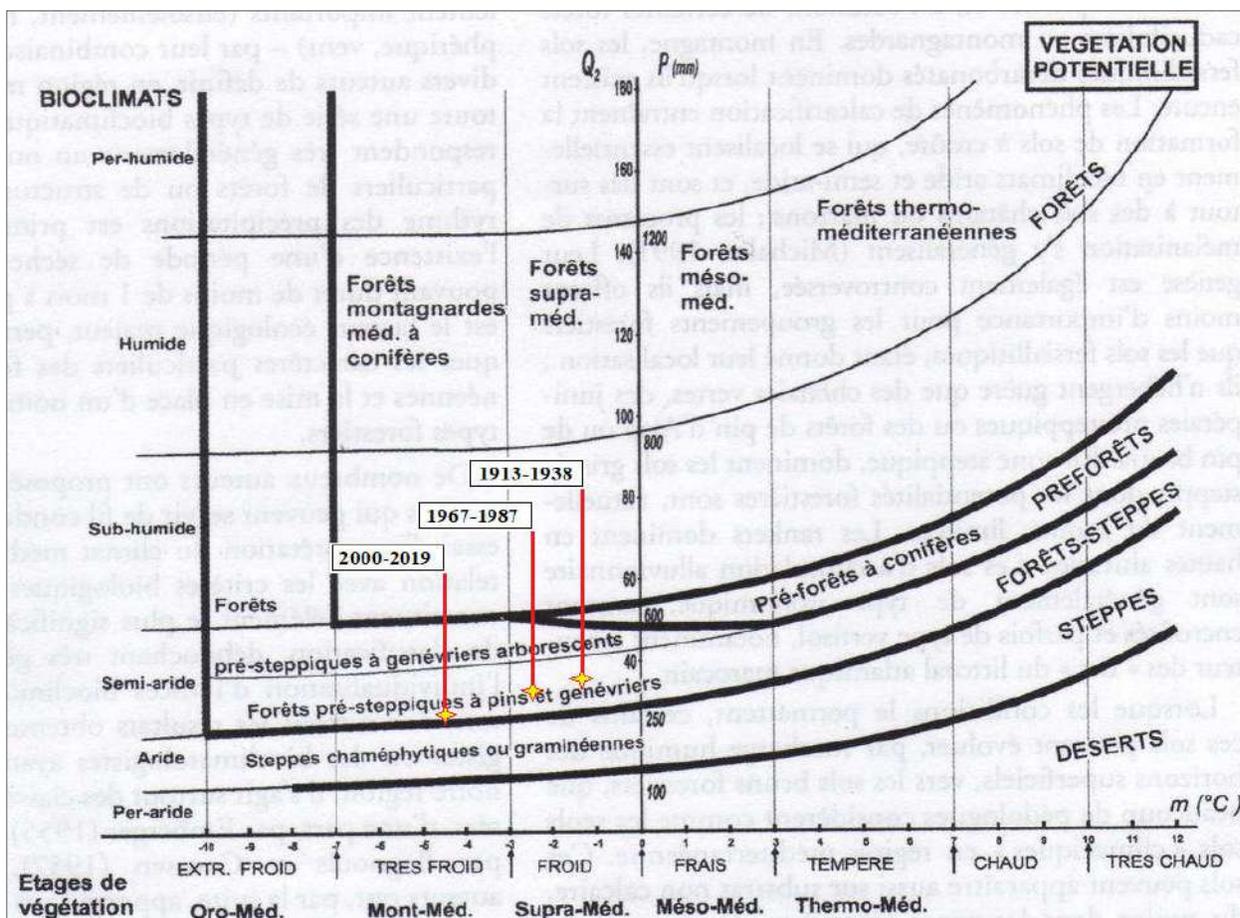


Figure 9.- Positions de la région d'étude sur le Climagramme d'Emberger

D'après la représentation du climagramme (fig.9), la région d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, dont la variante thermique a changé d'un hiver froid durant les période (1913-1938) et (1967-1987) vers un hiver très froid durant la période (2000-2019), ce qui correspond à un changement d'étage de végétation du supra-méditerranéen à un étage montagnard méditerranéen. Ceci est causé par la diminution de la valeur du quotient Q due à la tendance xérique du climat de la région d'étude suite à une prolongation de la sécheresse annuelle marquée pendant cette dernière période. En termes de formations végétales, l'examen du climagramme montre un changement progressif de la végétation à partir de formations forestières pré-steppe à pins et genévriers vers des formations steppiques chaméphytiques ou graminéennes.

Chapitre II

Chapitre II.- Méthodologie de travail

Le chapitre II met en relief la méthode suivie pour étudier l'écologie et la biogéographie des formations forestières et des pré-forestières de la région de Djebel Amour (Atlas saharien).

II.1.- Principe d'étude

La question d'échelle en écologie est en relation étroite avec le niveau de perception, et est depuis longtemps reconnue comme étant une variable fondamentale. Le concept d'échelle est considéré comme un facteur commun et rassembleur en écologie (Wu, 2004). Pour Bouzillé (2007), l'analyse du paysage végétal se heurte fréquemment à la question de l'échelle. En effet, ce qui peut apparaître homogène à une échelle donnée peut se révéler hétérogène à une échelle plus grande. Pautasso (2007) précise que la quantification de la diversité dépend de l'échelle d'étude et classiquement, elle peut être définie comme la diversité de toutes les formes du vivant à diverses échelles allant du gène au paysage en passant par les espèces puis les écosystèmes.

L'écologie végétale joue, dès l'origine, un rôle théorique prépondérant dans la définition des niveaux d'intégration, en passant des inventaires floristiques (phytotaxons) à l'utilisation de caractères analytiques (degré d'abondance, pourcentage de recouvrement) permettant d'appréhender la végétation à une échelle plus vaste (associations, groupements, communautés, peuplements) (Barnaud et Lefeuvre, 1992).

Selon Brunet (1969) et Pinchemel et Pinchemel (1988), un système spatial ne se présente pas comme un système uni-scalaire, mais comme une intégration, un assemblage de systèmes spatiaux fonctionnant à plusieurs échelles. Il est à remarquer que dans chaque système spatial des propriétés dimensionnelles, distances, tailles, superficies, volumes, unissent les composants.

Au niveau des espèces étudiées, certaines analyses requièrent une perspective centrée sur un individu, sur des groupes d'individus ou encore sur des communautés d'espèces. À cela se rajoute la nécessaire considération de l'organisation dans l'espace des communautés et de leurs interactions avec l'hétérogénéité des processus et des ressources des paysages (Debinski et Holt, 2000). De plus, comme la définition d'une parcelle peut être reliée à une espèce en particulier, un paysage ne contient pas une seule mosaïque de parcelles, mais bien une hiérarchie de mosaïque de parcelles à travers un large spectre d'échelles (Fragstats, 2008).

L'analyse de la structure a pour but de déterminer les composants de la végétation, regroupés en niveaux d'organisation fonctionnels, et de mettre en évidence leur agencement qui présente un caractère spatial et une dimension temporelle. Elle nécessite l'emploi de diverses échelles pour l'espace et le temps dont le choix est fonction du degré de finesse souhaité pour l'étude (Bouar, 2001). Dans la présente étude, il s'agit de la représentation, à un niveau de perception d'une échelle pertinente, des relations les plus significatives entre les groupements végétaux et les variables écologiques.

La végétation correspond au «tapis végétal» observé dans les paysages présents (Géhu, 2006). La perception et la méthodologie adoptées, appréhendent la végétation à différents niveaux, d'un point de vue à la fois spatiale et typologique, depuis les niveaux les plus en détaille (basés sur une description des cortèges d'espèces) jusqu'aux niveaux les plus agrégés (basés sur une description des types physiologiques de la végétation) (Sellin *et al.*, 2013). Les deux approches phytoécologiques à échelles différentes sont : l'échelle paysagère et l'échelle parcellaire.

Le niveau de l'échelle paysagère vise l'analyse biogéographique des formations forestières par une approche cartographique dont les outils de la télédétection à haute résolution aident à récolter des données environnementales (principalement topographiques) et des données sur la répartition des végétaux (Gourmelon *et al.*, 2005; Ouyang *et al.*, 2011).

Le niveau de l'échelle parcellaire vise une analyse allant des individus jusqu'aux peuplements passant par toutes les populations présentes, une approche phytoécologique basée systématiquement sur l'échantillonnage floristique le long de transects de placettes a conduit à enregistrer des données environnementales stationnelles (abiotiques) et des données sur les variations de la composition floristique et de la structure de la végétation (Gul *et al.*, 2001; Omer, 2004).

II.2.- Stations d'études

Le choix des stations d'étude et des périodes d'observation doivent obéir aux objectifs visés par la présente étude, dont l'écologie et la biogéographie des formations forestières et pré-forestières de la région de Djebel Amour.

II.2.1.- Choix des stations d'études

Selon Bonneau et Timbal (1973), la notion de station est pour le forestier et plus généralement pour le naturaliste une unité biologique intuitive. Elle correspond à la perception d'un paysage végétal homogène quant à sa composition et occupant une position topographique déterminée. Elle est donc liée à un certain niveau de perception et d'homogénéité. Ils ajoutent que la notion de station est une notion synthétique résultant de l'interaction des facteurs écologiques et des organismes vivants présents en un lieu donné. Il y a donc trois éléments essentiels qui définissent la station. Ce sont le microclimat, le sol et la biocénose qui se peuvent être qualifiés de résultants ou secondaires. Ils sont en effet eux-mêmes sous la dépendance plus ou moins directe de facteurs primaires et qui sont essentiellement :

- le substrat géologique ;
- le méso et le macroclimat ;
- la topographie ;
- le potentiel floristique régional ;
- le potentiel faunistique régional ;
- l'action humaine.

Pour Rol (1954) «la station est une étendue de terrain très variable en superficie, de quelques dm^2 à plusieurs km^2 , mais homogène quant aux conditions écologiques qui y règnent. La station est une unité topographique définie par un ensemble de facteurs climatiques, édaphiques et biotiques ». Il ajoute que «dans chaque station existe un groupement végétal qui la caractérise et qui résulte de l'action du milieu et des possibilités floristiques locales ».

Le choix des stations d'étude est guidé par une approche tenant compte de l'objectif de l'étude et du type d'échantillonnage à adopter. Une prospection très approfondie de toute la région de Djebel Amour a constitué la base d'un premier niveau de zonage, et est considérée comme une plateforme de l'échantillonnage phytoécologique sur terrain. Selon Ellenberg (1956), la station dépend impérativement de l'homogénéité de la couverture végétale dans le but d'éviter les zones de transition et les zones très dégradées. Le choix a porté sur la bonne représentation et l'homogénéité des formations forestières et pré-forestières.

La prospection du terrain a révélé qu'un fort gradient de couverture végétale se dessine le long des toposéquences des chaînons boisés du Djebel Amour et que, de nombreuses variables spécifiques semblent liées à la topographie. Ces raisons justifient, le choix de définir des stations boisées caractérisées par la position topographique, amenant à une autre segmentation de l'espace à une échelle plus fine lors d'échantillonnage.

A ce titre Gounot (1969) a bien expliqué qu'il est inutile de faire 'toutes' les observations et les mesures possibles, d'autant plus que tous les facteurs n'ont pas une importance égale pour la communauté végétale. Il faut donc choisir le minimum de facteurs nécessaires et suffisants pour donner une description complète du milieu dans ses rapports avec la végétation. Ainsi, le travail est focalisé sur l'influence des variables topographiques du Djebel sur la composition et la répartition de la végétation forestière et pré-forestières.

Il est choisi neuf (09) stations montagnardes (Djebels) dans lesquelles sont réalisés des relevés phytoécologiques (300 relevés au total), permettant le maillage floristique systématique et la mise en évidence des principaux gradients phytoécologiques qui participent à l'organisation de la composition floristique et à la structuration forestière de la région d'étude.

II.2.2.- Périodes d'observations

Le choix des périodes d'observations est guidé selon les objectifs visés par deux approches: biogéographique par télédétection et phytoécologique par échantillonnage floristique. Deux périodes sont retenues. Il s'agit de la période printanière ou la période végétative, et la période hivernale ou la période d'abondance minimale). La période printanière (période végétative) est maintenue pour l'approche phytoécologique de l'échantillonnage floristique dans le but de collecter la flore forestière de façon exhaustive pour mettre en évidence la différenciation des communautés végétales présentes, leur répartition selon les facteurs écologiques et l'identification des groupements végétaux présents. La période hivernale (période d'abondance minimale) est choisie pour l'approche cartographique par télédétection afin d'une part, examiner la végétation ligneuse sempervirente qui joue stationnellement un rôle sylviculteur dans les peuplements forestiers dont elle améliore l'environnement abiotique des autres espèces et facilite leur établissement sous la canopée (Callaway et Walker, 1997), et d'autre part, afin d'éviter l'ajout des superficies vertes liées aux cultures montagnardes (notamment des superficies défrichées) lors de traitement des images satellites et particulièrement pendant la quantification de la couverture végétale.

À partir de la définition proposée par Guinochet (1973) qui précise que « la phytosociologie est l'étude des communautés végétales du point de vue floristique, écologique, dynamique, chorologique et historique » ; les relevés sont restés incomplets car notre objectif n'a pas été de réaliser une étude phytosociologique au sens propre du terme.

II.2.3.- Présentation des stations d'études

Les neuf stations montagnardes sont représentées du Nord au Sud sur la figure 10. Elles sont représentées par Kaf Sidi Bouzid ①; Djebel Gourou ②; Djebel El-Aouidja ③; Kaf El-Guelta ④; Djebel Sidi Okba ⑤; Djebel Zlagh ⑥; Gaadet Madna ⑦; Gaadet Anfous ⑧; Gaadet Ez-Zellidj ⑨. Il est à noter que Djebel Sidi Okba, Gaadet Madna, Gaadet Anfous et Kaf Sidi-Bouzid (dont Madna, Anfous et Sidi-Bouzid sont les chefs villages riverains de la forêt), sont utilisés dans ce travail pour désigner quatre cantons de chaînons montagnards boisés:

- deux grands cantons dont Gaadet Madna regroupe: Ketef El-Gaada, Djebel Madna, Gaadet Madna, Djebel Arimou, Djebel Er-Rabaa, Djebel Mokna, El-Gaada, et Kaf Aguenab ;
- et Gaadet Anfous qui regroupe: Gaadet El-Groun, Solb El-Gaada, Djebel El-Achaïech, Djebel El-Mahssar, Djebel Oukal, Kifane H'mida, Djebel Medbouha, Djebel Oum Edh-Dhrabine, Djebel Es-S'nad;
- et de moindre grandeur, le Canton de Kaf Sidi-Bouزيد regroupant les massifs : Merfeg Sidi-Bouزيد, Djebel Marsi et Kaf Sidi-Bouزيد ;
- et le Canton de Djebel Sidi Okba, rassemblant : Djebel Sidi Okba et Djebel Oum El-Guedour.

De façon générale, dans l'ensemble des massifs montagneux de l'Atlas saharien algérien entre Biskra et la frontière marocaine, ces djebels sont les plus boisés. Ils se soulèvent avec netteté de 1.400 à plus de 1.700 mètres d'altitude présentant une assez forte individualité physique. Elles sont des montagnes aux formes massives où prévaut le paysage de plateau (couches modérément plissées). Presque entièrement constituées par les grès du Crétacé inférieur. Elles ont des sols sablonneux, légers et pauvres, mais les grès, roches fissurées et perméables, constituent de bons réservoirs dans cette région qui est la moins dépourvue de pluies dans l'Atlas saharien (Despois, 1957).

Djebel Amour est relativement riche en eau. Les sources y sont assez nombreuses et parfois abondantes. C'est un véritable château d'eau qui donne naissance et alimente de longs oueds pérennes sur une grande partie de leur cours. Ainsi l'Oued Sebgag qui est prolongé par l'Oued Touïl (le long) et par le Chéelif, est à l'origine du plus grand fleuve d'Algérie. L'Oued M'zi et l'Oued Melah (oued salé) qui changent de nom vers l'aval pour devenir ces grands oueds sahariens, réserves de pâturages, et contribuent à l'alimentation de la nappe profonde d'El-Goléa (que sont l'Oued Djedi et l'Oued Zergoun ; plus modeste, à l'Ouest, l'Oued El-Ksab (oued des roseaux) arrose bien des cultures et change de nom à Oued Sidi Naceur avant d'aller s'évaporer aux approches du chott El Chergui (Despois, 1957).

Selon Despois (1957), cet aspect de plateau résulte soit de la subhorizontalité fréquente des couches dans de très larges synclinaux parfois mis en saillie, soit du nivellement des strates, notamment sur l'emplacement des anticlinaux. Ce nivellement a eu lieu au cours de la longue période d'érosion que ces montagnes ont subie entre leur plissement et leur émergence au début du Tertiaire ^(66 Ma à 2,58 Ma) ou à la fin du Crétacé, et leur soulèvement récent au-dessus du Sahara.

Le paysage au Nord est dominé par les montagnes qui s'élèvent avec assez de vigueur, les synclinaux perchés de grès cénomaniens du Guarn Arif (1.725 m.) (montagne dépourvue de végétation forestière et non prise en échantillonnage), du Djebel Oum El-Guedour et du Djebel Sidi Okba (1.707 m.), failles au Sud, dressent vers le Nord leur pente la plus forte, souvent coiffée d'une corniche . Au Nord-Est, les ondulations boisées se relayent, plus modestes (non représentatives pour l'échantillonnage du présent travail), jusqu'à l'anticlinal du Djebel Djaïffa (1.474 m), défoncé par un Oued Melah (salé), et jusqu'au Kaf Sidi Bouزيد (1.503 m.) où le calcaire jurassique perce les grès à la faveur de deux failles (Despois, 1957 ; Stambouli, 2004).

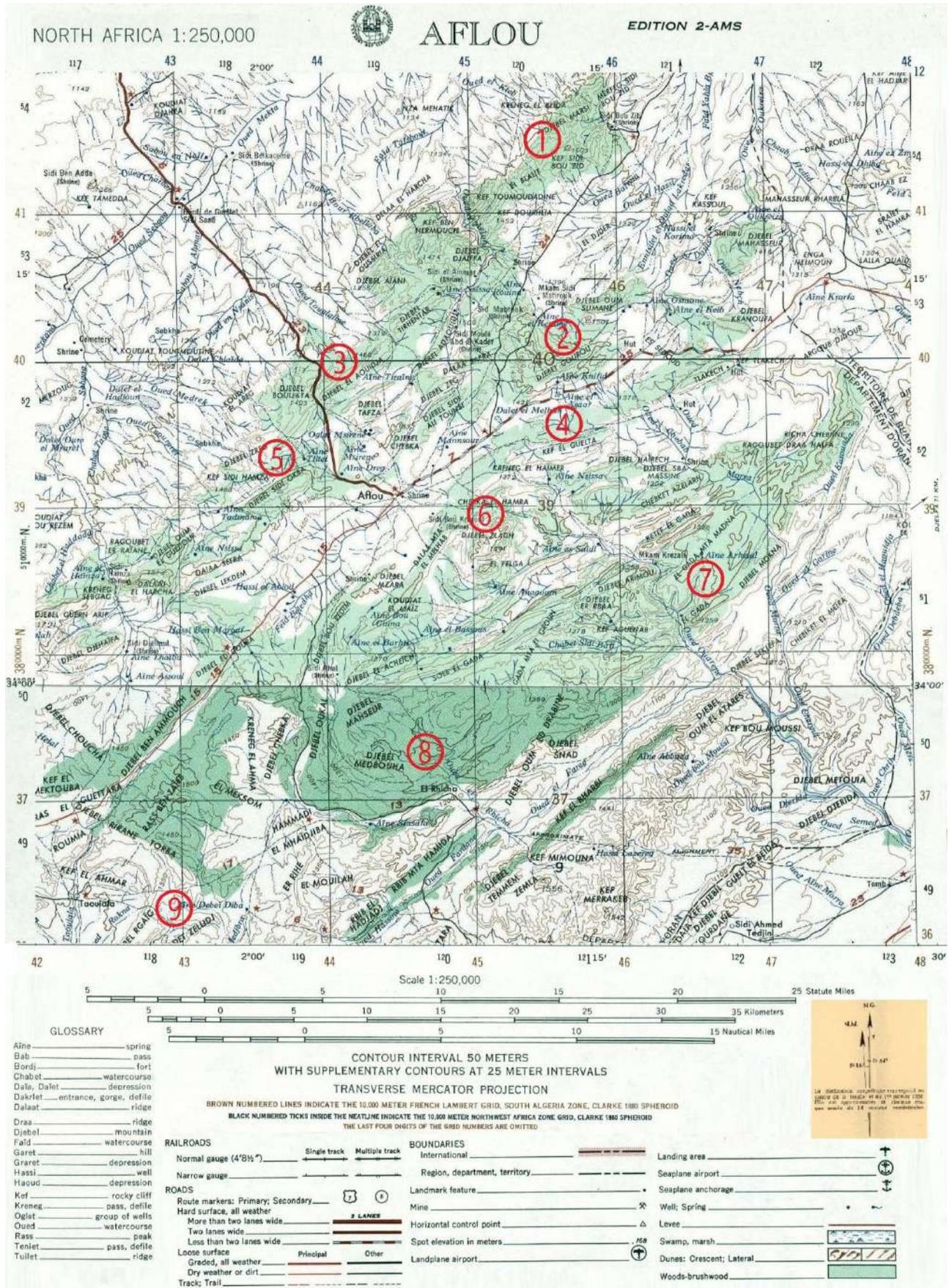


Figure 10.- Carte topographique de la région et des stations d'étude (<http://www.lib.utexas.edu>)

Une fois passé cet obstacle somme toute assez modeste, il y a lieu du cœur du Djebel Amour, dans une large zone déprimée, dans l'ensemble synclinale, où les couches de grès, souvent subhorizontales, donnent de mornes surfaces structurales (souvent des collines), tandis que vers le Sud, plus inclinées, elles sont nivelées ou disparaissent sous un mince manteau d'alluvions récentes. C'est là que se place, assez indécise, la ligne de partage des eaux entre les oueds qui vont se perdre dans la steppe et ceux qui descendent vers le Sahara. Se succèdent du Sud-Ouest au Nord-Est les collines et petites dépressions de la zone de Sidi Hamza, la conque où se forme l'Oued Sebgag, la plaine dite El-Haoud, se prolonge par une grande gouttière d'érosion creusée sur les flancs du synclinal perché du Djebel Gourou (1.706 m.). Elle ne communique pas avec le bassin de remblaiement tertiaire situé au Sud du Kaf Sidi Bouzid (Despois, 1957; Stambouli, 2004).

Le Djebel Zlagh (1.593 m.), qui barre l'horizon de la plaine, est la partie restée en relief d'un long anticlinal partiellement évidé au Sud-Ouest, dans la région dite El-Mzara, et qui s'aplatit en plateau jusqu'à la corniche en croissant qui domine Taouiala formée par Kaf Lahmar et Djebel Rgaig juste au Nord-Ouest de Gaadet Ez-Zellidj (rocheuse) formée de grès où le Génévrier rouge forme des boisements très clairs. À l'Est les couches redressées sont nivelées, puis dégagées en un relief de type appalachien par l'érosion ancienne des affluents supérieurs de l'Oued Mzi. Les sillons longitudinaux qui séparent les crêtes sont bourrés de ces dépôts argilo-sableux rouges, avec bancs de cailloutis, du Tertiaire continental, qu'on rencontre dans les principales dépressions. Ils sont en partie encroûtés en surface, mais ils offrent une faible résistance au ravinement actuel d'où le nom de Chebka (filet) qui est donné à une partie de la région (Despois, 1957; Stambouli, 2004).

La partie élevée du Djebel se termine au Sud-Est par le vaste plateau de grès ceinturé de falaises difficilement accessibles, appelée la Gaada (plateau). C'est un magnifique exemple de synclinal à fond plat dont les couches se relèvent sur les bords, principalement au Nord, et qui est mis en relief sur sa face méridionale. Il est creusé d'étroites vallées, vrais canons parfois, dont les versants couronnés de corniches escarpées se couvrent de blocs détachés et d'éboulis de tout calibre. Les plus profonds sont ceux des branches supérieures de l'Oued M'zi, les oueds Morra et Ouaren qui, nés plus au Nord, traversent la Gaada dans toute son épaisseur. Elle se distingue la Gaada d'Enfous, au Sud-Ouest, qui est creusée par les branches supérieures et les affluents de l'Oued El-Gheicha-Oued El-Fareg (Kaf El-Gharbi), la Gaada centrale ou Gaadet El-Groun que rayent les vallons affluents de l'Oued Ouaren (Djebel El-Achaïech-Solb El-Gaada-Gaadet El-Groun), et Gaadet Madna (Djebel Er-Rabaa-Djebel Arimou-Kaf Aguenab-Gaadet Madna-El-Gaada-Djebel Mokna) au-delà des gorges transversales de l'Oued Ouaren. Il s'agit d'une même unité structurale et morphologique (Despois, 1957; Stambouli, 2004).

Relativement pluvieuse, la région haute du djebel est pratiquement la seule boisée. Elle présente encore des aspects méditerranéens dans les montagnes septentrionales avec ses chênes verts et ses genévriers, genévriers rouges (ou de Phénicie) essentiellement, bien qu'on y rencontre aussi quelques genévriers oxycèdres. De très rares lentisques se mêlent encore à un sous-bois constitué par les plantes de la steppe, au premier chef l'Alfa. Les pistachiers accrochent leurs racines aux rochers. Dans la Gada les chênes-verts ne sont plus prédominants, les Pins d'Alep ne croissent que dans le centre, les pistachiers de l'Atlas se rencontrent çà et là ; l'arbre type, presque exclusif souvent, est le genévrier rouge qui forme des boisements très clairs, d'une densité généralement inférieure à 100 arbres à l'hectare.

Cependant il est possible de rencontrer quelques caroubiers et même quelques exemplaires isolés, en agrégat ou en petits groupes de, Pistachier lentisque, d'Arbousier commun, du Cade et d'Olivier sauvage, espèces typiquement méditerranéennes. Sauf le long des oueds où croissent des

lauriers roses et des tamaris, le reste des plantes appartient à la petite végétation herbacée ou buissonnante de la steppe, surtout l'Alfa, les deux armoises, le Sparte et le Buplèvre épineux ; le Rtem et le Drinn enfoncent leurs racines dans les sables qu'accumulent les vents et les torrents (Despois, 1957).

Les sols forestiers sont un peu humifères les uns sont assez riches en calcaires, mais la plupart en sont dépourvus et donnent des sols « en équilibre » ou des sols « insaturés » dans ce pays de grès (La carte de J. H. Durand, évidemment schématique, montre une trop grande étendue de « sols calcaires » et ne traduit pas les vastes surfaces d'affleurements rocheux. Il ne faut pas oublier que dans les pays arides ou semi-arides surtout, l'importance de la nature physique des sols.), en fait des terres sablonneuses, légères et pauvres non seulement en calcaire mais aussi en acide phosphorique (Despois, 1957; Kadik, 1983).

Au Nord-Est, le versant méridional de la Gaada est bordé par une dépression monoclinale où coule l'Oued Fareg, puis par la grande chaîne anticlinale du Kaf Mimouna (1.690 m.). Ici, Où elle se décompose en deux rides où affleurent les grès et dolomies du Jurassique, la première formant Kaf El-Gharbi (1.441 m.) et Djebel Seklafa (1.277 m), la seconde le Djebel Merrakab (1.519 m.). Tout comme le synclinal de la Gaada, la chaîne anticlinale qui borde le Sahara est creusée transversalement, en cluses parfois pittoresques comme celles du Seklafa, par les oueds Ouaren et Morra qui se réunissent pour former le Mzi ; mais sur cette chaîne le démantèlement de l'anticlinal par de petits affluents longitudinaux est déjà poussé. Les dépôts continentaux du Tertiaire qui colmatent les fonds mais que creusent, malgré la sécheresse, les oueds actuels, montrent à la fois l'ancienneté de la démolition et la reprise de l'érosion due au récent soulèvement de la chaîne (Despois, 1957).

La végétation illustre l'aridité du climat. Il y a encore quelques genévriers très dispersés parmi les touffes d'Alfa, quelques pistachiers aussi sur le versant Nord du Kaf El-Gharbi, des crêtes situées au Sud-Ouest d'EI-Gheicha. C'est l'Alfa qui mouchette tout ce qui est rocheux et caillouteux, aussi bien les montagnes que les glaciers gréseux et les croûtes calcaires (Despois, 1957).

La méridionale de la montagne est bien une région distincte de la région septentrionale du Djebel Amour. Les hivers y sont moins rudes, la végétation et les pâturages plus précoces mais plus maigres, les sols moins uniformément sablonneux. Il n'y a pratiquement plus de forêt et les pluies sont rares et irrégulières (Despois, 1957).

II.3.- Approche biogéographique par télédétection

Le niveau de l'échelle paysagère vise l'analyse biogéographique des formations forestières par une approche cartographique dont les outils de la télédétection à haute résolution aident à récolter des données environnementales (principalement topographiques) et des données sur la répartition des végétaux (Gourmelon *et al.*, 2005; Ouyang *et al.*, 2011).

Pour réaliser cette approche, il est fait appel aux études qui utilisent l'approche pixel supervisée à partir d'imagerie aérienne et satellitaire afin d'extraire les paramètres topographiques clés dans la répartition des végétaux forestiers.

L'objectif de cette approche est d'élaborer des cartes de répartition de chaque composante du paysage montagnard étudié : strate arborée, strate arbustive, strate du sous-bois, strate du sol nu, et la strate d'affleurements rocheux, à partir d'une image ECW (*Enhanced Compression Wavelet*,

format de compression par ondelettes d'images à forte résolution), puis d'extraire à partir du model MNT tous les variables topographiques correspondant à chaque strate, pour enfin faire ressortir par le moyen de statistique leurs comportements (fig. 11).

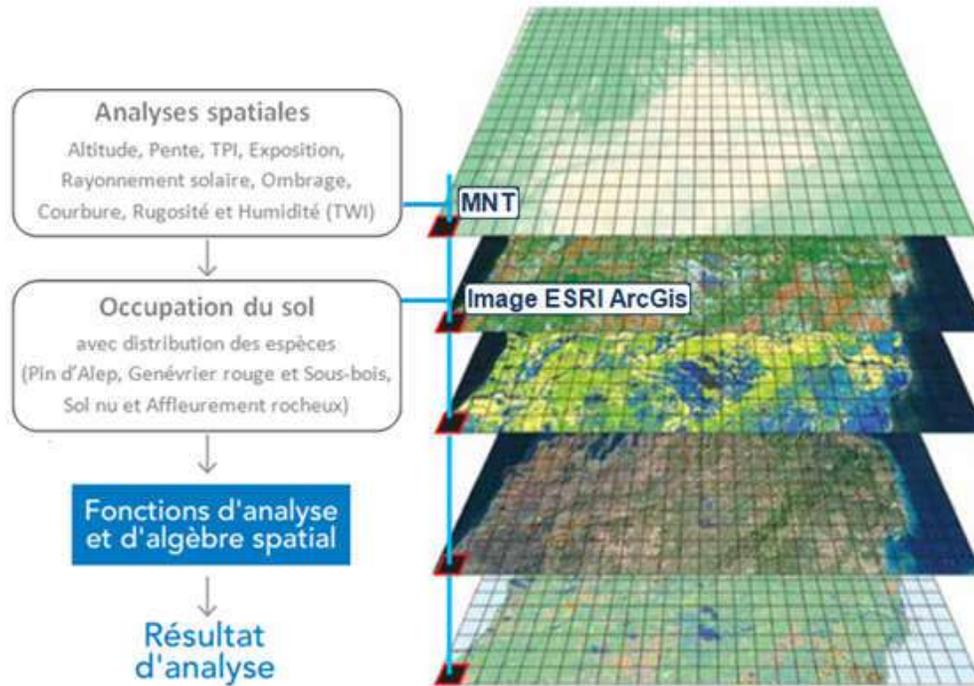


Figure 11.- Approche méthodologique adoptée (Original, 2020)

II.3.1.- Approche cartographique à base d'images satellites

La photo-interprétation a aussi utilisé comme support les images satellitaires dès leur apparition dans les années 1970. Cette technique est encore utilisée pour cartographier les grands types de végétation à partir d'images satellitaires (Gourmelon *et al.*, 2005) ou de photographies aériennes (AESN, 2006; IFN, 2008; SIRS, 2009 ; GIP Loire estuaire, 2012), seule ou en appui aux méthodes de classification automatique.

La classification est l'action d'extrapoler sur toute une image des zones de tests choisis auparavant dont la signification thématique et la correspondance à un objet ou un groupe d'objets, sont connues. En télédétection, la classification supervisée est la plus utilisée pour le traitement de données, celles pour lesquelles, il est recherché des objets semblables à des objets de référence. Ceux-ci peuvent être définis radiométriquement ou repérés géographiquement sur une image (ROI : *Region Of Interest*) (Girard et Girard, 2010).

II.3.1.1.- Approche pixel supervisée

L'approche supervisée dite du plus proche voisin, se base sur un algorithme de maximum de vraisemblance « *Maximum Likelihood* ». Cette approche nécessite l'acquisition d'échantillons d'apprentissage pour ensuite attribuer les pixels aux classes avec lesquelles ils ont le plus de similitudes (Davidson *et al.*, 2002). La méthode traite chaque pixel individuellement, puis elle va vérifier la valeur radiométrique et appliquer les règles d'affectation à chaque pixel à une classe respective.

Le maximum de vraisemblance, présuppose que les statistiques des sites d'entraînement de chaque classe suivent une distribution gaussienne. L'algorithme utilise les statistiques des sites d'entraînement pour calculer la probabilité d'appartenance du pixel à une classe. Une fois la loi probabiliste est formulée le pixel est affecté à la classe qui offre la probabilité la plus élevée (Caloz et Collet, 2001).

Le caractère supervisé de cette méthode de classification impose tout d'abord à l'utilisateur de donner des ensembles de points caractéristiques (et représentatifs) pour chaque classe, choisis en utilisant des connaissances thématiques et géographiques. Ces ensembles sont appelés zones d'entraînement ou sites témoins ou encore régions d'intérêt (ROI). Les zones d'entraînement peuvent être prises directement de l'image ou à partir de signatures spectrales mesurées directement sur terrain ou au laboratoire (Girouard *et al.*, 2004).

Cette méthode repose sur une bonne connaissance du terrain, le but de ses opérations est de remplacer l'analyse visuelle des données image par des techniques quantitatives pour automatiser l'identification des éléments dans une scène (Martin, 2000). Ceci implique normalement l'analyse des données image multi spectrale et l'application de règles de décision sur des bases statistiques pour la détermination de l'identité des types de couverts de terrain de chaque pixel de l'image. En effet, la classification a pour but d'attribuer chaque point de la scène observée à une des classes identifiées.

Le principe de la classification supervisée est de regrouper les pixels à des classes thématiques, basées sur une connaissance préalable de la zone à étudier. Les classes sont définies sur la base de zones d'apprentissage, qui sont des échantillons représentatifs des classes. Cette méthode de classification comporte les étapes suivantes (Kluser, 2000) : *définition de la légende, sélection d'échantillons représentatifs, description des classes, choix de l'algorithme de classification, lancement de la classification, et évaluation de la classification.*

- **Définition de la légende** : choix des classes souhaitées suivant la problématique de recherche.

- **Sélection d'échantillons représentatifs** : pour chaque type d'occupation du sol, identifier sur l'image des zones représentatives appelées échantillons si possible, deux jeux d'échantillons sont définis des zones d'apprentissage, qui permettront de décrire les classes en termes de valeurs et des zones de test, qui serviront à la vérification de la classification.

- **Description des classes** : les classes sont décrites en termes de paramètres statistiques (valeur moyenne, minimum, maximum, variance, etc.) calculés à partir des zones.

- **Choix d'un algorithme de classification** : il faut ensuite choisir l'algorithme de classification et les règles de décisions appropriés. Les classifications sont basées sur des critères de distance ou de probabilité (maximum de vraisemblance, distance minimum, etc.). A ce stade, il importe d'évaluer le contenu et la séparabilité des classes de manière visuelle, sur une représentation graphique des signatures spectrales (courbes de signatures, histogrammes, diagrammes à deux dimensions, etc.).

- **Lancement de la classification** : à ce stade, tous les pixels de l'image sont classés selon l'algorithme de classification choisi.

- **Evaluation de la classification** : le résultat de la classification est évalué en le comparant à des informations de référence qui peuvent être fournies par des zones test sélectionnées sur l'image,

d'autre cartes ou images et des relevés de terrain. L'interprétation des données multispectrales s'effectue le plus souvent par une méthode statistique de classement par maximum de vraisemblance, méthode généralement considérée comme la plus heureuse. Il est cependant difficile en pratique de dépasser une proportion de 65 % de pixels bien classés.

II.3.1.2.- Validation de l'interprétation par les données de terrain

La classification supervisée est achevée conjointement à la photo-interprétation des données satellitaires. Elle se base sur les informations acquises lors des missions terrain (prospection) à partir des points d'échantillon par GPS (Otukey et Blaschke 2010; Terras, 2011). Cette connaissance a conduit à la définition de 5 classes radio métriques différentes. La photo-interprétation a permis de délimiter de manière assez détaillée les surfaces arborées, arbustives, du sous-bois, du sol nu et d'affleurements rocheux.

Cette classification a permis de définir cinq strates différentes regroupant la strate du Pin d'Alep, la strate du Genévrier, la strate du Sous-bois, la strate du Sol nu, et la strate d'Affleurements rocheux. Dans l'ensemble, 43 couches de classes sont élaborées par classification supervisée des stations. L'évaluation de la précision de la classification implique la comparaison de l'image classifiée avec des données de terrain.

II.3.2.- Données GIS utilisées

Pour la présente étude il est exploité deux types de données GIS : les images satellitaires d'ESRI ArcGis World Imagery, et le Model Numérique de Terrain « MNT » de la région d'étude.

II.3.2.1.- Données ESRI ArcGis World Imagery

En raison de la grandeur de la région d'étude, l'extraction d'une scène complète d'image satellite ESRI ArcGis (améliorée et délivrée par la société Maxar) a fait appel au format « *Enhanced Compression Wavelet* » (ECW), un format de compression par ondelettes d'images à forte résolution qui réduit les fichiers d'imagerie terabyte de cinq à dix pour cent de leur taille originale, tout en conservant la qualité visuelle complète. Il offre aussi des performances d'affichage ultra-rapide, et permet le traitement et le transfert des images plus rapidement (<http://www.geosystems.fr>, 2019).

Six (06) scènes d'imagerie ESRI ArcGis à une résolution de 1,20 mètre sont nécessaires pour produire une image qui couvre l'ensemble de la région. Elles sont extraites par le logiciel SAS.Planet (version : 160707.9476, <http://www.sasgis.org/>), puis par le logiciel ArcGis (version : 10.2.2.3552, <http://www.esri.com>) les neuf (09) scènes de stations de montagne sujettes sont découpées.

II.3.2.2.- Données MNT

Le model mondial d'élévation numérique « *Global Digital Elevation Model* » (GDEM) ou Modèle Numérique de Terrain (MNT) du radiomètre spatial avancé à émission et réflexion thermiques (ASTER) est distribué par « *National Aeronautics and Space Administration* » (NASA), « *Earth Observing System* » (EOS), « *Data Information System* » (EOSDIS), « *Land Processes* » (LP) et « *Distributed Active Archive Center* » (DAAC) sur le site web de « *U.S. Geological Survey* » aux États-Unis (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

II.3.3.- Variables topographiques inventoriées sur MNT

Les variables topographiques inventoriées sur le model numérique du terrain sont : pente, indice de position topographique, rayonnement solaire zonal, ombrage, courbure et exposition de surface, rugosité du terrain et indice topographique d'humidité.

II.3.3.1.- Pente de la surface du terrain

La fonction de pente identifie la direction de la pente la plus raide à un emplacement sur une surface. La pente est calculée pour chaque triangle d'un TIN « *Triangulated Irregular Network* » et pour chaque cellule des rasters. Pour un réseau triangulé irrégulier (TIN), la pente est le pourcentage maximal du changement d'altitude pour chaque triangle. Pour les rasters, c'est le pourcentage maximal de changement d'altitude sur chaque cellule et ses huit voisines (Burrough et McDonell, 1998).

La commande Pente calcule, à partir d'un raster de surface en entrée, un raster en sortie indiquant la pente sur chaque cellule. Plus la valeur de la pente est faible, plus le terrain est plat ; plus la valeur de la pente est élevée, plus le terrain est pentu. Le raster pente en sortie peut être calculé sous forme de pourcentage ou de degré de pente (<https://desktop.arcgis.com>).

Lorsque l'angle de la pente est égal à 45 degrés, l'élévation est égale à l'étendue. Exprimé en pourcentage, la pente de cet angle est de 100%. Lorsque la pente est proche de la verticale (90 degrés), le pourcentage de pente tend vers l'infini.

La fonction de pente est généralement exécutée sur une grille d'altitude, comme le montrent les diagrammes ci-dessus. Les pentes les plus raides sont ombrées en rouge sur la carte de pente en sortie (<https://desktop.arcgis.com>).

II.3.3.2.- Indice de position topographique « *Topographic Position Index* »

Topographic Position Index (TPI) est un indice permettant de déterminer la forme d'un terrain naturel. Cet indice est mis en place et présenté par Andrew Weiss à la Conférence Internationale des Utilisateurs ESRI en 2001. L'utilisation de ce TPI, combiné à la pente, permet de classer un paysage en différentes catégories (sommet de crête, fond de vallée, canyon, plaine).

Le TPI correspond à la différence entre l'élévation d'une cellule et l'élévation moyenne de son voisinage. Un TPI positif signifie que la cellule est plus élevée que son voisinage et inversement. Dans le cas d'un TPI nul, cela peut traduire une zone plane mais également un point de mi-pente. Pour différencier les deux situations, il faut regarder la valeur de la pente en ce point. Une pente forte signifiera un point de mi-pente tandis qu'une pente nulle ou presque sera synonyme de zone plane (Alvarez, 2012). L'indice est très dépendant de la taille du voisinage qui va être choisi pour son calcul. En effet, un point de crête sur un voisinage restreint peut devenir un point de talweg avec un voisinage plus élargi.

Les TPI peuvent être classés par catégories de pente basées sur la valeur de l'indice suivant le voisinage et la valeur de la pente en ce point. Il existe deux méthodes. La plus simple est de définir des seuils de classification: un indice supérieur à ce seuil signifiera que le point est un sommet de crête et un fond de vallée s'il est inférieur. L'autre, plus avancée et mise en place par Andrew Weiss, consiste à créer des seuils en fonction de l'écart-type sur l'élévation (Alvarez, 2012).

II.3.3.3.- Rayonnement solaire zonal

Les outils d'analyse du rayonnement solaire permettent de calculer l'insolation d'un paysage ou d'emplacements particuliers, en s'appuyant sur les méthodes de l'algorithme du champ de vision hémisphérique développées par Rich *et al.* (Rich, 1990; Rich *et al.*, 1994) et reprises ultérieurement par Fu et Rich (2000, 2002).

La quantité totale de rayonnement calculée pour un emplacement ou une zone en particulier est entrée sous la forme de rayonnement global. Le calcul du rayonnement direct, diffus et global est répété pour chaque emplacement d'entité ou pour tous les emplacements de la surface topographique et génère des cartes d'insolation pour toute une zone géographique (Rich *et al.* 1994).

Le rayonnement global ($Global_{tot}$) est calculé comme étant la somme des rayonnements direct (Dir_{tot}) et diffus (Dif_{tot}) de tous les secteurs de la carte d'enseillement et de la carte du ciel (<https://desktop.arcgis.com>).

II.3.3.4.- Ombrage « Hillshade »

L'outil Ombrage « Hillshade » permet d'obtenir l'éclairage hypothétique d'une surface en déterminant les valeurs d'éclairage de chaque cellule d'un raster. Cette fonction définit la position d'une source lumineuse hypothétique et calcule les valeurs d'éclairage de chaque cellule par rapport aux cellules voisines. L'ombrage améliore nettement la visualisation d'une surface lors de l'affichage d'analyses ou de diagrammes, en particulier si vous avez recours à la transparence (Burrough et McDonell, 1998).

Par défaut, l'ombre et la lumière sont des nuances de gris associées à des entiers de 0 à 255 (du noir au blanc). Lors de la création d'une carte d'ombrage pour un emplacement donné, le facteur principal est la position du soleil dans le ciel (<https://desktop.arcgis.com>).

L'azimut correspond à la direction angulaire du soleil, mesurée à partir du nord, dans le sens horaire, par degrés, de 0 à 360. Un azimut de 90 degrés correspond à l'est. L'azimut par défaut est 315 degrés (NO) (fig. 10). L'altitude représente la pente ou l'angle de la source d'éclairage au-dessus de la ligne d'horizon. Les unités sont les degrés, de 0 (à l'horizon) à 90 (à la verticale). La valeur par défaut est de 45 degrés (fig. 11).

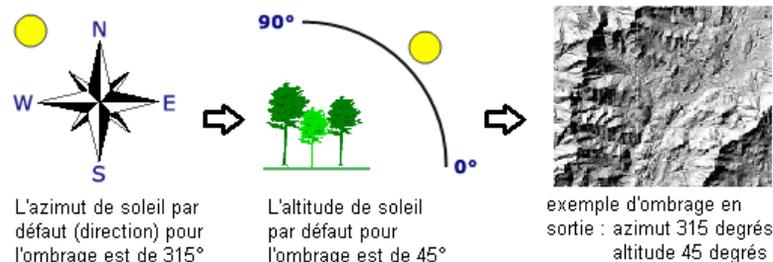


Figure 11.- Principe du calcul d'ombrage sur la base du MNT (<https://desktop.arcgis.com>)

II.3.3.5.- Courbure de la surface du terrain « Curvature »

La fonction Courbure affiche la forme ou la courbure de la pente. Une partie d'une surface peut être concave ou convexe ; il est possible de le savoir en consultant la valeur de courbure. La

courbure est obtenue en calculant cellule par cellule la dérivée seconde de la surface raster en entrée, incluant en option la courbure longitudinale et transversale (ou planiforme) (Burrough et McDonell, 1998).

La sortie principale est la courbure de la surface, cellule par cellule, ajustée à cette cellule et aux huit cellules environnantes (fig. 12). La courbure est la dérivée seconde de la surface ou la pente de la pente. Il existe deux types de courbure en sortie facultatifs : la courbure longitudinale suit la direction de la pente maximale, la courbure transversale est perpendiculaire à cette direction (<https://desktop.arcgis.com>).

La sortie générée permet de décrire les caractéristiques physiques d'un bassin de drainage afin de comprendre les processus d'érosion et d'écoulement. La valeur de courbure permet de rechercher les motifs d'érosion du sol ainsi que la distribution de l'eau sur terre. La courbure longitudinale affecte l'accélération et la décélération du flux, ce qui influence l'érosion et le dépôt. La courbure planiforme influence la convergence et la divergence du flux (Burrough et McDonell, 1998).

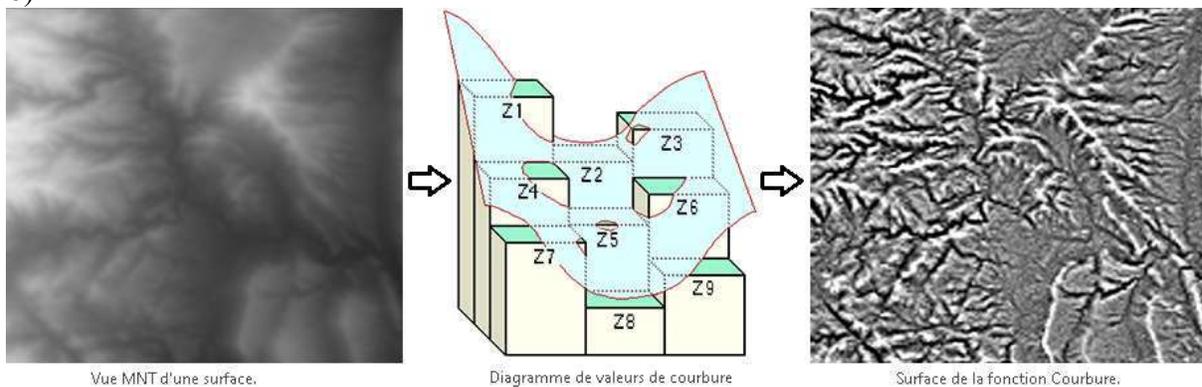


Figure 12.- Principe du calcul de courbure sur la base du MNT (<https://desktop.arcgis.com>)

Si la courbure est positive, la surface est convexe vers le haut par rapport à cette cellule. Si elle est négative, la surface est concave vers le haut par rapport à cette cellule. Une valeur nulle signifie que la surface est plane (Burrough et McDonell, 1998).

Dans la sortie longitudinale, une valeur négative signifie que la surface est convexe vers le haut par rapport à cette cellule. Une valeur positive signifie que la surface est concave vers le haut par rapport à cette cellule. Une valeur nulle signifie que la surface est plane. Dans la sortie transversale, une valeur positive signifie que la surface est convexe vers le haut par rapport à cette cellule. Une valeur négative signifie que la surface est concave vers le haut par rapport à cette cellule. Une valeur nulle signifie que la surface est plane (Burrough et McDonell, 1998).

II.3.3.6.- Exposition de la surface du terrain « Aspect »

L'exposition identifie la direction de pente descendante du taux de variation maximal des valeurs de chaque cellule par rapport aux cellules voisines. Elle peut être assimilée à la direction de la pente. Les valeurs de chaque cellule dans le raster en sortie indiquent la direction de boussole dans laquelle la surface est orientée à cet emplacement. L'exposition est mesurée dans le sens horaire, de 0 (plein nord) à 360 (de nouveau plein nord), formant ainsi un cercle complet (fig.13). Les surfaces planes n'ayant pas de direction de pente descendante se voient attribuer une valeur de –

1. La valeur de chaque cellule d'un jeu de données d'exposition indique l'orientation de la pente (<https://desktop.arcgis.com>).

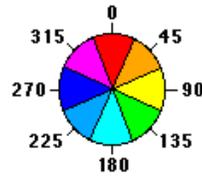


Figure 13.- Directions d'exposition (<https://desktop.arcgis.com>)

En théorie, l'outil exposition ajuste un plan aux valeurs z d'un voisinage de 3 x 3 cellules autour de la cellule de traitement ou centrale. La direction dans laquelle le plan est orienté est l'exposition de la cellule de traitement (Burrough et McDonell, 1998). Le diagramme suivant présente un jeu de données d'altitude en entrée et un raster d'exposition en sortie.

II.3.3.7. Rugosité du terrain « *Terrain Roughness Index* » (TRI)

L'hétérogénéité du terrain est une variable importante pour prédire les habitats qui seront colonisés par les espèces et la densité à laquelle elles seront abondantes dans une variété d'environnements (Koehler et Hornocker, 1989; Fabricius et Coetzee, 1992), et est souvent une composante importante de la niche d'une espèce (Whittaker *et al.*, 1973).

L'indice de rugosité topographique « *Topographic Roughness Index* » (TRI) est une mesure morphométrique développée par Riley *et al.* (1999) pour exprimer l'hétérogénéité du terrain, c'est encore la moyenne des dénivelés entre la cellule centrale et ses voisines dans un MNT. Le résultat obtenu peut sembler proche de celui de la pente, mais la rugosité accentue les ruptures du relief (Smith, 2014; Olaya, 2009). Une rugosité dérivée du MNT caractérise la variance locale des gradients ou des courbures d'une surface et permet la distinction entre les reliefs lisses et accidentés ou des éléments du relief (Korzeniowska et Korup, 2016). Des études récentes montrent que l'indice de rugosité peut aider à discerner ces formes du relief ainsi que les processus qu'elles forment, cette propriété pourrait être un indicateur utile de la formation de ravins (Glenn *et al.*, 2006; Bishop *et al.*, 2012).

Le terme rugosité de la surface du terrain est utilisé pour l'étude, comme une expression de la variabilité d'élévation d'une surface topographique à une échelle donnée, où l'échelle d'analyse est déterminée par la taille des formes du relief ou des caractéristiques géomorphologiques d'intérêt soit locales ou régionales.

II.3.3.8.- Indice topographique d'humidité « *Topographic Wetness Index* » (TWI)

La topographie joue un rôle important dans la variabilité spatiale de l'humidité des sols (Lafond, 1992). En effet, il est à noter qu'en haut de pente, l'humidité de surface est normalement plus faible et que vers le bas, généralement plus l'humidité est élevée (Pater et McReynolds, 2005). Ce phénomène est dû au ruissellement ainsi qu'à l'écoulement hypodermique et souterrain le long du gradient de pente (Labrecque, 2011).

La topographie est un facteur déterminant de premier ordre la variation spatiale des conditions hydrologiques. Elle affecte la distribution spatiale de l'humidité du sol et l'écoulement des eaux souterraines qui suit souvent la topographie de la surface (Burt et Butcher, 1985; Seibert *et al.*,

1997; Rodhe et Seibert, 1999; Zinko *et al.*, 2005).

La topographie affecte non seulement l'humidité du sol, mais aussi indirectement le pH du sol (Hogberg *et al.*, 1990; Giesler *et al.*, 1998). L'humidité et le pH du sol sont des variables importantes qui influencent la distribution (Giesler *et al.*, 1998) et la richesse en espèces des plantes vasculaires (Zinko *et al.*, 2005).

L'indice topographique d'humidité (TWI) développé par Beven et Kirkby (1979), combine la contribution de la superficie du haut versant local avec la pente, et est couramment utilisé pour quantifier le contrôle topographique des processus hydrologiques (Sørensen *et al.*, 2005).

L'indice topographique d'humidité (TWI) est défini comme $\ln (SCA / \tan \beta)$ où SCA est la surface spécifique de captage « *Specific Catchment Area* » c'est la surface du haut versant contributif par unité de longueur du contour (ou) et $\tan \beta$ est le gradient local de la pente.

Le concept de base du TWI est un bilan de masse: le SCA est un paramètre de la tendance à recevoir de l'eau, tandis que la pente locale et la longueur du contour drainant décrivent la tendance à évacuer l'eau (fig.14).

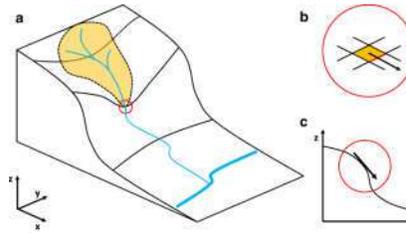


Figure 14.- Paramètres du TWI (*a*: zone d'accumulation du flux, *b*: direction et largeur du flux correspondant à une cellule DEM, *c*: tangente de l'angle de pente) (Mattivi *et al.*, 2019)

Le TWI est utilisé pour étudier les effets d'échelle spatiale sur les processus hydrologiques (Beven *et al.*, 1988 ; Famiglietti et Wood, 1991; Sivapalan *et al.*, 1987, 1990) et pour identifier les voies d'écoulement hydrologiques pour la modélisation géochimique (Robson *et al.*, 1992).

Le TWI est ainsi utilisé pour caractériser les processus biologiques tels que la production primaire annuelle nette (White et Running, 1994), les modèles de végétation (Moore *et al.*, 1993 ; Zinko *et al.*, 2005) et la qualité des sites forestiers (Holmgren, 1994). En raison des liens entre la topographie et la richesse spécifique de la végétation, le TWI est très utile pour prédire la distribution spatiale de la richesse spécifique des formations forestières (Zinko, 2004).

II.4.- Approche phytoécologique par échantillonnage floristique

L'approche phytoécologique est basée systématiquement sur l'échantillonnage floristique le long de transects de placettes, elle conduit à enregistrer des données environnementales stationnelles (abiotiques) et des données sur les variations de la composition floristique et de la structure de la végétation (Gul *et al.*, 2001; Omer, 2004).

II.4.1.- Choix de la technique d'échantillonnage et des sites de prélèvements

L'étude de la flore porte sur la réalisation des relevés phytoécologiques et le traitement des résultats par l'application d'indices écologiques. Elle s'appuie sur la technique du relevé

phytosociologique de Braun-Blanquet qui consiste à dresser la liste des plantes présentes dans un échantillon représentatif et homogène du tapis végétal (Gillet, 2000). À l'intérieur de chaque phytocénose reconnue sur le terrain, il est recherché une surface de végétation homogène et représentative afin d'y effectuer les relevés phytoécologiques (Gillet, 2000).

Flahault et Schröter (1910), notent qu'une association végétale est une communauté végétale de composition floristique déterminée, présentant une physionomie uniforme et croissante dans des conditions stationnelles uniformes (Walter, 2006). Pour Braun-Blanquet (1915), une association végétale est un groupement végétal plus ou moins stable, en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisée par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs, ou à peu près, appelés espèces caractéristiques, indiquent par leur présence une écologie particulière et autonome (Walter, 2006).

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). L'étude de la structure spatiale s'appuie sur la technique de l'échantillonnage systématique (Gounot, 1969; Chessel *et al.*, 1975; Frontier, 1983; Pettini, 1992). Il consiste à disposer des échantillons selon un mode répétitif pouvant être représenté par transects (Long, 1974; Daget, 1982; Gounot, 1969).

Suivant cette technique, il y a lieu à choisir d'abord une unité statistique d'une population au hasard puis à choisir ensuite des unités statistiques qui feront partie de l'échantillon à intervalle régulier dans la population (Jayaraman, 1999). Pour cela nous avons pu nous procurer de toutes les unités statistiques des populations pendant la prospection sur terrain en se basant sur les physionomies dominantes existantes.

L'échantillonnage se réalise le long de transects de placettes traversant les communautés végétales des djebels dans le but d'enregistrer à la fois les variations floristiques et topographiques (Gul *et al.*, 2001; Omer, 2004). Dans chaque station d'étude, il sera choisi six (06) transects de cinq (05) placettes à échantillonner. Les transects sont tracés de façon linéaire traversant ainsi toutes les formations végétales à partir des fonds des vallons vers les sommets des montagnes (fig.17).

La vision à l'échelle paysagère basée sur la physionomie, amène à choisir les éléments majeurs, significatifs, représentatifs et répétitifs du paysage végétal à étudier (Gillet, 2000). Les physionomies (végétations) rencontrées sont des steppes, steppes ligneuse, matorrals claires, matorrals denses, et des matorrals hauts.

Une vision à l'intérieur de l'élément paysager choisi, a guidé le choix d'emplacement des relevés et de leurs limites. Les critères fondamentaux de ce choix sont les trois (3) critères d'homogénéité (Gillet, 2000): Homogénéité floristique, physionomique et conditions écologiques.

- *Homogénéité floristique*, apparition plus ou moins régulière de combinaisons définies d'espèces, c'est-à-dire répétitivité de la combinaison floristique ;

- *Homogénéité physionomique*, aspect lié à la dominance d'une ou plusieurs espèces ;

- *Homogénéité des conditions écologiques*, uniformité des conditions apparentes c'est-à-dire homogénéité dans la physionomie et la structure de la végétation ainsi que les conditions édaphiques.

Chaque site échantillonné est homogène vis-à-vis des contrastes du milieu, tels que l'exposition, la lumière, la microtopographie, etc. A l'intérieur de la surface choisie des relevés, le choix est orienté par l'absence de variations significatives de la composition floristique ou du milieu.

II.4.2.- Choix de la taille de l'échantillon

La détermination de la taille de l'échantillon adopté (la surface du relevé) est réalisée selon le concept de l'aire minimale, qui doit être égale à une surface suffisamment grande pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur l'individu d'association (Guinochet, 1973). Selon Gounot (1961), elle correspond à l'aire dans laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétale est représentée. C'est la plus petite surface sur laquelle ressort la plus part des espèces (Lemée, 1967) et varie selon les groupements végétaux (Djebaili, 1984).

En pratique, la valeur de l'aire minimale s'apprécie assez facilement (Lemée, 1967). Elle est sensiblement constante pour les divers relevés d'un groupement déterminé, mais varie beaucoup d'un groupement à l'autre (Ozenda, 1982).

Cette aire est de l'ordre de 100 à 400 m² pour les groupements forestiers, de 50 à 100 m² pour les formations de matorral (Benabid, 1984), de 20 à 50 m² pour les groupements de prairies, de pelouses et quelques mètres carrés seulement pour les plus denses et homogènes (Ozenda, 1982).

Pour la présente étude l'aire minimale est fixée à 4 ares (20 m × 20 m) vu que ces formations forestières d'une part sont trouées d'éclaircies plus ou moins grandes et, d'autre part elles sont souvent sur des versants très rocheux avec des affleurements presque partout, ces versants sont couronnés de corniches escarpées et couvrent de blocs détachés et d'éboulis de tout calibre, ces surfaces rocheuses sont très faiblement boisées et séparent les taches de végétation dans le paysage.

Les parcelles sont matérialisées à l'aide de petits pieux et d'un ruban le long des six (06) transects tracés. L'intervalle entre les parcelles est fixé à 20 m environ car les moyennes mesurées par G.P.S. des hauteurs des montages dans les sites échantillonnés étaient autour de 100 m environ ce qui donne 5 parcelles par transect allant de la vallée jusqu'au sommet (fig. 15).

Le choix du nombre de prélèvements et de leur répartition, sont portés afin de présenter fidèlement le comportement et la répartition de la végétation naturelle la moins perturbée par la pression anthropozoïque, mais aussi de bien présenter l'ensemble de l'aire étudiée à chaque changement physiognomique de la végétation de façon à recouvrir toute la gamme de variations des communautés présentes tout en respectant les critères d'homogénéité et de représentativité (Gounot, 1969).

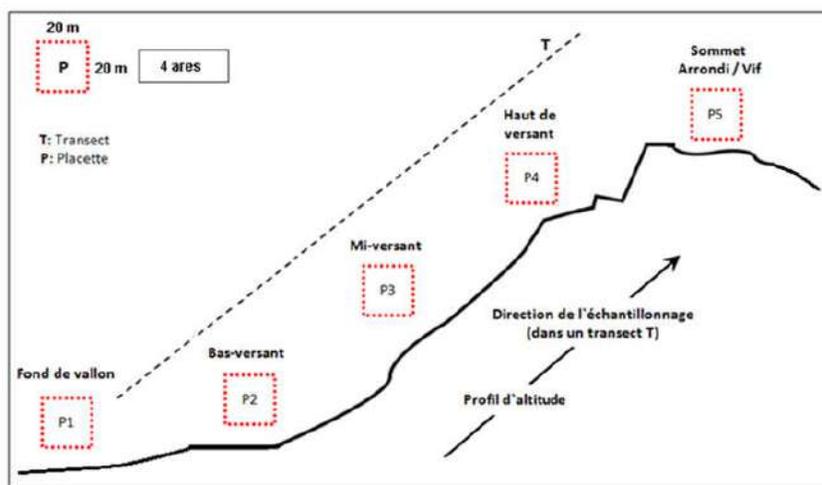


Figure 15.- Représentation schématique du plan d'échantillonnage (Original, 2019)

Les relevés phytocologiques présentés et retenus pour l'application des indices écologiques et les traitements statistiques sont les relevés de la station de Djebel Madna, car elle est floristiquement riche et diversifiée et, écologiquement très représentative du peuplement qui domine le paysage de la région d'étude. La station du fait qu'elle est située dans une zone protégée par le Service forestier, elle est plus ou moins équilibrée et reflète parfaitement la diversité floristique et écologique des formations forestières et pré-forestières des chaînons du Djebel Amour.

Un site représentatif (station) est une référence pour la détermination du peuplement observé, de la classification écologique, des caractéristiques topographiques et du sol. Le forestier doit reconnaître la cohérence qui lie ces éléments en une entité écologique homogène (Méthot *et al.*, 2014).

A ce titre, la station fournit un site d'échantillonnage compatible à l'objectif de la présente étude en termes de capacité d'adaptation des espèces à leur milieu afin de préciser certaines préférences écologiques et limites de tolérance « *Autécologie* », puis en termes d'interactions biotiques (Masson, 2005), particulièrement d'Abondance-dominance naturelle entre les espèces « *Synécologie* ».

Dans le reste des stations, la végétation arborée et son sous-bois sont gravement endommagés par une exploitation excessive de produits du bois et de PFNL (Produits Forestiers Non Ligneux), ainsi que par surpâturage et défrichage de terres, à un degré tel que cela empêche ou retarde fortement le développement des peuplements et de leurs plants de régénération (Annexe 1). Pour ces stations des inventaires floristiques sont présentés avec compositions taxinomique, biologique et biogéographique.

Au total, trente (30) relevés sont réalisés en Six (06) transects tracés sur le versant Nord du Djebel Madna de longueurs et d'orientations parfois variables en fonction des conditions phytocologiques stationnelles et du changement physiognomique de la végétation sur place (Gounot, 1969 ; Marc *et al.*, 2003 ; Lenssen *et al.*, 2004). Suivant un profil d'hauteur d'environ 100 m Chaque transect a cinq (05) positions topographiques : fond du vallon, bas-versant, mi-versant, haut-versant et sommet dans le but de traverser toutes les physiognomies végétales présentes. Six placettes ($20 \times 20 \text{ m}^2 \times 6$) sont établies dans chaque position topographique pour un total de 30 relevés. Données pour arbres et

arbustes sont collectées de chaque placette, données pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux à partir de quatre (04) quadrats ($10 \times 10 \text{ m}^2 \times 4$) dans la placette, et les données pour les herbacées sont collectées à partir de quatre (04) quadrats ($5 \times 5 \text{ m}^2 \times 4$) dans chaque quadrats des arbrisseaux et sous-arbrisseaux. Les trente (30) placettes ont contenu 120 quadrats d'arbrisseaux et sous-arbrisseaux et 480 quadrats d'herbacées, dans un total de 120 ares minutieusement échantillonnés.

II.4.3.- Exécution des relevés phytoécologiques

Après détermination de l'aire minimale, il s'effectue des relevés phytoécologiques avec les informations concernant des variables géographiques (date, localité, coordonnées), des variables topographiques (altitude, pente, exposition, drainage), des variables environnementales notamment édaphiques (érosion, affleurement rocheux, litière et sol nu) et des variables du couvert végétal (physionomie de la végétation, première, deuxième et troisième espèces dominantes, composition totale, indices de composition et de structure). Qui nous permettrons de définir les facteurs écologiques qui régissent la répartition des formations forestières.

II.4.4.- Variables spécifiques inventoriées sur terrain

Les variables spécifiques inventoriées à la phase du terrain sont : abondance-dominance, sociabilité, recouvrement, densité, vigueur, état phénologique et répartition des individus.

II.4.4.1.- Abondance-dominance de Braun-Blanquet

Les coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1951) sont utilisés par les forestiers et très souvent par les phytosociologues, ils permettent d'analyser la microphysionomie des groupements en termes descriptifs (Bartoli, 1966) et, de quantifier la présence d'une espèce sur le relevé et d'établir des relations d'ordre lors de relevés de végétation. Ainsi notant :

- 5 quand l'espèce couvre plus de 75 % de la surface ;
- 4 quand l'espèce couvre plus de 50 % de la surface ;
- 3 quand l'espèce couvre plus de 25 % de la surface ;
- 2 quand l'espèce est abondante, mais couvre de 5 à 25 % de la surface ;
- 1 quand l'espèce est bien représentée, mais couvre moins de 5 % ;
- + quand l'espèce est présente en petite quantité.

L'abondance d'une population à l'intérieur d'un peuplement correspond au nombre d'individus de cette espèce présents. La dominance concerne elle les relations existant entre ces individus et la dominance de certains par rapport aux autres (Dajoz, 1996). C'est pour cela qu'on parle de coefficients d'abondance-dominance car ceux-ci traitent ces deux aspects à la fois (Walter, 2006).

II.4.4.2.- Sociabilité

La sociabilité correspond à la faculté de certaines plantes à vivre en groupes plus ou moins denses. Elle suit une échelle de 1 à 5 d'après Braun-Blanquet (1951), notant ainsi:

- 5: Individus en peuplement étendu et dense ;
- 4: Individus en petites colonies ou peuplement étendu lâche ;
- 3: Individus en groupes étendus ;
- 2: Individus en agrégats ou groupes restreints ;
- 1: Croissance solitaire, isolés.

Ce coefficient, noté après celui d'abondance-dominance, c'est une estimation globale du mode de répartition spatiale et du degré de dispersion des individus dans l'aire-échantillon. La sociabilité d'une espèce dépend pour une part des caractéristiques biologiques de celle-ci, mais, elle varie aussi pour une même espèce selon les conditions du milieu et les processus écologiques (compétition, dynamique,...etc.), comme l'ont démontré divers auteurs (Braun-Blanquet, 1964; Scamoni et Passarge, 1963; Westhoff, 1965).

Pour une même abondance-dominance, la répartition des individus peut être différentes selon qu'ils soient isolés les uns des autres, qu'ils forment des agrégats, de petites groupes, un large tapis ou une population presque pure. Elle permet de distinguer les espèces dont les individus ont tendance à se regrouper de celles qui ne représentent pas ce caractère (Walter, 2006).

II.4.4.3.- Recouvrement net

Le recouvrement désigne la proportion de la surface totale d'une station couverte par une espèce végétale. Le degré de couverture (ou taux de recouvrement), désigne le pourcentage de la surface du sol couverte par la végétation (Ramade, 2008). L'approche de calcul du taux de recouvrement est en fonction de la forme de la surface résultant de la projection de la partie aérienne du végétal (Duranton *et al.*, 1982) :

$$T_R (\%) = \pi (d/2)^2 \times (N/S) \times 100 \quad (\text{forme circulaire de la partie aérienne})$$

$$T_R (\%) = (a \times b) \times (N/S) \times 100 \quad (\text{forme rectangulaire de la partie aérienne})$$

d : diamètre moyen en m

$T_R (\%)$: taux de recouvrement de l'espèce

N : nombre de pieds de l'espèce

S : surface échantillonnée

a : longueur moyenne

b : largeur moyenne

Il est à noter que dans la présente étude ce paramètre recouvrement des espèces est mesuré minutieusement pour tous les individus présents dans l'aire placette et par addition ils sont obtenus les recouvrements nets de toutes les espèces présentes, cela est mesuré par les deux formules ci-dessous :

$$R_N (m^2) = \pi (d/2)^2 \quad (\text{forme circulaire de la partie aérienne})$$

$$R_N (m^2) = (a \times b) \quad (\text{forme rectangulaire de la partie aérienne})$$

$R_N (m^2)$: recouvrement net de l'espèce

d : diamètre en m

a : longueur en m

b : largeur en m

Le taux de recouvrement est présenté dans la section des indices écologiques et non pas comme variable spécifique inventorié sur terrain.

II.4.4.4.- Densité

Les mesures de la densité sont exprimées en nombre d'individu par unité de surface, elle est mesurée par comptage direct ou estimée à l'aide d'un cadre de bois de (25 × 25 cm) pour les groupes des végétaux de petites tailles à densité élevée comme pour le cas de *Thymus algeriensis*

Boiss. & Reut. (Lamiaceae) par exemple. Il est utilisé parfois le terme d'abondance pour celui de densité (Gounot, 1969).

$$D_i = n_i/S$$

D_i : densité de l'espèce i

n_i : nombre d'individus d'une espèce i

S : surface (m²)

II.4.4.5.- Vigueur

Est un paramètre phénotypique qui suit une échelle de 1 à 5, il donne une information sur l'état physiologique du végétal et sa capacité d'adaptation à la station, ainsi:

5: très vigoureux,

4: vigoureux,

3: moyennement vigoureux,

2: peu vigoureux,

1: non vigoureux.

II.4.4.6.- Etat phénologique

Noté après celui de la vigueur, il désigne les diverses phases du cycle vital d'une espèce, en particulier d'une plante supérieure (Ramade, 2008). Il concerne les stades allant de feuillé, défeuillé, stérile, fleuri et fructifié.

II.4.4.7.- Répartition des individus

A l'échelle d'une biocénose donnée, la répartition des individus est la façon dont ils se repartissent à la surface de leur habitat (Ramade, 2008). Il se distingue, la répartition régulière, la répartition au hasard et la répartition contagieuse :

- La répartition régulière ou uniforme

On a une répartition régulière ou uniforme lorsque les individus sont situés à égale distance les uns des autres. Cette répartition régulière est rare car la répartition est souvent perturbée par l'hétérogénéité du milieu. Ce type de répartition ne se rencontre que lorsqu'il existe une compétition intense entre les individus.

- La répartition au hasard

La répartition au hasard correspond comme son nom l'indique à une distribution au hasard des individus. Comme la répartition régulière, elle est plutôt rare et se trouve chez les populations qui n'ont aucune tendance au regroupement et qui vivent dans des milieux homogènes.

- La répartition en agrégats (ou contagieuse)

Il y a répartition en agrégats lorsque les individus sont regroupés. C'est la répartition la plus fréquente. Elle peut être due à des variations dans les caractéristiques du milieu qui amènent les individus à se grouper dans les zones les plus favorables.

II.4.5.- Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques

L'application des indices écologiques, notamment taux de recouvrement, fréquence, richesse, diversité, équitabilité, dominance, similarité, spectre biologique, type de formation et spectre biogéographique permettent de mieux caractériser la flore et des différentes stations.

II.4.5.1.- Taux de recouvrement

D'après Gounot (1969), le taux de recouvrement est calculé selon la formule suivante :

$$T_R = \left(R_i / R_T \right) \times 100$$

T_R : taux de recouvrement

R_i : recouvrement de l'espèce i

R_T : recouvrement total

II.4.5.2.- Fréquence spécifique

La fréquence spécifique (FS_i) est le pourcentage d'individus d'une espèce par rapport au nombre total des individus recensés dans le même échantillon. Elle est calculée en pourcentage selon la formule suivante (Gounot, 1969) :

$$FS_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times 100$$

FS_i : fréquence spécifique de l'espèce i

n_i : nombre de relevés de l'espèce i

N : nombre total de relevés réalisés

II.4.5.3.- Richesse spécifique

La biodiversité floristique des différents types des formations végétales peut être mesurée par leur richesse floristique (Daget, 1982; Daget et Poissonet, 1997). La richesse spécifique, désigne le nombre d'espèces présent dans un écosystème donné ou dans une aire préétablie de ce dernier. Il se distingue en richesse totale et richesse moyenne (Ramade, 2008).

II.4.5.3.1.- Richesse totale

La richesse totale est le nombre total d'espèces présentes dans un biotope ou une station donnée, il peut être utilisé pour analyser la structure taxonomique des peuplements :

$$S = sp_1 + sp_2 + sp_3 + \dots + sp_n$$

S : richesse totale, nombre total des espèces observées

$sp_1, sp_2, sp_3, sp_4, sp_n$: espèces observées

Il permet de également de distinguer :

- des variations spatiales : des secteurs floristiquement riches et des secteurs plus pauvres;
- des variations temporelles : des minima et maxima en fonction des saisons et des stations.

Il présente cependant l'inconvénient d'être fortement dépendant de la taille des échantillons (le nombre d'espèces échantillonnées augmentant avec la surface échantillonnée) et du type d'habitat (la richesse spécifique varie en fonction du type de substrat, de la profondeur du sol, du microclimat...).

Il reste ainsi difficile d'en faire un descripteur de l'état d'un milieu. Simboura et Zenetos (2002) suggèrent toutefois de lui attribuer des valeurs seuil pour différents types de groupes écologiques et pour différents habitats. Une relations espèces-individus est établie dans l'objectif d'estimer au mieux la richesse spécifique absolue, indépendamment de la taille de l'échantillon (Peet, 1974), l'indice de richesse de Margalef.

II.4.5.3.2.- Indice de richesse de Margalef

L'indice de Margalef est un indice de richesse spécifique souvent employé qui indique si la richesse d'une toposéquence est élevée ou non (Ingram, 2008) :

$$D_M = \frac{(S - 1)}{\log_2 N}$$

D_M : indice de richesse de Margalef

S : richesse totale, nombre total d'espèces

N : nombre d'individus dans un échantillon

II.4.5.3.3.- Richesse moyenne

C'est le nombre moyen d'espèces présentes dans les échantillons d'un peuplement donné. La richesse moyenne apporte des informations sur l'homogénéité (ou l'hétérogénéité) de la distribution spatiale des espèces constituant le peuplement étudié (Ramade, 2008).

$$S_m = \frac{\sum S}{N} \text{ où } \sum S = S_{R1} + S_{R2} + S_{R3} \dots + S_{Rn}$$

S_m : Somme du nombre d'espèces recensées pour les N relevés

N : Nombre total de relevés

$SR_1, SR_2, SR_3 \dots SR_n$: richesse spécifique dans les relevés $R_1, R_2, R_3, \dots R_n$

II.4.5.4.- Indice de diversité de Shannon-Wiener et indice d'équitabilité de Pielou

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement le tapis végétal) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance). L'indice de Shannon-Wiener est le plus couramment utilisé et est recommandé par différents auteurs (Gray *et al.*, 1992). Il est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \text{ où } P_i = \frac{n_i}{N}$$

L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité ou d'homogénéité de Pielou (Marques, 2008):

$$\tau' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

H' : indice de diversité de Shannon

τ' : indice d'équitabilité

S : nombre total des espèces

N : nombre total des individus

P_i : proportion des individus de l'espèce i dans le relevé

n_i : nombre d'individus de l'espèce i dans le relevé

L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Ces deux indices restent dépendants de la taille des échantillons et dépendant du type d'habitat.

II.4.5.5. Indice de dominance

La coexistence des espèces dans les communautés écologiques est presque toujours asymétrique, où certaines espèces deviennent dominantes par rapport à d'autres. Cette inégalité de contribution des espèces est reflétée par le degré de dominance, qui peut être fortement évidente quand certaines espèces monopolisent l'occupation de l'espace et caractérisent du point de vue physiologique la structure de l'association végétale (Cardinale *et al.*, 2006).

- Indice de dominance de Simpson (D_S)

Pour cet indice, la dominance se réfère à l'ampleur à laquelle, une ou plusieurs espèces soient abondantes d'une façon disproportionnée dans une communauté végétale. L'abondance des espèces varie le long de gradients environnementaux ou par rapport à des impacts sur l'environnement (Ingram, 2008). Les applications les plus communes de l'indice de Simpson incluent les comparaisons de différents assemblages de la communauté végétale à travers des emplacements dans un même écosystème, et est écrit comme suit (Ingram, 2008) :

$$D_S = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

D_S : indice de dominance de Simpson

S : nombre total d'espèces

n_i : est le nombre d'individus de l'espèce i dans l'échantillon.

N : est le nombre total des individus dans un échantillon ;

Plus la valeur de D_S est grande, plus est élevée l'équité de l'espèce dans tout l'échantillon, et comme la valeur de D_S diminue dans un échantillon, la dominance d'autres espèces serait prévue à augmenter (Ingram, 2008). L'indice de dominance de Simpson s'est avéré plus sensible pour détecter de petites différences entre les échantillons (Ingram, 2008).

II.4.5.6.- Indices de similarité

Les indices de similarité permettent d'organiser des relevés de végétation (ou types de communautés) dans un certain ordre selon leurs similarités ou leurs dissimilarités calculées suivant

les méthodes de distance (Jaccard, Sørensen, Whittaker) sur la base de leur composition spécifique pour constituer des groupes d'espèces (attributs ou variables) ayant de fortes affinités (Lance & Williams, 1967). Cet assemblage des espèces en groupes aide à la compréhension écologique des processus impliqués en réponse aux perturbations comme les défrichements, le pâturage (Diaz *et al.*, 2001 ; Rusch *et al.*, 2003). Ces indices ont permis d'évaluer la similitude entre les positions topographiques, ils sont obtenus comme décrit par Magurran (2004) :

$$J = \frac{c}{a + b + c} \text{ indice de Jaccard}$$

$$\beta_s = \frac{2c}{a + b} \text{ indice de Sørensen}$$

$$\beta_w = \frac{\gamma^2 / \alpha_2}{\text{nombre total d'habitats}} \text{ indice de Whittaker}$$

II.4.5.7.- Spectre biologique et type de végétation

Le spectre biologique donne de précieuses indications sur la structure, la physionomie et les stratégies adaptatives de la communauté végétale (Gillet, 1998). Les « formes biologiques » (Delpech *et al.*, 1985) constituent un élément de référence intervenant dans la définition des formations végétales. Depuis le premier système de classification, purement descriptif, basé sur l'observation de la capacité d'une plante à fleurir et fructifier une ou plusieurs années successives, certains auteurs ont tenté d'intégrer les variables écologiques dans les systèmes de classification proposés (Grisebach, 1872; Warming, 1908; Ozenda, 1977 cités par Kaabeche, 1990; Lacoste et Salanon, 2001).

Toutefois, la classification la plus utilisée, celle de Raunkiaer (1905, 1918) est de nature « morphologique ». Rappelons qu'elle prend en compte la position, par rapport au sol, des bourgeons de « rénovation » du végétal et permet de reconnaître, en ce qui concerne les « végétaux vasculaires », les 5 principaux types biologiques suivants: Phanérophyte, Chaméphyte, Hémicryptophyte, Cryptophyte et Thérophyte.

Cette classification est depuis élargie à l'ensemble du Règne végétal (Braun-Blanquet, 1928; Rothmaler, 1955 *in* Kaabeche, 1990); diverses catégories sont définies à l'intérieur d'un même type (Godron *et al.*, 1968). Cependant, le classement d'une plante dans un type plutôt que dans un autre n'est pas évident, l'observation sur le terrain a montré que le type biologique d'une même plante peut changer selon le climat, ce qui implique que les types biologiques sont naturellement à noter tels qu'ils sont dans la végétation étudiée, non pas tels qu'ils sont habituellement (Emberger, 1966 *in* Kaabeche, 1990).

Selon la participation de chaque type biologique à l'ensemble de la flore, le spectre biologique peut être dressé et donne de précieuses indications sur la structure, la physionomie et les stratégies adaptatives de la communauté végétale (Gillet, 2000).

Il est utilisé la classification de types biologiques établie par Raunkiaer (1934) (Annexe 2). Deux types de spectres biologiques sont établis à partir des types biologiques des espèces recensées dans les relevés phytocéologiques de la montagne, un spectre biologique simple et un autre pondéré.

Un premier spectre biologique global des sites prélevés, est construit à partir du nombre d'espèces de chaque type biologique (spectre biologique simple). Des spectres biologiques pondérés

dans chaque topographie sont établis. Ils sont obtenus à partir de la pondération des espèces, avec le produit de leurs recouvrements moyens dans les relevés (Gillet, 2000), afin de permettre une figuration de la structure et de la physionomie des formations végétales qui couvrent la montagne.

- Le type de végétation (ou formation végétale)

Lorsqu'on s'intéresse à la végétation, une première approche peut se faire sans tenir compte de la composition floristique, mais compte tenu de la physionomie de la végétation (Ozenda, 1982). La notion de formation végétale s'appuie sur les particularités d'aspect des végétaux qui la composent. Il s'agit de à classer les principaux végétaux en fonction de leur physionomie. Pour cela, il sera fait appel à la classification de Raunkiaer (1934).

Elle s'appuie sur la morphologie générale du végétale et notamment sur la position des bourgeons de renouvellement par rapport à la surface du sol. Ces bourgeons sont les organes qui permettent de passer la mauvaise saison. Lacoste et Salanon (2001) donnent les différents types (ou formes) biologiques.

II.4.5.8.- Spectre biogéographique

L'élément phytogéographique correspond à « l'expression floristique et phytosociologique d'un territoire étendu bien défini ; il englobe les espèces et les collectivités phytogéographiques caractéristiques d'une région ou d'un domaine déterminés» (Braun-Blanquet, 1919 cité par Kaabeche, 1990). Pour la présente étude, il est établi un spectre biogéographique global des espèces recensées dans la station de Djebel Madna, la classification des appartenances des espèces est faite sur des bases floristiques de Barry et Celles (1972-1973) et Kaabeche (1990).

II.4.5.9.- Variables topographiques inventoriées sur terrain

Les variables topographiques inventoriées dans chaque placette sont : la pente (*Slp*), l'altitude (*Ele*), le pourcentage d'affleurement rocheux (*Rck*) et l'indice de position topographique (*TPI*).

La pente et l'altitude sont mesurées en utilisant le GPS et le pourcentage d'affleurement rocheux estimé sur les placettes lors de réalisation des relevés. L'indice de position topographique appliqué par Laamrani *et al.* (2014) est calculé comme suit :

$$TPI_{jk}(X) = 1 - \frac{x_{jk} - x_{j \min}}{x_{j \max} - x_{j \min}}$$

Où : $x_{j \max}$ est l'élévation maximale du transect j en mètre (m), $x_{j \min}$ est l'élévation minimale du transect j en mètre (m), j (1, 2, 3,...) est le numéro de séquence d'un transect et k (1, 2, 3,...) est le numéro de séquence des quadrats du transect j .

II.5.- Exploitation et analyse statistiques des résultats

L'exploitation des résultats obtenus se fait par analyse statistique à deux parties, une partie de traitement pour l'approche biogéographique, une seconde pour l'approche phytoécologique.

II.5.1.- Approche biogéographique

Dans l'objectif d'évaluer les relations entre les variables topographiques inventoriées et les composantes du paysage forestiers. Il est choisi de réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour chaque station de montagne car elle s'applique sur un grand jeu de données où les variables prennent des valeurs quantitatives et continues.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multivariée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions (Perry *et al.*, 2002). Les composantes principales autorisent la représentation graphique de grands tableaux de données trop complexes à décrire par les méthodes graphiques habituelles. C'est incontestablement cette dernière propriété qui est à l'origine de leur large utilisation (Falissard, 1998). En toute rigueur, une ACP permet de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations, elle ne nécessite aucune condition de validité et s'applique à des variables quantitatives (Perry *et al.*, 2002). L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe (Falissard, 1998 ; Perry *et al.*, 2002). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données dans les sciences de la Vie (Ter Braak, 1987 ; Bonin et Taton, 1990 ; Perry *et al.*, 2002 ; Wagner, 2003).

L'ACP doit utiliser une matrice de coefficients de corrélation de sorte que chaque facteur (composante principale) ne comporte que peu de variables avec le plus de contributions possibles, ce qui facilite son interprétation. Une variable est jugée significativement corrélée avec la composante principale à des corrélations $> 0,55$. Une composante principale est jugée significative à des valeurs propres > 1 (Xu *et al.*, 2008).

II.5.2.- Approche phytoécologique

Pour identifier la relation entre la topographie et la distribution des espèces dans nos formations forestières, nous avons réalisé une analyse statistique de quatre étapes. Commencant par une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour définir les indices spécifiques non corrélés et éliminer toute redondance de variables. L'ACP doit utiliser une matrice de coefficients de corrélation de sorte que chaque facteur (composante principale) ne comporte que peu de variables avec le plus de contributions possibles, ce qui facilite son interprétation. Une variable est jugée significativement corrélée avec la composante principale à des corrélations $> 0,55$. Et une composante principale est jugée significative à des valeurs propres > 1 (Xu *et al.*, 2008).

En seconde étape, une Classification Ascendante Hiérarchique « *Agglomerative Hierarchical Clustering* » (AHC) selon la méthode de Ward, qui a identifié des groupements d'indices spécifiques répartis dans les différentes topographies. Ensuite, une analyse unidirectionnelle de variance (selon la méthode de test de Tukey à comparaisons multiples) « *Tukey's One-Way Analysis Of Variance* » (ANOVA) est utilisée pour comparer la différence pour chaque variable entre les groupes identifiés par l'AHC.

Troisièmement, une Analyse Canonique de Corrélation « *Canonical Correlation Analysis* » (CCA), qui nous a permis de détecter les principaux facteurs topographiques influençant la distribution des espèces dans les formations forestières. Cette technique consiste à trouver plusieurs combinaisons linéaires des variables X et le même nombre de combinaisons linéaires des variables Y dans deux ensembles de données. Les combinaisons linéaires sont les variables canoniques et les corrélations entre les paires correspondantes de variables canoniques sont les corrélations

canoniques. Chaque paire de variables canoniques représente une dimension indépendante entre les deux ensembles de variables (Xu *et al.*, 2008).

En quatrième étape, une analyse de régression linéaire multiple dite progressive (ou *Stepwise*) « *Multiple Linear Stepwise Regression Analysis* » est appliquée pour chaque variable spécifique sélectionnée par les tests ci-dessus, nous a permis de déterminer l'influence des facteurs topographiques significatifs sur la distribution des espèces de la formation forestière.

Afin de détecter quelles sont les espèces qui sont spécialistes par rapport à chaque topographie, nous avons réalisé un deuxième AHC dont les variables à regrouper cette fois-ci sont les données des densités et des fréquences spécifiques.

Ici, les données des densités des espèces sont préparées de manière que chaque espèce ait des valeurs allant de 0 à 1, cela est calculé par le rapport du nombre des individus de l'espèce *i* enregistré dans chaque topographie sur le nombre culminant des individus de cette espèce *i* enregistré dans les topographies ($n_i / n_{i_{max}}$), cela permet d'avoir une valeur maximale de densité (égale à 1) de l'espèce *i* dans la topographie la plus colonisée par cette espèce.

Ces valeurs de densités sont multipliées par les valeurs de fréquence, la fréquence est le rapport entre le nombre de fois où l'espèce *i* est enregistrée dans une topographie sur le nombre total de placettes dans cette topographie, cela permet également d'avoir une valeur maximale de fréquence (égale à 1) de l'espèce *i* dans la topographie la plus colonisée par cette espèce.

Les analyses statistiques sont conduites sur le logiciels XLSTAT 5.3 Pearson Edition (Addinsoft XLSTAT v.2014.5.3, NY: USA), et Analyse de Régression Linéaire Multiple est effectuée sur SPSS 20.0 (IBM Corp. SPSS v.20.0, Armonk, NY: USA).

Chapitre III

Chapitre III.- Résultats et Discussion

Les résultats de la présente étude portent sur la composition de la flore, la structure et la répartition de la végétation forestière mais aussi sur certains facteurs abiotiques notamment des variables topographiques en visant à mettre en relief l'impact des relations topographie-végétation.

III.1.- Approche biogéographique par télédétection

Le niveau de l'échelle paysagère vise l'analyse biogéographique des formations forestières par une approche cartographique dont les outils de la télédétection à haute résolution aident à récolter des données environnementales (principalement topographiques) et des données sur la répartition des végétaux.

III.1.1.- Prétraitements des images

III.1.1.1.- Composition colorée

La réalisation d'une composition colorée consiste à attribuer à chaque couleur primaire (rouge, vert et bleu) trois bandes spectrales d'un capteur satellitaire. Par synthèse additive, il est possible de reconstituer toutes les couleurs. Cela permet de faciliter l'interprétation des images satellitaires et de mettre en évidence des phénomènes environnementaux (Mangolini, 1994).

Le prétraitement de l'image satellitaire à travers l'élaboration de compositions colorées, affecte aux bandes spectrales acquises dans les longueurs d'onde du bleu, du vert et du rouge les trois couleurs primaires correspondantes. L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pour refléter de près ce qu'on espère faire ressortir à partir données de l'image (Roy *et al.*, 2014).

La création de compositions colorées fait partie de l'interprétation visuelle de l'image. Une composition colorée dans laquelle les thèmes recherchés sont les plus apparents (composantes du paysage forestier montagnard) a été élaborée lors du traitement de l'image qui a permis de visualiser les canaux comme suit: le rouge est attribué à la bande rouge, le vert à la bande verte et le bleu à la bande bleue (combinaison 1.2.3.). L'image résultante correspond aux couleurs réelles, pour Mangolini (1994), si les bandes spectrales de l'image ne correspondent pas aux trois couleurs primaires, l'image qui en résulte est appelée une image en « fausses couleurs ».

III.1.1.2.- Correction géométrique (Orthorectification)

L'objectif de l'orthorectification d'une image satellite consiste à la présenter comme si elle est acquise à la verticale (au nadir) pour pouvoir la superposer à une carte (plat). Le but de ce traitement est d'enlever les effets de perspective de l'optique du capteur et les effets du relief. L'image orthorectifiée permet d'effectuer une mesure directe et précise des distances, des angles, et des surfaces (Cresson et Gaetano, 2017).

L'image ECW est déjà corrigée géométriquement par le fournisseur (ESRI World Imagery), et géoréférencée dans le système de projection (projection UTM, système géodésique WGS84). Cependant, pour faire comparaison et superposition de l'image ECW avec les cartes topographiques de la région d'étude, un co-géoréférencement s'impose.

III.1.2.- Données cartes topographiques

La consultation de plusieurs anciennes cartes topographiques de la région de Djebel Amour (tab. 5; annexe 3) a permis la délimitation des surfaces naturellement boisées. Ces cartes sont prétraitées d'un géoréférencement afin de les superposer à la scène satellite ECW et au MNT. Cette étape a facilité la localisation des terrains à reprospecter, le choix des stations de montagnes à échantillonner et la sélection des échantillons d'apprentissage pour la classification supervisée.

Tableau 5.- Cartes topographiques consultées

Nom de la carte	Echelle	Organisme	Année	Source
Tadjmout	1/50.000	I.G.N (France)	1951	D.G.F.
Aflou	1/250.000	A.M.P (Etats Unis)	1956	(http://www.lib.utexas.edu)
Laghouat	1/250.000	A.M.P (Etats Unis)	1956	(http://www.lib.utexas.edu)
Aflou	1/100.000	I.G.N (France)	1958	D.G.F.
Ain Madhi	1/100.000	I.G.N (France)	1958	D.G.F.
Guellet Sidi Saad	1/100.000	I.G.N (France)	1958	D.G.F.
Taouiala	1/100.000	I.G.N (France)	1958	D.G.F.
Sidi Bouzid	1/50.000	I.G.N (France)	1959	D.G.F.
Aflou	1/50.000	I.G.N (France)	1961	D.G.F.

III.1.3.- Classification supervisée

La photo-interprétation des scènes des neuf (09) stations d'étude basée sur l'interprétation visuelle de la composition colorée et appuyée par une bonne connaissance du terrain ont guidé le choix des zones d'entraînement. 140 sites témoins ou régions d'intérêt (*R.O.I.*) sont ainsi retenus selon les classes attribuées: Strate Arborescente (Pin d'Alep), Strate Arbustive (Genévriers de Phénicie et Oxycèdre), Strate du Sous-bois, Strate du Son-nu et Strate des Affleurements Rocheux.

La classification est réalisée à l'aide du logiciel ArcGis. Il est présenté les trois phases caractéristiques de la classification supervisée par maximum de vraisemblance de la station de Kaf El-Guelta sur la figure 16.

Dans la première phase, il est présenté une imagerie de l'image satellite originale de la station de Kaf El-Guelta, de résolution spatiale de 30 m et de couleur RVB. L'imagerie est de petite taille pour mieux mettre en évidence le comportement des classificateurs (fig. 16a).

Dans la deuxième phase, il est présenté des zones d'entraînement qui sont relativement étendues par rapport à la taille de l'image de manière à produire des signatures bien représentatives de chaque classe (fig. 16b).

Il est à noter que, les classifications supervisées sont basées sur l'existence d'une signature spectrale unique pour chaque catégorie thématique. Pour des raisons climatiques, d'aptitudes des sols et du relief, il est fréquent d'observer qu'une catégorie thématique donnée se présente avec des propriétés spectrales différentes d'un endroit à un autre (Caloz et Pointet, 2003). Pour contourner cette difficulté, il est préconisé de définir de nouvelles catégories thématiques, jusqu'à ce que la correspondance avec les classes spectrales apparaisse satisfaisante, et de fusionner ensuite les sous-

catégories ainsi créées lors de l'étape de généralisation définitive (Mather, 1999). Les statistiques des signatures sont présentées sur le dendrogramme qui donne les distances attributaires entre chaque paire de classes combinées séquentiellement (fig. 17).

Dans la troisième phase, il est présenté le résultat de la classification par maximum de vraisemblance après de nombreux tests qui ont permis de ne retenir que les critères les plus discriminants pour chaque classe et d'assurer une reproductibilité des traitements (fig. 16c).

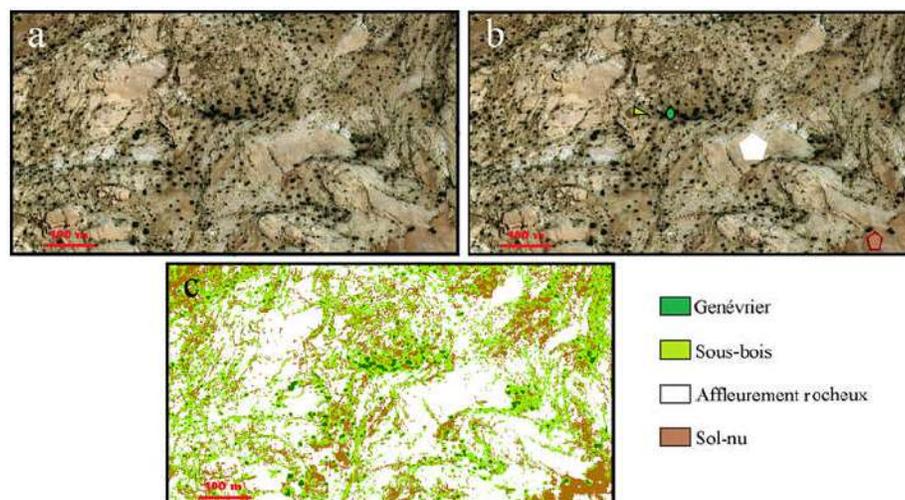


Figure 16.- Imagettes exemplaires de la classification supervisée par maximum de vraisemblance (station de Kaf El-Guelta), a: Imagette de l'image satellite originale, b: Zones d'entraînement, c: Classification par maximum de vraisemblance

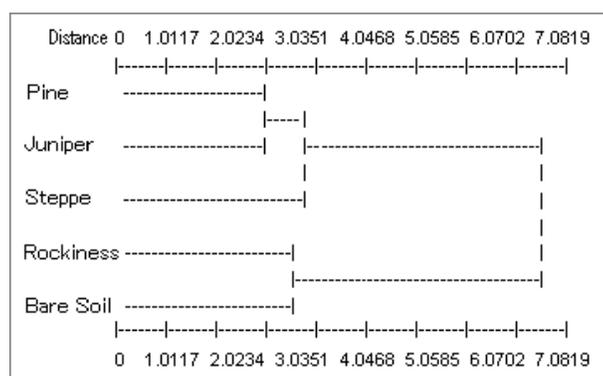


Figure 17.- Dendrogramme des distances attributaires entre des classes de signature

- Validation de l'interprétation par les données de terrain

La classification est achevée conjointement à la photo-interprétation par comparaison sur la base des informations acquises lors de prospection à partir des points GPS des parcelles échantillons et des parcelles de validation (non sélectionnées lors de l'apprentissage). Ces parcelles constituent des échantillons représentatifs et couvrent de façon homogène le territoire de chaque station.

La reproductibilité des procédures est testée sur les parcelles de validation et, lorsque les paramètres de classification des strates identifiées sur les parcelles échantillons n'étaient pas

reproductibles sur les parcelles de validation, de nouveaux critères ont été sélectionnés jusqu'à ce que la reproductibilité soit avérée sur l'ensemble des parcelles.

La représentativité de la classification est affinée lors de sélection des points (pixels) retenus pour traitement statistique dans l'examen de la relation topographie-végétation, une nouvelle vérification des cartes des classes a permis la suppression des points de confusion et la sélection des points (pixels) homogènes et représentatifs.

III.1.4.- Réalisation de cartes de densités des classes

Sur la figure 18, des imageries sont présentées comme exemple d'illustration de la réalisation des cartes des densités des classes dans la station de Gaadet Madna.

A partir du raster de classification généré, dans une première phase, il est extrait de manière conventionnelle de nouveaux rasters des classes en couches séparées par l'outil *Extraction by Attributes* (*Spatial Analyst*, ArcGis). Une illustration est donnée sur la figure 18a de l'extraction du raster de la classe du Pin d'Alep.

Il est présenté le résultat de la conversion du raster extrait vers un fichier *Shapefile* de points par l'outil *Feature to point* (*Data management tools*, ArcGis), en deuxième phase (fig. 18b).

Dans la troisième phase (fig. 18c), il est généré par l'outil *Point Density* (*Spatial Analyst*, ArcGis) une carte de densité des points à partir du fichier *Shapefile* de la classe du Pin d'Alep. La densité est calculée en grandeur par unité de carte à partir des entités ponctuelles qui se trouvent dans le voisinage donné de chaque cellule (<https://www.desktop.arcgis.com>). Cette méthode est largement utilisée par diverses disciplines scientifiques à des fins différentes, telles que l'analyse de l'estimation du domaine vital et des distributions en écologie (Fieberg, 2007; Gitzen *et al.*, 2006; Seaman et Powell, 1996).

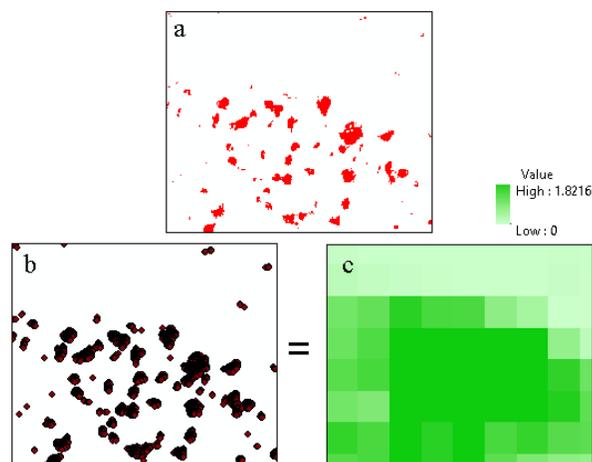


Figure 18.- Imageries exemplaires de la réalisation de carte de densité de la Classe Pin d'Alep (station de Gaadet Madna), a: Classe Pin d'Alep Raster, b: Classe Pin d'Alep Points, c: Densité

III.1.4.1.- Densités et répartitions des classes

Dérivées des procédures développées (extraction de la couche raster, conversion de la couche en fichier de points et élaboration de la carte de densité), les cartes de densité des classes telles que Classe Pin d'Alep (Pin), Classe Genévrier (Jun), Classe Sous-bois ou Steppe (Usv), Classe Sol-nu (Brs), Classe Affleurement rocheux (Rck) sont données en annexe 4. Les valeurs descriptives des densités correspondantes aux points (pixels) représentatifs sélectionnés pour traitement statistique sont représentées dans le tableau 6.

Tableau 6.- Valeurs descriptives des densités des classes des points échantillons

Stations / Classes	<i>Pin</i>	<i>Jun</i>	<i>Usv</i>	<i>Brs</i>	<i>Rck</i>
KSB	/	82.2 ± 78.9	116 ± 104.9	543.8 ± 198.7	106.9 ± 135.3
DGR	/	50.1 ± 61.2	166.4 ± 200.2	600.7 ± 244.8	31.5 ± 91.1
DEA	/	84.5 ± 90.4	400 ± 204.4	295.4 ± 276.9	83.4 ± 72.7
KGL	6.3 ± 15.8	60.1 ± 111.4	196.1 ± 113.6	426.4 ± 225	167.9 ± 151.1
DSO	/	142.9 ± 130	459.1 ± 141.4	129.3 ± 139.1	120.1 ± 96
DZL	/	138 ± 190.2	259.4 ± 231	338.5 ± 234.2	109.4 ± 167.5
GMD	21.2 ± 35.5	240.8 ± 272.5	350.8 ± 204	126 ± 233.9	105 ± 163
GNF	28 ± 51.7	206.4 ± 270.2	197.9 ± 205.8	198 ± 306.2	208.1 ± 261.6
GZL	/	25 ± 20.8	329.7 ± 148.2	296.2 ± 224	206.7 ± 125.1

Au vu du tableau 6, le Pin d'Alep n'est abondant que dans trois stations telles que GNF (Gaadet Anfous), GMD (Gaadet Madna) et avec faible importance dans KGL (Kaf El-Guelta). Pour le Genévrier, il est omniprésent dans toutes les stations mais avec une abondance plus appréciable dans GMD et GNF. Cette abondance diminue au niveau de DSO (Djebel Sidi Okba) et DZL (Djebel Zlagh), puis diminue encore dans DEA (Djebel El-Aouidja), KSB (Kaf Sidi Bouzid), KGL et DGR (Djebel Gourou), et la plus faible abondance est enregistrée au niveau de GZL (Gaadet Ez-Zellidj). Pour le sous-bois, il est très dense au niveau de DSO, DEA, GMD et GZL. Cette densité s'éclaircie progressivement dans DZL, GNF, KGL, DGR et KSB. Les éclaircies (sol-nu) sont grandes dans DGR et KSB, et diminuent progressivement dans KGL, DZL, GZL et DEA, puis diminuent davantage dans GNF, DSO et GMD; concernant l'affleurement rocheux. Il est plus important dans GNF et GZL, diminue légèrement à KGL, DSO, DZL, KSB et GMD, et diminuent encore à DEA et DGR.

III.1.5.- Variables topographiques

Des cartes d'indices topographiques dérivant du MNT telles que élévation (Ele), pente (Slp), indice de position topographique (Tpi), rayonnement solaire zonal (Slr), ombrage (Hil), courbure (Crv), exposition (Asp), indice de rugosité du terrain (Tri) et indice topographique d'humidité (Twi) sont élaborées dans chaque station. Les valeurs descriptives des topographies correspondant aux points (pixels) sélectionnés pour statistique sont représentées dans le tableau 7.

L'examen des données (tab.7), laisse remarquer que les stations les plus élevées sont DSO et DGR. Cette élévation s'abaisse respectivement au niveau de DZL, GZL, KGL, GNF, DEA, KSB et GMD. Pour la pente du terrain, toutes les stations sont pentues avec davantage celles de DSO et de DZL.

Tableau 7.- Valeurs descriptives des variables topographiques des points échantillons

Topographies / Stations	<i>Ele</i>	<i>Slp</i>	<i>Tpi</i>	<i>Slr</i>	<i>Hll</i>	<i>Crv</i>	<i>Asp</i>	<i>Tri</i>	<i>Twi</i>
KSB	1283 ± 32.3	12.6 ± 6.5	2.3 ± 24.3	14 ± 11.8	89.6 ± 67	2.3 ± 109.4	186.7 ± 135.7	0.5 ± 0.1	-7.7 ± 4.2
DGR	1503.7 ± 58.2	9.3 ± 5.3	1.7 ± 10.5	13.7 ± 10.3	84.9 ± 73.4	11.7 ± 105	218.9 ± 109.1	0.5 ± 0.1	-8.6 ± 1.4
DEA	1331.7 ± 34.16	10.4 ± 6.7	-0.4 ± 20.1	20.6 ± 8.3	73.1 ± 80.7	0.5 ± 102	223.7 ± 88	0.5 ± 0.1	-8.3 ± 2.1
KGL	1365.2 ± 28.4	8.8 ± 5.5	-5 ± 24.2	16.4 ± 9.2	101.3 ± 70.6	-4 ± 75.6	228.5 ± 127.2	0.4 ± 0.1	-7.1 ± 4.2
DSO	1559.5 ± 68.5	16.4 ± 8.2	1 ± 27	3.3 ± 4.2	162 ± 25.2	0.3 ± 102.5	314 ± 70	0.5 ± 0.1	-8.8 ± 1.5
DZL	1412.6 ± 45.5	14.7 ± 7	-3.8 ± 26	17.1 ± 8	97 ± 77.6	-0.5 ± 124.4	223 ± 117.4	0.5 ± 0.1	-8.6 ± 2.3
GMD	1164.1 ± 68.3	11.4 ± 9.5	-16.2 ± 24.4	26.9 ± 15.2	93.5 ± 74.6	-27.5 ± 107.1	116.1 ± 121.8	0.4 ± 0.1	-1 ± 9.1
GNF	1348 ± 77.11	13.2 ± 11	0.9 ± 29.5	21.2 ± 13.7	97.1 ± 76.1	23.5 ± 168.9	235.6 ± 116.8	0.5 ± 0.1	-4.2 ± 7.9
GZL	1395.5 ± 36.2	11.3 ± 6.3	8.8 ± 22.7	14.1 ± 9	86.4 ± 80.1	3.4 ± 99.6	227 ± 104.7	0.5 ± 0.1	-8.5 ± 1.9

Concernant l'indice de position topographique, les cellules végétées dans KSB, DGR, DSO, GNF et GZL sont plus élevées par rapport à leurs cellules voisines, alors qu'elles sont plus basses dans DEA, KGL, DZL et GMD. Pour les radiations solaires, les cellules végétées dans toutes les stations sont bien ensoleillées avec moins d'intensité dans DSO. Inversement à l'ombrage, les stations sont moins ombragées que DSO. Examinant la courbure de surface, il ressort que les cellules végétées dans les stations DEA, DSO et DZL sont sensiblement planes par rapports aux cellules végétées dans les autres stations qui sont plus ou moins concaves ou convexes, longitudinalement ou transversalement; l'examen des valeurs d'exposition, montrent que les cellules des station sont orientées vers les diverses directions géographiques; comme les stations sont des montagnes rocheuses, les valeurs de l'indice de rugosité topographique indiquent que les terrains sont rugueux avec variations sensibles d'une station à l'autre, et les valeurs de l'indice d'humidité topographique indiquent que les terrains sont bien drainés.

III.1.6.- Traitement des données numériques

Pour chaque station, les cartes de densité des classes générées de l'image satellitaire (ECW) de la région d'étude (données biotiques) sont superposées sur les cartes des variables topographiques générées du modèle numérique du terrain MNT (données abiotiques). La superposition des cartes a nécessité un ré-échantillonnage (*Resampling process*) afin d'ajuster la résolution spatiale (taille des pixels) des cartes des densités à la résolution spatiale du MNT selon la méthode d'interpolation par majorité (<https://desktop.arcgis.com>).

L'ensemble de données des points homogènes et représentatifs est intégré dans des tableaux d'attribut (*Attribute Table*) d'un *Shapefile* de points généré du MNT.

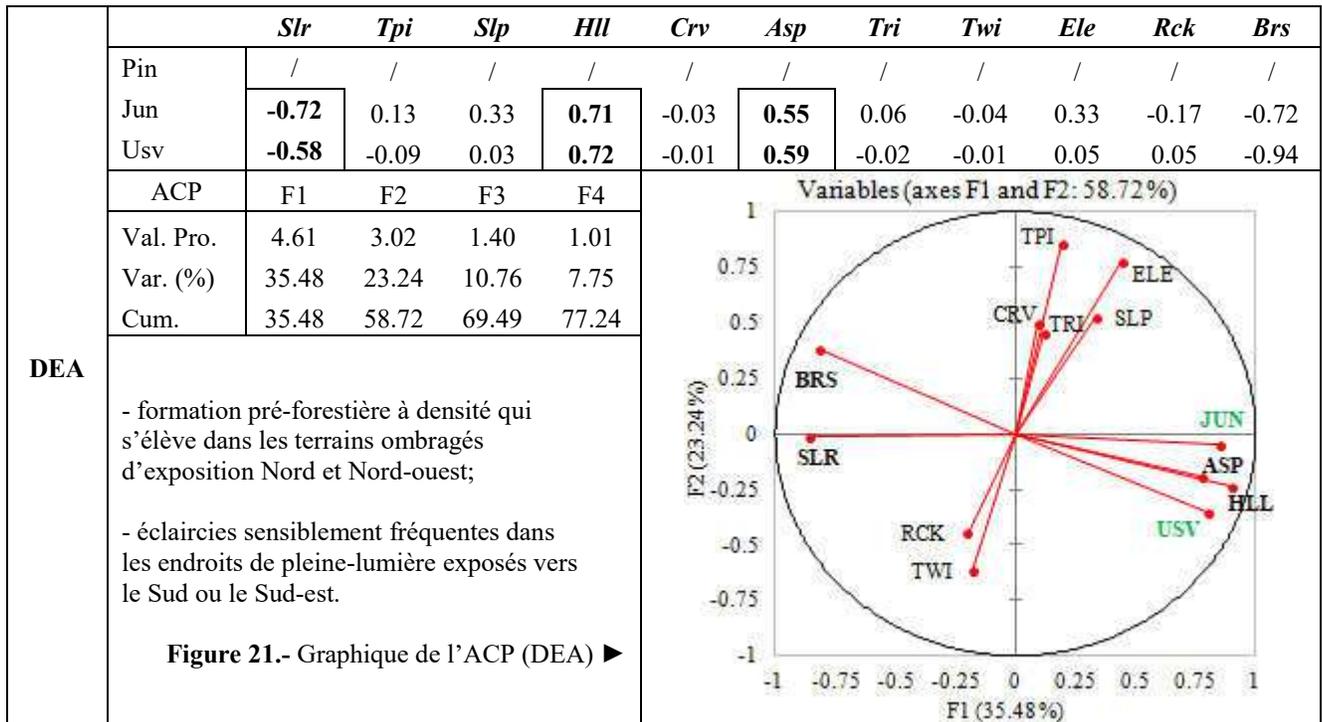
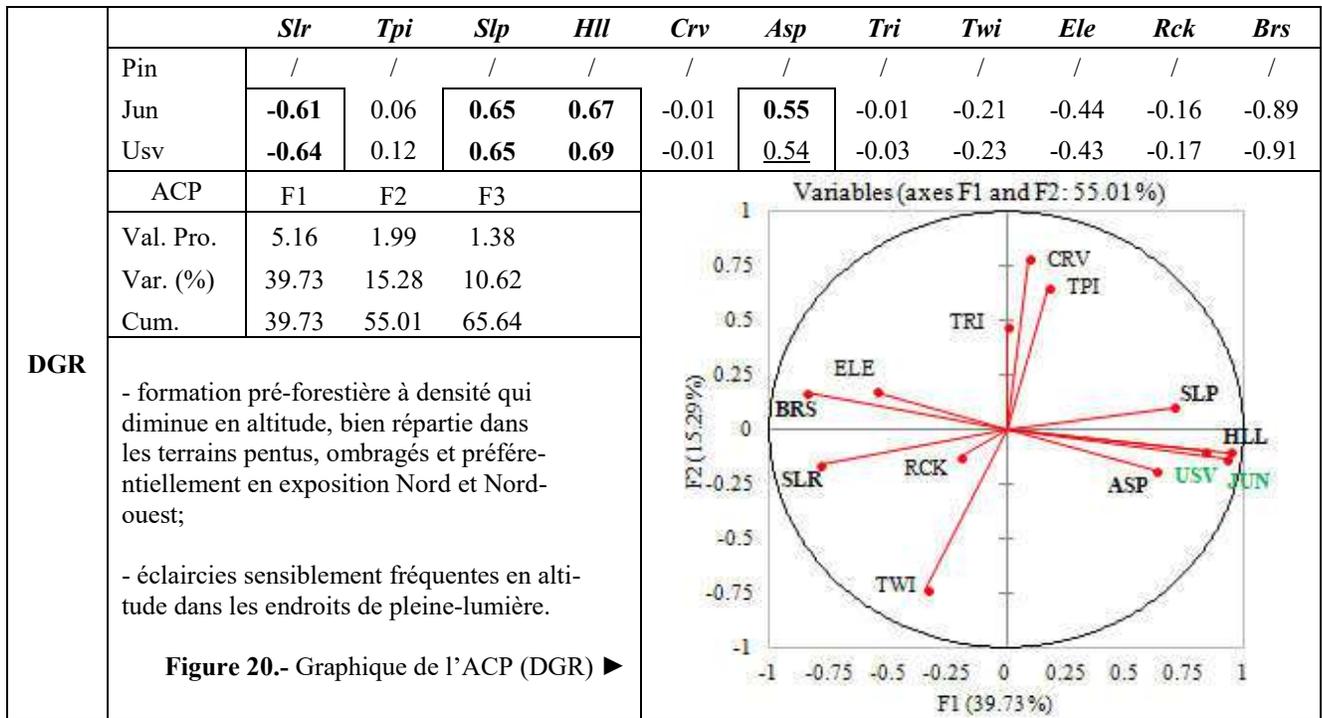
III.1.6.1.- Traitements statistiques

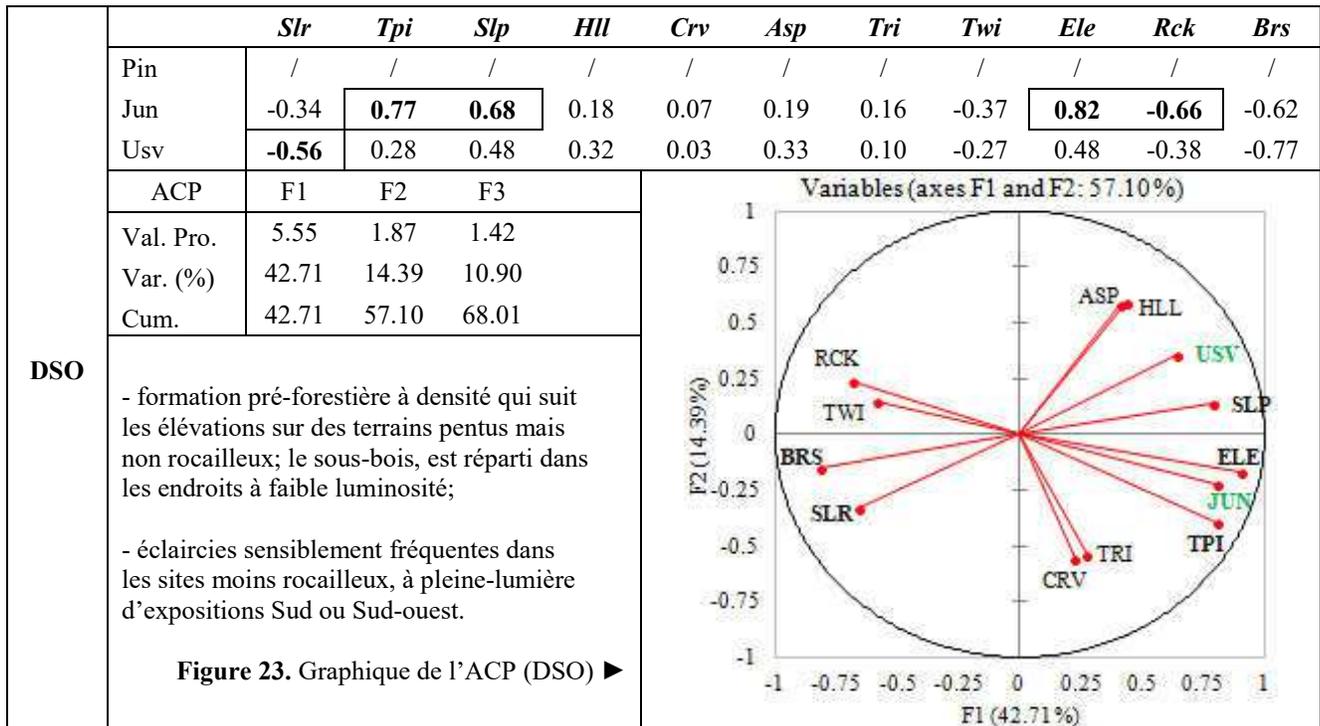
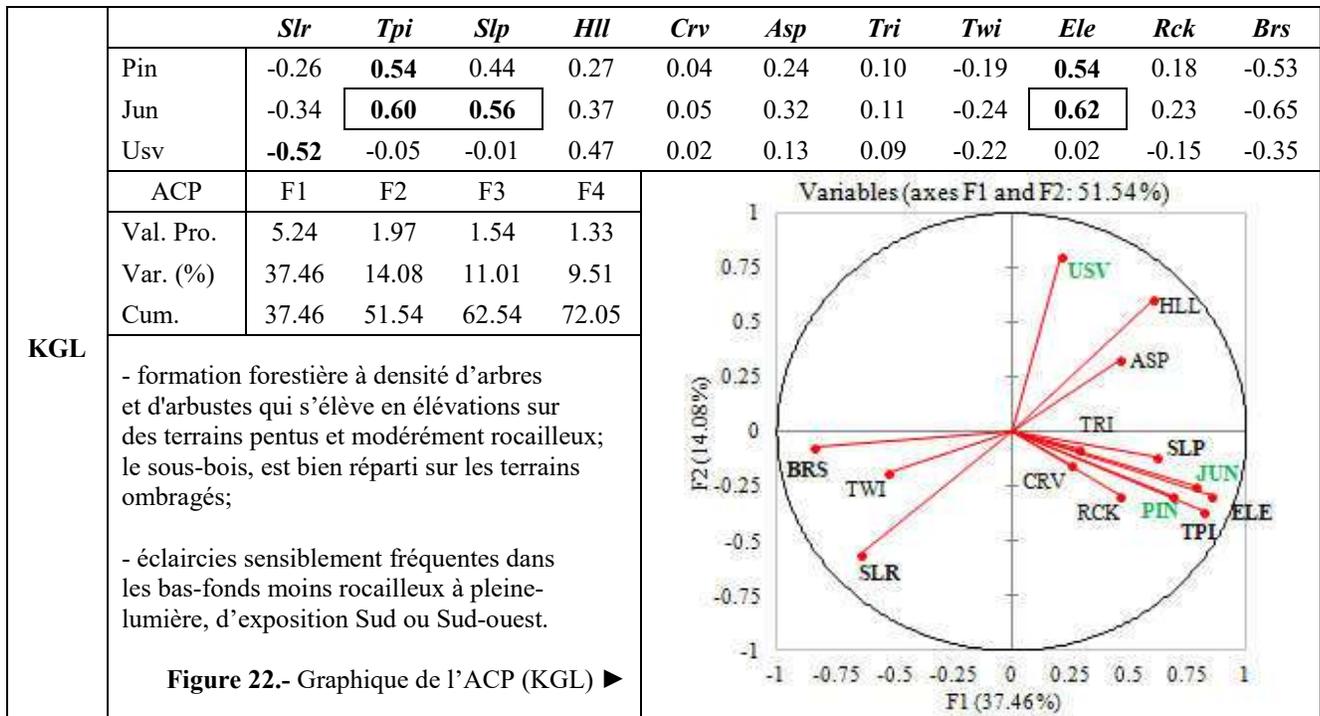
Pour évaluer les relations entre les variables topographiques inventoriées et les composantes du paysage forestiers. Il est réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour chaque station de montagne, en utilisant une matrice de coefficients de corrélation de sorte que chaque facteur (composante principale) ne comporte que peu de variables avec le plus de contributions possibles pour faciliter l'interprétation.

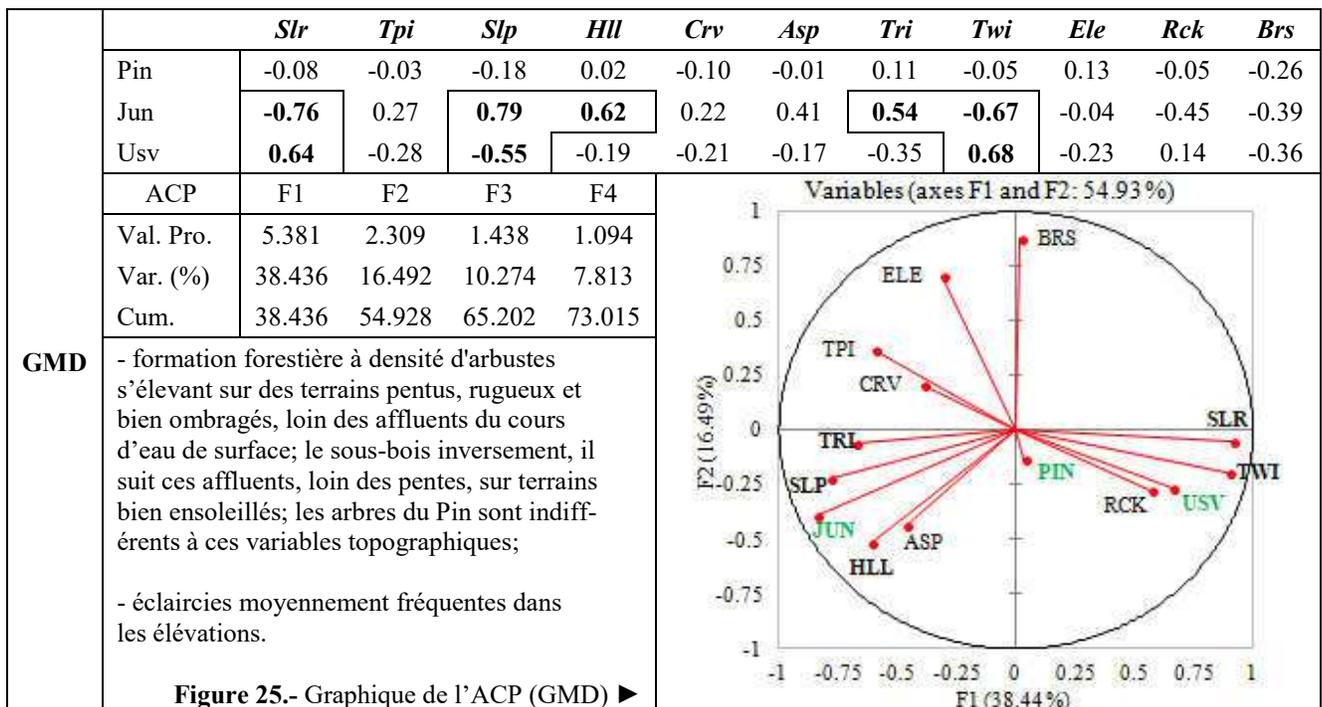
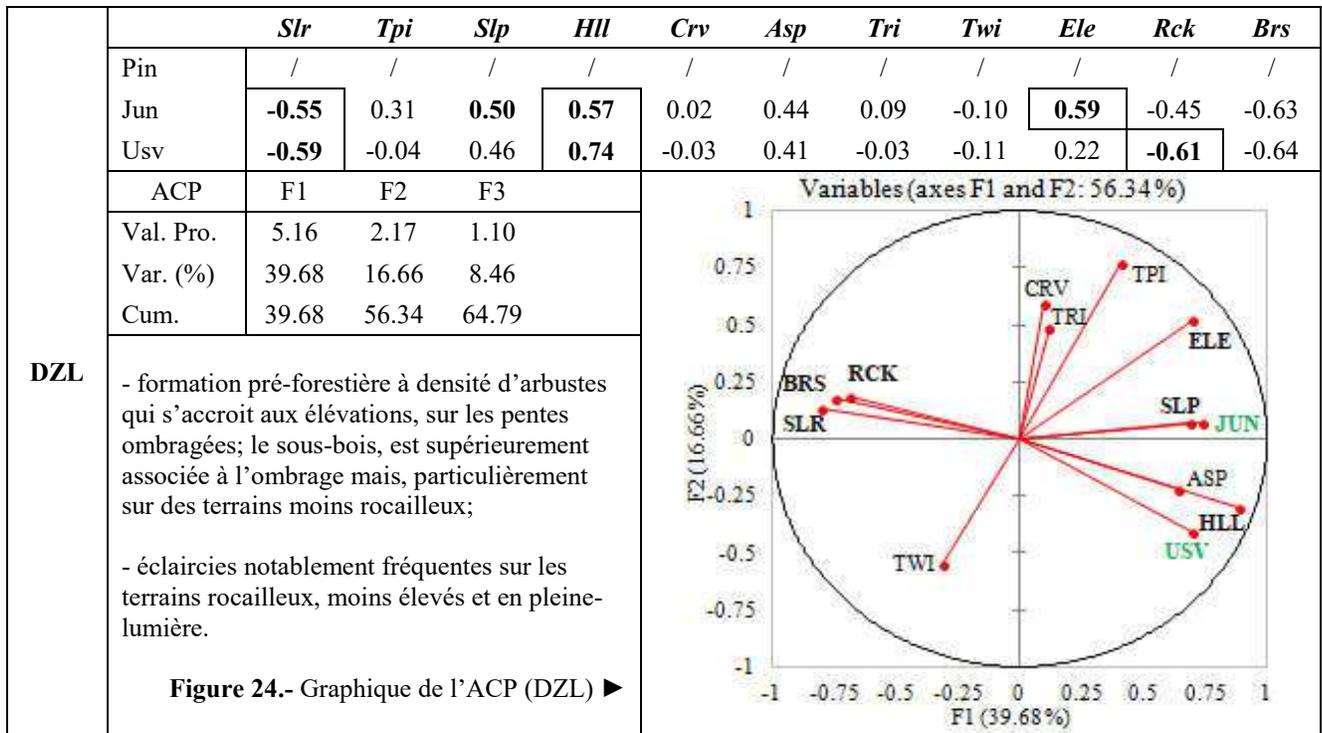
Le tableau 8, présente les résultats des ACP (fig. 19-27) dans chaque station (où une variable est jugée significativement corrélée avec la composante principale à des corrélations > 0,55 et, une composante principale est jugée significative à des valeurs propres > 1 (Xu *et al.*, 2008).

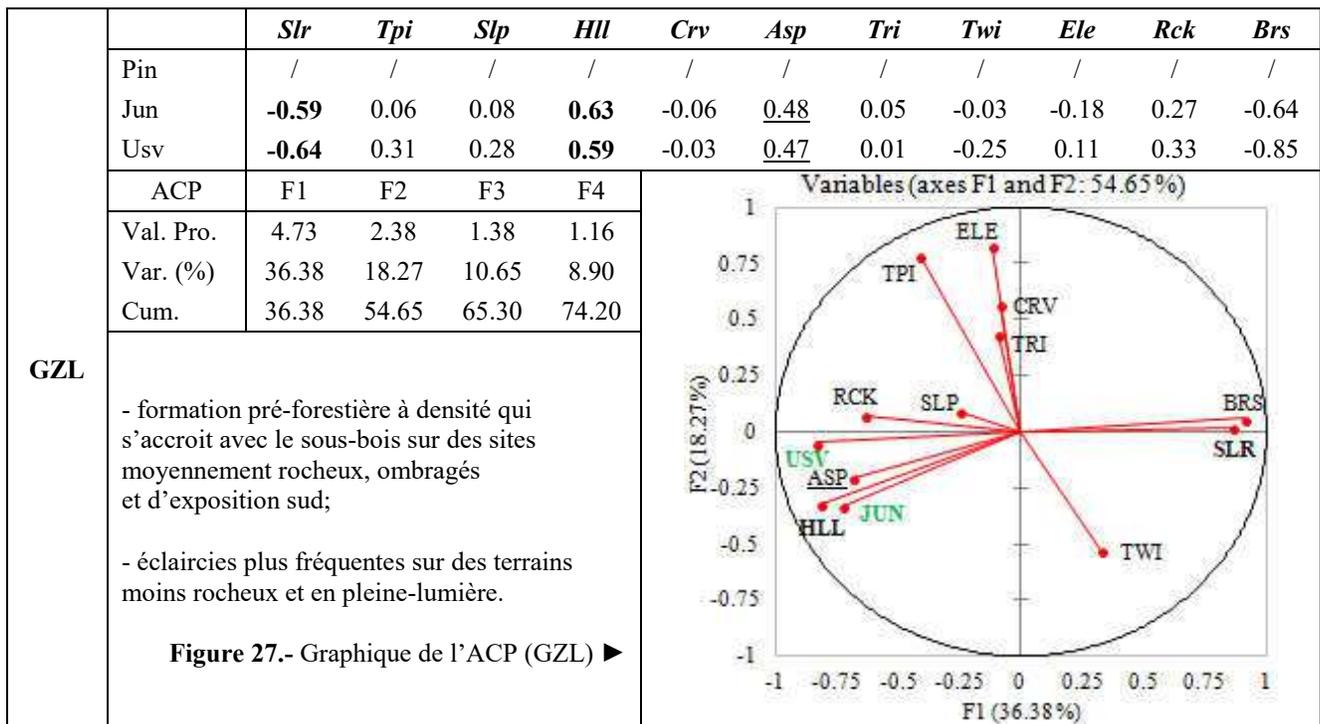
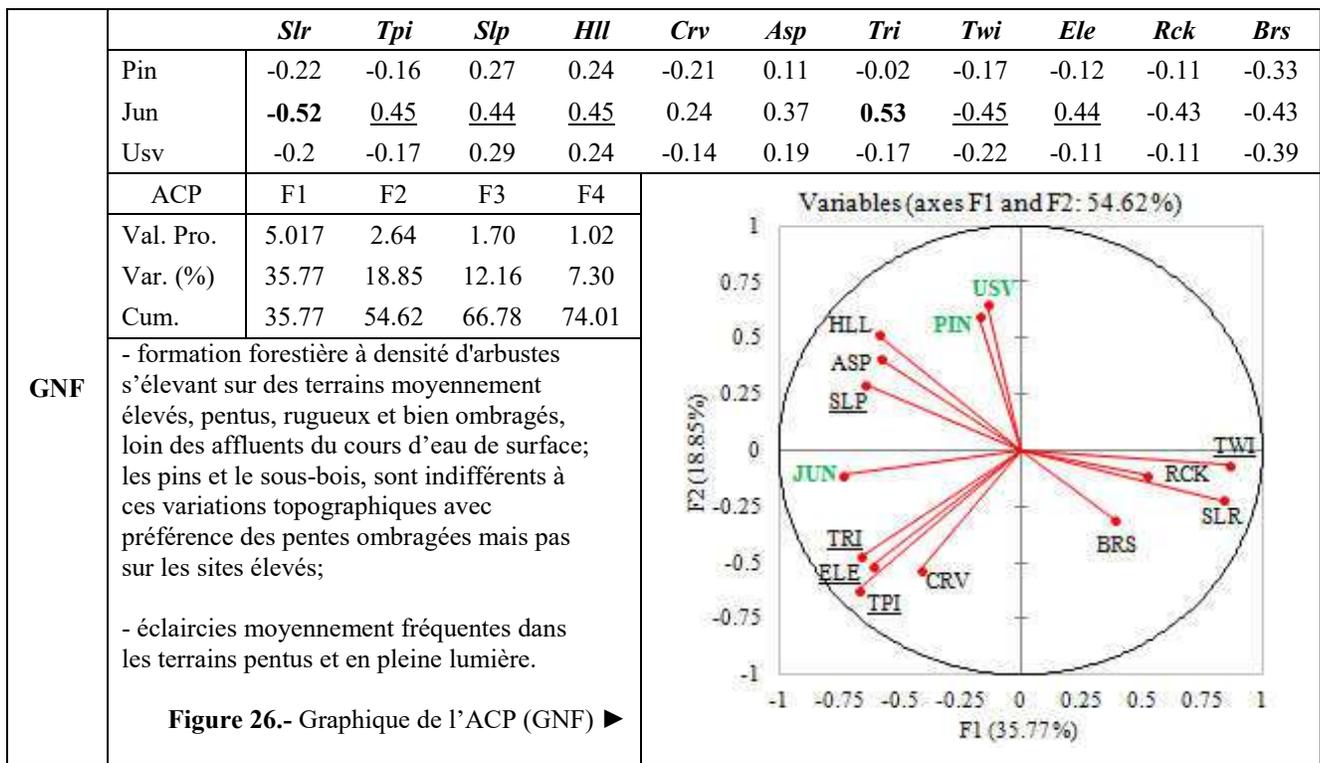
Tableau 8.- ACP des données des stations d'étude

St.	Corrél.	<i>Slr</i>	<i>Tpi</i>	<i>Slp</i>	<i>Hll</i>	<i>Crv</i>	<i>Asp</i>	<i>Tri</i>	<i>Twi</i>	<i>Ele</i>	<i>Rck</i>	<i>Brs</i>	
KSB	Pin	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	Jun	<u>-0.46</u>	<u>0.51</u>	<u>0.50</u>	0.33	0.09	0.05	0.15	-0.14	<u>0.71</u>	-0.23	-0.52	
	Usv	<u>-0.55</u>	0.40	<u>0.58</u>	<u>0.46</u>	0.05	0.14	0.13	-0.24	<u>0.62</u>	-0.20	-0.59	
	ACP	F1	F2	F3	F4								
	Val. Pro.	4.90	2.20	1.27	1.21								
	Var. (%)	37.72	16.93	9.76	9.33								
	Cum.	37.72	54.64	64.41	73.74								
		<p>- formation forestière à densité qui s'élève en altitude, un sous-bois bien réparti dans les endroits pentus et de faible luminosité;</p> <p>- éclaircies fréquentes dans les bas-fonds moins rocailleux.</p> <p>Figure 19.- Graphique de l'ACP (KSB) ►</p>											









III.1.6.2.- Bilan diagnostic

Sur la base des résultats de corrélation entre les composantes forestières et les variables topographiques, il est réalisé un tableau (tab. 9) présentant leurs comportements en donnant: (+) tolérance, (.) indifférence, (-) intolérance) dans chacune des stations.

Tableau 9.- Comportement des composantes du paysage forestier vis-à-vis des variables topographiques

Station	Composante	<i>Variables topographiques</i>									
		<i>Slr</i>	<i>Tpi</i>	<i>Slp</i>	<i>Hll</i>	<i>Crv</i>	<i>Asp</i>	<i>Tri</i>	<i>Twi</i>	<i>Ele</i>	<i>Rck</i>
KSB	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	+	+	+	.	.	.	.	+	.
	Sous-bois	-	+	+	+	.	.	.	.	+	.
	Eclaircies	.	-	-	.	.	.	.	+	-	-
DGR	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	.	+	+	.	+	.	.	-	.
	Sous-bois	-	.	+	+	.	+	.	.	-	.
	Eclaircies	+	.	-	-	.	-	.	.	+	.
DEA	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	.	+	+	.	+	.	.	+	.
	Sous-bois	-	.	.	+	.	+	.	.	.	.
	Eclaircies	+	.	.	-	.	-	.	.	.	.
KGL	Arbres	-	+	+	+	.	.	.	.	+	.
	Arbustes	-	+	+	+	.	+	.	.	+	.
	Sous-bois	-	.	.	+	.	.	.	.	.	.
	Eclaircies	+	-	-	-	.	-	.	+	-	-
DSO	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	+	+	.	.	.	.	-	+	-
	Sous-bois	-	+	+	+	.	+	.	-	+	-
	Eclaircies	+	-	-	-	.	-	.	+	-	+
DZL	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	+	+	+	.	+	.	.	+	-
	Sous-bois	-	.	+	+	.	+	.	.	.	-
	Eclaircies	+	.	-	-	.	-	.	.	-	.
GMD	Arbres	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Arbustes	-	+	+	+	.	+	+	-	.	-
	Sous-bois	+	-	-	.	.	.	-	+	.	.
	Eclaircies	.	.	.	-	.	.	.	.	+	-
GNF	Arbres	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
	Arbustes	-	+	+	+	.	+	+	-	+	-
	Sous-bois	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
	Eclaircies	+	.	-	.	.	.	.	+	.	-
GZL	Arbres	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Arbustes	-	.	.	+	.	+	.	.	.	+
	Sous-bois	-	+	+	+	.	+	.	-	.	+
	Eclaircies	+	-	-	-	.	-	.	+	.	-

III.1.7.- Approche phytogéographique

Sur la base des données de l'analyse phytogéographique et des données collectées lors des missions du terrain, il sera présenté les résultats obtenus dans les stations d'étude.

III.1.7.1.- Station de Kaf Sidi Bouzid (KSB) ①

La formation forestière de Kaf Sidi Bouzid est un matorral bas et moyen composé d'arbustes de Genévrier de Phénicie dont la densité est fortement corrélée à l'élévation qui varie de 1178 à 1498 m. Cet arbuste se trouve généralement en élévations dans des zones montagnardes (Adams, 2014; Mazur *et al.*, 2016). Le sous-bois de ce matorral est majoritairement steppique, et se répartit significativement sur les élévations pentues (0 à 37.5°) à faible luminosité. Ceci est peut être dû à la diminution de la pression du pâturage en altitude abruptes (Aidoud *et al.*, 1999); à l'inverse des éclaircies, qui sont significativement localisés aux fonds du vallon, moins pentus et moins rocheux, cela peut être interprété comme conséquence du défrichement et du surpâturage (fig. 28) qui, selon Descroix (2002) sont visibles, en particulier, à proximité immédiate des villages (village de Sidi Bouzid dans ce cas), sur les rebords de plateaux dominants les bas-fonds.



Figure 28.- Vue de la station de Kaf Sidi Bouzid (KSB)

III.1.7.2.- Station de Djebel Gourou (DGR) ②

La formation forestière de Djebel Gourou est un matorral de Genévrier de Phénicie dont la densité des arbustes et celle du sous-bois sont significativement corrélées à l'augmentation de pente (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017) qui varie de 0 à 38° notamment celles ombragées et exposées au Nord, cette distribution peut s'expliquer par le fait que le versant Nord est plus exposé aux vents frais et humides que celui du Sud (Gaouar, 1980), et par la diminution de la pâture dans les terrains abruptes (Aidoud *et al.*, 1999). Il est à noter que la végétation dans ce djebel est corrélée négativement à l'élévation qui varie de 1380 à 1719 m. Cela est peut être exprimé par le fait qu'en altitude, l'efficacité des pluies (surtout hivernales) se trouve limitée par le froid, et l'activité végétale très ralentie sinon arrêtée, pendant une période plus ou moins longue (Pouget, 1980); à l'inverse, les

éclaircies dans cette formation sont conséquemment corrélées à l'altitude et se localisent sur les sites bien ensoleillés (fig. 29).



Figure 29.- Vue de la station de Djebel Gourou (DGR)

III.1.7.3.- Station de Djebel El-Aouidja (DEA) ③

La formation forestière de la station de Djebel El-Aouidja est un matorral de Genévrier de Phénicie où la densité des arbustes et de leur sous-bois sont fortement corrélées aux pentes (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017) qui varient de 0 à 40.2°, particulièrement celles ombragées et exposées au Nord où les vents sont plus frais et plus humides (Gaouar, 1980). Quant aux éclaircies de la formation, elles sont à l'inverse corrélées positivement aux expositions Sud de pleine lumière qui sont plus chaudes et plus sèches que celles du Nord (fig. 30).



Figure 30.- Vue de la station de Djebel El-Aouidja (DEA)

III.1.7.4.- Station de Kaf El-Guelta (KGL) ④

La formation pré-forestière de Kaf El-Guelta est un matorral haut composé d'arbustes de Genévrier de Phénicie et d'arbres de Pin d'Alep dont la densité est significativement corrélée à l'élévation qui varie de 1319 à 1444 m. Ces deux conifères se répartissent généralement en élévations dans des zones montagnardes (Adams, 2014; Mazur *et al.*, 2016). La densité des arbustes du Genévrier est en plus significativement corrélée à l'augmentation de pente qui varie de 0 à 37.8° (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017). Le sous-bois de la formation est majoritairement steppique, et est négativement corrélé à l'ensoleillement. Il est peut être dû à l'amélioration de la disponibilité en eau du sol dans les microsites ombragés qui est liée principalement à la réduction de la température et de l'évapotranspiration (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004). Les éclaircies dans cette formation se localisent significativement dans les bas-fonds moins rocheux, cela peut être interprété comme conséquence du défrichement et du surpâturage (fig. 31) s'accroissant sur les rebords de plateaux (Descroix, 2002).



Figure 31.- Vue de la station de Kaf El-Guelta (KGL)

III.1.7.5.- Station de Djebel Sidi Okba (DSO) ⑤

La formation forestière de Djebel Sidi Okba est un matorral de Genévrier de Phénicie dont la densité est fortement corrélée à l'altitude qui varie entre 1377 et 1721 m. La répartition de cet arbuste selon plusieurs auteurs Adams (2014), Mazur *et al.* (2016) et Mathaux (2017) est généralement liée aux élévations dans des zones montagnardes, et à l'augmentation de pente (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017) qui varie ici de 0 à 46.7°, mais aussi corrélée à la diminution des affleurements rocheux sur le djebel. Le sous-bois de la formation est majoritairement steppique, et est négativement corrélé à l'ensoleillement Il est peut être dû à l'amélioration de la disponibilité en eau du sol dans les microsites ombragés qui est liée principalement à la réduction de la température et de l'évapotranspiration (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004). Les éclaircies dans cette formation sont négativement corrélées à la pente et l'élévation et se localisent sur les sites bien ensoleillés (fig. 32). Cela peut être interprété comme une conséquence du défrichement et du surpâturage.



Figure 32.- Vue de la station de Djebel Sidi Okba (DSO)

III.1.7.6.- Station de Djebel Zlagh (DZL) ⑥

La formation végétale de la station de Djebel Zlagh (fig. 33) est une formation pré-forestière constituant un matorral de Genévrier rouge dont la densité des arbustes est significativement corrélée aux élévations qui varient de 1279 à 1596 m. En effet, c'est une espèce des zones montagnardes (Adams, 2014, Mazur *et al.*, 2016; Mathaux, 2017), notamment sur les pentes (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017) ombragées variant sur le djebel de 0.3 à 42.3°. Le sous-bois de la formation est également corrélé à l'ombrage mais particulièrement dans terrains moins rocheux. Il peut être dû aux effets de l'ombre tels que l'amélioration de la disponibilité en eau du sol, la réduction de la température et de l'évapotranspiration (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004). Quant aux éclaircies, elles sont plus fréquentes sur les sites bien ensoleillés.



Figure 33.- Vue de la station de Djebel Zlagh (DZL)

III.1.7.7.- Station de Gaadet Madna (GMD) ⑦

La formation végétale de la station de Gaadet Madna (fig. 34) est une formation pré-forestière constituant un matorral arboré de Pin d'Alep et de Genévrier de Phénicie, la densité des arbres du Pin paraît indifférentes aux paramètres topographiques mesurés, alors que celle des arbustes du Genévrier est significativement corrélée à l'ombrage (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004), à l'augmentation de la pente (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017) qui varie de 0 à 48.5°. Elle est négativement corrélée à l'indice topographique d'humidité (TWI) ce qui indique que cet arbuste s'installe loin des sillons formés par les eaux du ruissellement. Il est peut être dû à l'érosion qui prend ampleur dans les terrains rocheux à pentes abruptes (Roose, 1994). Le sous-bois de la formation est principalement composé d'espèces méditerranéennes telles que *Cistus creticus* L. (Cistaceae), *Globularia alypum* L. (Plantaginaceae), *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae), *Teucrium polium* L. (Lamiaceae)...etc.. Elles se mêlent principalement à l'Alfa *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth (Poaceae). Ce sous-bois est inversement, corrélé significativement aux affluents de la surface du terrain, mais loin des pentes abruptes, et sur des sites bien ensoleillés. Quant aux éclaircies dans ce matorral, elles sont moyennement fréquentes sur les élévations.



Figure 34.- Vue de la station de Gaadet Madna (GMD)

III.1.7.8.- Station de Gaadet Anfous (GNF) ⑧

La station de Gaadet Anfous (fig. 35) est voisine à celle de Gaadet Madna. Elles constituent un paysage unique de matorral élevé arboré de Pin d'Alep. La formation végétale de la station de Gaadet Anfous est une formation pré-forestière constituant un matorral arboré de Pin d'Alep et de Genévrier de Phénicie, la densité des arbustes s'élèvent sur des terrains moyennement élevés, pentus (Mathaux, 2017; Rhanem, 2017), rugueux et bien ombragés (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004). Cette densité diminue sur les sites où se condensent sillons et ravins des eaux du ruissellement. Il est à noter que l'érosion prend de l'ampleur sur les terrains rocheux à pentes abruptes (Roose, 1994). Les pins et les espèces constituant le sous-bois sont indifférents aux variables topographiques mesurés dans cette station mais. Ils ont préférences pour

les pentes ombragées sur les mi-versants. Les éclaircies de la formation sont moyennement fréquentes dans les terrains bien ensoleillés et moins pentus.

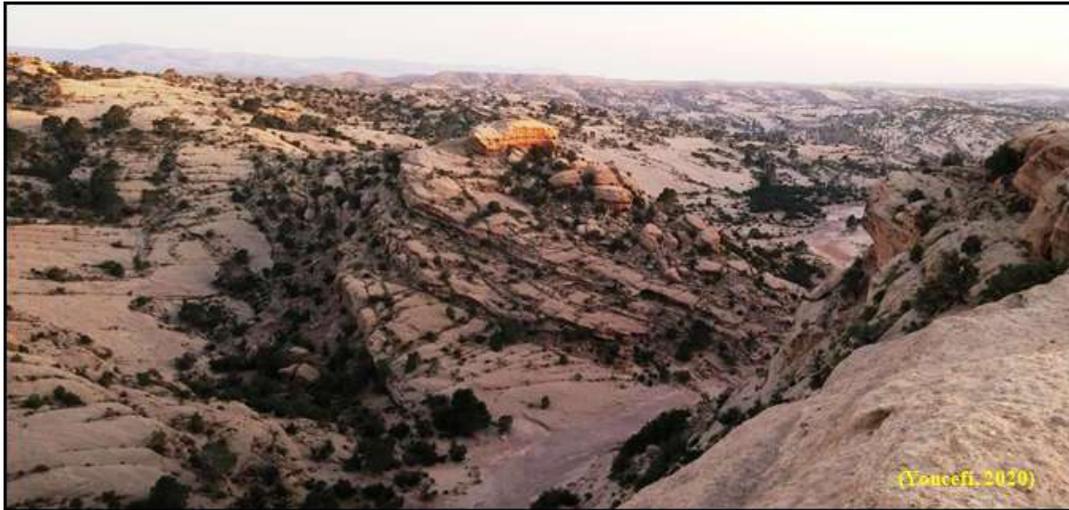


Figure 35.- Vue de la station de Gaadet Anfous (GNF)

III.1.7.9.- Station de Gaadet Ez-Zellidj (GZL) ⑨

La formation végétale de la station de Gaadet Ez-Zellidj (fig. 36), est une formation pré-forestière constituant un matorral clair et dégradé de Genévrier de Phénicie. La densité des arbustes et du sous-bois de la formation s'accroît sur des sites moyennement rocheux et ombragés (Joffre et Rambal 1993; Maestre et Cortina, 2003; Ludwig *et al.*, 2004). Les éclaircies de la formation sont plus fréquentes sur des terrains moins rocheux et bien ensoleillés.



Figure 36.- Vue de la station de Gaadet Ez-Zellidj (GZL)

III.2.- Approche phytoécologique par échantillonnage floristique

Le niveau de l'échelle parcellaire vise une analyse allant des individus jusqu'aux peuplements passant par toutes les populations présentes, une approche phytoécologique basée systématiquement sur l'échantillonnage floristique le long de transects de placettes nous a conduits à enregistrer d'une part des données environnementales stationnelles (abiotiques) et d'autre part des données sur les variations de la composition floristique et de la structure de la végétation (Gul *et al.*, 2001; Omer, 2004).

L'étude de la flore porte sur la réalisation des relevés phytoécologiques et le traitement des résultats par l'application d'indices écologiques. Elle s'appuie sur la technique du relevé phytosociologique de Braun-Blanquet qui consiste à dresser la liste des plantes présentes dans un échantillon représentatif et homogène du tapis végétal (Gillet, 2000).

La vision à l'échelle paysagère basée sur la physionomie, amène à choisir les éléments majeurs, significatifs, représentatifs et répétitifs du paysage végétal à étudier (Gillet, 2000). Puis, une vision à l'intérieur de l'élément paysager choisi, a guidé le choix d'emplacement des relevés et de leurs limites. Les critères fondamentaux de ce choix sont les trois (3) critères d'homogénéité (Gillet, 2000): Homogénéité floristique, homogénéité physionomique et homogénéité des conditions écologiques.

L'aire minimale est fixé à 4 ares (20 m × 20 m), en totalité, trente (30) relevés sont réalisés en six (06) transects tracés sur le versant Nord du Djebel Madna. Chaque transect a cinq (05) positions topographiques: fond du vallon, bas-versant, mi-versant, haut-versant et sommet dans le but de traverser toutes les physionomies végétales présentes. Six placettes (20 × 20 m² × 6) ont été établies dans chaque position topographique pour un total de 30 relevés. Données pour arbres et arbustes ont été collectées dans chaque placette, données pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux à partir de quatre (04) quadrats (10 × 10 m² × 4) dans la placette, et les données pour les herbacées ont été collectées à partir de quatre (04) quadrats (5 × 5 m² × 4) dans chaque quadrats des arbrisseaux et sous-arbrisseaux. Les trente (30) placettes ont contenu 120 quadrats d'arbrisseaux et sous-arbrisseaux et 480 quadrats d'herbacées, dans un total de 120 ares minutieusement échantillonnés (tab. 10, 11).

Tableau 10.- Variables floristiques

Variable	Description	Référence
Taux du recouvrement (<i>Co</i>)	<i>GCo</i> Recouvrement global de la végétation	
Richesse (<i>Ri</i>)	<i>Gri</i> Richesse spécifique totale	
Taux du recouvrement (<i>Co</i>):	<i>TCo</i> pour arbres	
	<i>LCo</i> pour arbustes	
	<i>SCo</i> pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux	
	<i>PCo</i> pour herbacées pérennes	
Richesse (<i>Ri</i>): Indice de Margalef	<i>Aco</i> pour herbacées annuelles	
	<i>Tri</i> pour arbres	
	<i>LRi</i> pour arbustes	
	<i>Sri</i> pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux	Marques (2008)
Diversité (<i>Di</i>): Indice de Shannon–Weiner	<i>PRi</i> pour herbacées pérennes	
	<i>Ari</i> pour herbacées annuelles	
	<i>TDi</i> pour arbres	Marques (2008)
	<i>LDi</i> pour arbustes	

	<i>SDi</i>	pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux	
	<i>PDi</i>	pour herbacées pérennes	
	<i>Adi</i>	pour herbacées annuelles	
Homogénéité (<i>Ho</i>): Indice de Pielou	<i>THo</i>	pour arbres	Marques (2008)
	<i>LHo</i>	pour arbustes	
	<i>SHo</i>	pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux	
	<i>PHo</i>	pour herbacées pérennes	
	<i>Aho</i>	pour herbacées annuelles	
Dominance (<i>Do</i>): Indice de Simpson	<i>TDo</i>	pour arbres	Ingram (2008)
	<i>LDo</i>	pour arbustes	
	<i>SDo</i>	pour arbrisseaux et sous-arbrisseaux	
	<i>PDo</i>	pour herbacées pérennes	
	<i>Ado</i>	pour herbacées annuelles	
Similarité (<i>J, β</i>): Indice de Jaccard	<i>J</i>	pour comparaison de deux habitats	Magurran (2004)
Indice de Sørensen	β_s	complément de (<i>J</i>)	
Indice de Whittaker	β_w	pour comparaison de plusieurs habitats	

Tableau 11.- Variables topographiques

Variable	Description	Référence
Altitude (<i>Ele</i>)	Elévation par rapport au niveau de la mer mesurée par Garmin <i>Dakota</i> GPS dans chaque placette (m).	
Gradient de pente (<i>Slp</i>)	Le gradient dans la direction de la pente maximale mesurée par GPS dans chaque placette (°)	
Affleurement rocheux (<i>Rck</i>)	Estimation sur le terrain du pourcentage de la couverture rocheuse dans la placette (%)	
Indice de Position Topographique (<i>Tpi</i>)	Le <i>Tpi</i> donne au paysage des classes topographiques discrètes. Les valeurs de TPI tendent vers (0) dans les sommets et (1) dans les dépressions (1).	Laamrani <i>et al.</i> (2014)

III.2.1. Caractéristiques des placettes échantillons

Les caractéristiques générales des placettes échantillonnées (position topographique, altitude, pente, affleurement rocheux, richesse totale et recouvrement de végétation) sont données dans le tableau suivant (tab. 12) :

Tableau 12.- Caractéristiques des placettes échantillons

Position Topographique	Numéro de placette	Altitude (m)	Pente (deg)	Affleurement rocheux (%)	Richesse totale	Recouvrement de végétation (%)		
						Global	Arbres, Arbustes	Sous-bois
Fond du vallon	1	1122	1	0	69	47,49	0	47,48
	6	1126	4	0	69	43,42	1,60	41,82
	11	1131	12	0	67	43,07	0	43,07
	16	1137	11	9	55	45,59	5,36	40,23
	21	1142	14	14,5	54	38,81	4,93	33,87
	26	1146	22	19,6	51	36,10	5,53	30,56

Bas-versant	2	1148	16	31,1	72	86,84	35,57	51,27
	7	1154	21	36	73	74,96	30,81	44,15
	12	1159	19	33,6	70	78,67	33,82	44,84
	17	1164	23	36,9	62	73,27	30,32	42,95
	22	1168	26	39,4	62	61,82	25,56	36,25
	27	1172	31	37,2	56	55,22	27,23	27,97
Mi-versant	3	1176	27	66,5	72	47,02	16,04	30,97
	8	1182	33	70,5	68	40,76	11,40	29,35
	13	1185	32	69,5	72	43,68	14,15	29,53
	18	1192	35	71,2	67	36,76	12,68	24,08
	23	1197	37	76,5	57	34,39	9,09	25,30
	28	1199	39	78,5	53	33,74	8,53	25,20
Haut-versant	4	1202	34	72,4	60	38,27	11,99	26,28
	9	1207	41	78,4	50	32,57	9,25	23,32
	14	1214	40	75,1	58	35,03	9,79	25,23
	19	1217	42	77,4	55	35,38	12,81	22,58
	24	1224	44	82,4	43	33,21	12,87	20,33
	29	1225	46	83,1	43	32,97	9,57	23,40
Sommet	5	1233	17	64,8	38	72,45	59,81	12,64
	10	1237	22,5	71,4	37	67,39	55,75	11,64
	15	1242	21,5	70,8	37	65,85	53,72	12,12
	20	1245	24,5	72,3	38	65,93	52,43	13,50
	25	1251	27,5	75,6	43	65,90	51,03	14,87
	30	1255	28	79,2	45	67,57	52,15	15,42

III.2.2. Caractéristiques floristiques et diversité des taxons

Les moyennes du recouvrement, de la hauteur et de la densité des arbres par placette sont de 6,36%, 6,8 m et 7,9. Celles des arbustes sont respectivement de 19,61%, 2,3 m et 9,3. Le recouvrement du sous-bois (arbrisseaux, sous-arbrisseaux et herbes) varie de 11,64 à 51,27%, avec une moyenne de 29%. La richesse spécifique varie de 37 à 73 entre les placettes, avec une richesse moyenne de 56,53. Les placettes contiennent un total de 123 espèces: 3, 2, 10 et 108 espèces respectivement d'arbres, d'arbustes, d'arbustes et d'herbes, appartenant à 95 genres et 32 familles. Les plus représentées sont les *Asteraceae*, *Poaceae* et *Fabaceae*, avec respectivement 36, 13 et 11 espèces (tab. 13).

Tableau 13.- Nombres d'espèces et de genres par famille

Familles	Genres	Espèces	Familles	Genres	Espèces
<i>Amaranthaceae</i>	1	1	<i>Fabaceae</i>	9	11
<i>Amaryllidaceae</i>	2	2	<i>Fagaceae</i>	1	1
<i>Anacardiaceae</i>	1	1	<i>Geraniaceae</i>	2	4
<i>Apiaceae</i>	4	4	<i>Lamiaceae</i>	5	6
<i>Asparagaceae</i>	2	2	<i>Malvaceae</i>	2	2
<i>Aspleniaceae</i>	1	1	<i>Nitrariaceae</i>	1	1
<i>Asteraceae</i>	25	36	<i>Pinaceae</i>	1	1
<i>Boraginaceae</i>	2	2	<i>Plantaginaceae</i>	2	3
<i>Brassicaceae</i>	3	5	<i>Poaceae</i>	12	13
<i>Caprifoliaceae</i>	1	1	<i>Primulaceae</i>	1	1

<i>Caryophyllaceae</i>	3	5	<i>Ranunculaceae</i>	1	1
<i>Cistaceae</i>	3	5	<i>Rhamnaceae</i>	1	1
<i>Crassulaceae</i>	2	3	<i>Rosaceae</i>	1	1
<i>Cupressaceae</i>	1	2	<i>Rubiaceae</i>	1	1
<i>Ephedraceae</i>	1	2	<i>Thymelaeaceae</i>	1	1
<i>Euphorbiaceae</i>	1	2	<i>Zygophyllaceae</i>	1	1
Total				95	123

III.2.3.- Evaluation de la structure verticale de la végétation (spectre biologique)

III.2.3.1.- Spectre biologique global

La structure verticale de la végétation est évaluée et analysée suivant le spectre biologique qui indique le taux de chacun des types biologiques définis par Raunkiaer (1934) dans la flore stationnelle. Cette analyse a porté sur:

- Phanérophytes (Ph) qui se divisent selon leurs hauteurs et leurs physionomies dans le milieu étudié, en: Mégaphanérophytes (MgPh), arbres supérieures à 10 m de hauteur dont *Pinus halepensis* Mill.; Mésophanérophytes (MsPh), arbres et arbustes de hauteur comprise entre 5 et 10 m tels que *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L. et *Pistacia atlantica* Desf.; les Microphanérophytes (McPh), arbres de hauteur comprise entre 2 et 5 m dont *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.; les Nanophanérophytes (NnPh) dont les tiges ligneuses ont entre 0,5 et 2 m de hauteur comme *Genista raetam* Forssk., *Rosa montana* Chaix et *Rosmarinus officinalis* L. ...etc.;
- Chaméphytes (Ch);
- Géophytes (Ge);
- Hémicryptophytes (He);
- et Thérophytes (Th).

Pour chaque type biologique le spectre est calculé en faisant le rapport de la somme d'un type au sein de chacun des groupements sur le nombre total des types pour ce groupement multiplié par 100.

Il est parfois difficile d'attribuer un type biologique à une espèce donnée notamment en ce qui concerne les géophytes. En effet, le cas de *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth est éloquent à cet égard car selon certains auteurs, il est considéré comme chaméphyte (Long, 1954), géophyte (Kadi-Hanifi, 1998) ou hémicryptophyte (Achour, 1983; Aidoud, 1989). En plaine, il se comporte comme une chaméphyte en développant des touffes concentriques et centrifuges, en maintenant constamment ses bourgeons de conservation au-dessus du sol. En sous-bois de matorral de l'Atlas saharien, comme dans la présente étude. Elle pousse selon une surface elliptique qui est en relation étroite avec la pente du terrain, et est considérée comme hémicryptophyte cespiteuse dont les touffes sont d'abord compactes puis évidées au centre (Aidoud, 1989; Quezel et Santa, 1962-1963).

D'après la liste globale des espèces recensées, la composition du spectre biologique brut (ou global) (fig. 37), montre une prédominance des thérophytes (45 taxons, soit 37%) sur les autres formes de vie. Cette richesse en thérophytes est une caractéristique des zones méditerranéennes et arides où domine un fort stress hydrique (Daget, 1980; Madonet Médail, 1996). En effet, la richesse en thérophytes représente un signe d'aridité du milieu (Nègre, 1966) et le phénomène de thérophytie est considéré par Daget (1980) comme une stratégie d'esquive des périodes défavorables. Les thérophytes sont prépondérants dans les trois secteurs de l'Atlas saharien, ceci est en accord avec

les conditions climatiques arides (100-400 mm) qui y règnent. Cette proportion élevée en thérophytes apparaît dans plusieurs travaux en zone méditerranéenne aride (Aidoud Lounis, 1984, 1997; Daninet Orshan, 1990; Floret *et al.*, 1990). Le taux de Thérophytes et son augmentation dans le temps pourrait servir d'indicateur d'aridification des conditions climatiques et d'ouverture du milieu (Sauvage, 1961, Gaussen, 1963, Dahmani, 1997 et Kadi-Hanifi, 1998), leur importance peut être liée aux perturbations du milieu par le pâturage, les cultures, etc. (Grime, 1977).

Les Hémicryptophytes, sont également bien représentées avec 35 taxons 28%. Elles semblent selon Barbéro *et al.* (1989) augmenter en milieu forestier et sur haute altitude suivant la richesse des sols en matière organique.

Les Chaméphytes viennent en troisième ordre d'importance avec 21 taxons 17%. Elles sont généralement plus fréquentes dans les matorrals alticoles sur substrat calcaire et les matorrals xériques méridionaux. Les Chaméphytes sont en effet, mieux adaptées aux basses températures et à l'aridité. Etant plus photophiles et plus xérophiles, leur proportion augmente dès qu'il y a dégradation des milieux forestiers car elles peuvent développer diverses formes d'adaptation à la sécheresse, se traduisant par la réduction de la surface foliaire et par le développement d'un puissant système racinaire (Orshan *et al.*, 1984; Floret *et al.*, 1990). Le pâturage semble ainsi favoriser de manière globale les chaméphytes faiblement appétant (Le Houérou, 1992).

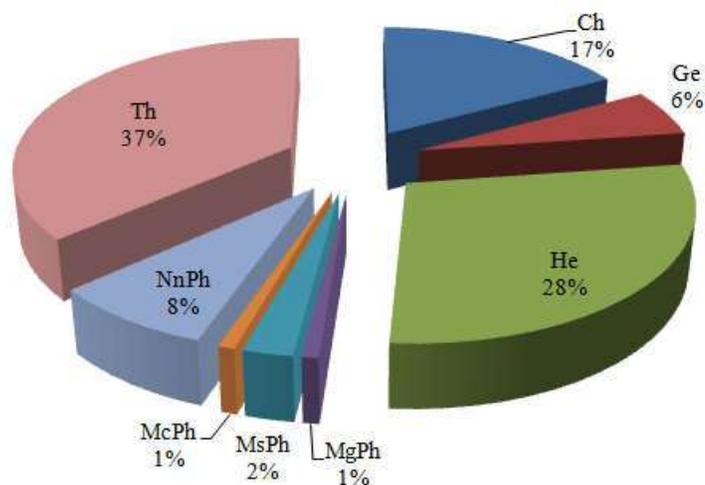


Figure 37.- Spectre biologique brut de la flore recensée

Les phanérophytes en global (MgPh, MsPh, McPh et NnPh) abondant avec 15 taxons soit 12% du total de la flore recensée, leur importance relative souligne le caractère forestier de la zone d'étude, et malgré leur faible diversité spécifique. Les phanérophytes dominent parfois par leur recouvrement et jouent de ce fait un rôle déterminant dans la mise en place d'un cortège floristique spécifique (Le Compte Barbet, 1975).

Les géophytes sont dans l'ensemble, les moins bien représentées avec 7 taxons, soit 6%, leur abondance signale également le caractère forestier de la formation végétale étudiée, et leur taux est toutefois, relativement plus faible dans les pelouses et les steppes (Barbero *et al.*, 1990; Danin et Orshan, 1990; Henaoui et bouazza, 2012; Merioua *et al.*, 2013). Les géophytes sont en effet, moins diversifiées en milieu dégradé (ouvert). Elles peuvent, dans certains cas de représentation à tendance monospécifique, s'imposer par leur recouvrement. Les géophytes augmentent avec la pluviosité et le froid dans les climats méditerranéens (Aidoud, 1989; Barbero *et al.*, 1990).

Selon Kadi-Hanafî (2003) le nombre de thérophytes et chaméphytes progresse tandis que celui des phanérophytes, des hémicryptophytes et des géophytes régresse avec l'aridité et l'ouverture du milieu. La sécheresse des années quatre-vingt-dix (Amyay *et al.*, 2012) ainsi que les déboisements volontaires organisés par l'Etat au cours de cette période (DGF, 2019), ont peut être accéléré les phénomènes de thérophytisation et de chaméphytisation du paysage végétal de la zone étudiée.

III.2.3.2. Spectres biologiques réels

Pour exprimer au mieux la structure de la végétation dans chaque topographie et pour se rapprocher de la réalité du terrain, il est établi un spectre biologique réel (pondéré) au sens de Carles (1949) qui tient compte du pourcentage de recouvrement réel de chaque type biologique.

La pondération des spectres biologiques dans chaque topographie par le recouvrement global (Carles, 1949; Long, 1954; Godron, 1968, Tuxenet Ellenberg, 1937 cités par Floret et Pontanier, 1982) a donné les résultats de la figure 38).

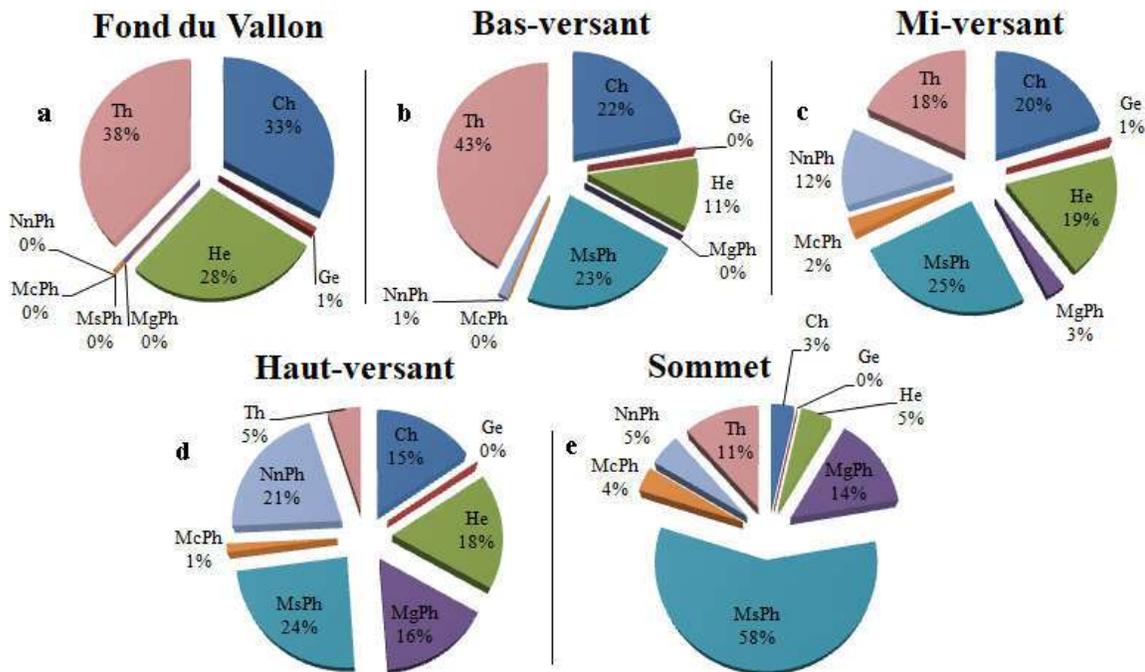


Figure 38 (a,b,c,d,e).- Spectres biologiques réels des espèces recensées dans chaque topographie

La lecture la plus commune du couvert végétal conduit à reconnaître une mosaïque d'unités élémentaires homogènes, pouvant se regrouper en unités de taille plus grande (Alexandre et Génin, 2012). L'examen de la figure 38 montre qu'à partir du fond du vallon jusqu'au sommet, la végétation est composée d'une mosaïque modelée différemment suivant l'altitude par les unités élémentaires suivantes: thérophytaie, chaméphytaie, hémicryptophytaie, géophytaie, et phanérophytaie; il est clair que la dominance des thérophytes et des chaméphytes diminue avec l'altitude alors que celle des phanérophytes, hémicryptophytes et des géophytes augmente. En effet, le milieu est ouvert en bas et plus ou moins fermé en haut par les canopées des arbres et arbustes qui dominent par leur recouvrement et jouent de ce fait un rôle déterminant dans la mise en place d'un cortège floristique spécifique (Le Compte Barbet, 1975). La diminution des thérophytes est interprétée par Danin et Orshan (1990) comme étant la résultante de l'augmentation du couvert des

espèces persistantes et surtout des phanérophytes. Généralement, le nombre de thérophytes et chaméphytes progresse avec l'aridité et l'ouverture du milieu tandis que celui des phanérophytes, des hémicryptophytes et des géophytes régresse (Sauvage, 1961, Gaussen, 1963, Dahmani, 1997 et Kadi-Hanifi, 1998). Les hémicryptophytes augmentent aussi en altitude suivant la richesse des sols en matière organique (Barbéro *et al.*, 1989), et les géophytes avec la pluviosité et le froid (Aidoud, 1989; Barbero *et al.*, 1990).

Les conséquences sur la végétation de la variation du climat avec l'altitude sont connues et indiscutables: la végétation change de bas en haut des versants par élimination successive des espèces des plaines et maintien ou apparition de quelques espèces susceptibles de résister aux conditions extrêmes de la haute altitude. D'une part, un rôle organisateur des gradients climatiques (et des gradients biophysiques induits) est affirmé et, d'autre part, la présentation de la végétation repose sur l'existence d'étages, bandes altitudinales homogènes identifiables à des traits physiologiques communs et définies par des complexes de communautés végétales (Alexandre et Génin, 2012).

III.2.4.- Spectre biogéographique

La flore de la zone d'étude comprend plusieurs types chorologiques (tab. 14). La nomenclature suivie est issue d'un travail de synthèse des travaux de Quézelet Santa (1962-1963), Celles (1975), Le Houérou (1995) et Dobignard (2008). Le type chorologique le plus représenté est l'ensemble Méditerranéen avec 61 espèces, soit 50% de la flore recensée. Pour l'ensemble Méditerranéen, l'élément phytochorique Méditerranéen est prépondérant avec 34 espèces; les éléments, Ouest-Méditerranéen, Ibéro-Mauritanien et Sténo-Méditerranéen regroupent 22 espèces. L'élément méditerranéen domine au niveau des secteurs de l'Atlas saharien (*sensu* Quézel et Santa, 1961-1962), mais une fois franchi l'Atlas saharien, on observe une diminution brusque de cet élément, de l'ordre de la moitié (Barryet Celles, 1972-1973; Ozenda, 1991).

Les espèces Plurirégionales (de large répartition) sont au nombre de 34, soit 27% du total de la flore. Ce sont des éléments intermédiaires entre deux ou trois régions phytochoriques. Les plus nombreuses correspondent aux espèces ayant des distributions Méditerranéenne-Atlantique et Méditerranéo-Saharo-Sindienne et qui sont au nombre de 7 chacune. L'infiltration de l'élément saharo-sindien s'explique par la proximité relative de la région d'étude par rapport à la bordure saharienne comme le soulignent la plupart des biogéographes (Capot-Rey, 1953; Barryet Celles, 1972-1973; Quézel, 1965). Cet élément est surtout présent au niveau des piedmonts sud de l'Atlas saharien amourien (Quézel, 1965). La limite entre la région méditerranéenne et le Sahara est classiquement fixée à l'isohyète 100 mm par Capot Rey (1953) et Quézel (1965). Les espèces de cet élément sont présentes dans les domaines méridional et septentrional du Sahara mais qui transgressent aussi dans le domaine maghrébin steppique telles que: *Aristida adscensionis* L., *Echinops spinosus* L., *Genista raetam* Forssk.,...etc.

L'élément irano-touranien *sensu stricto* est absent de la zone d'étude, tout comme dans l'ensemble du sud Oranais. En fait, les espèces considérées comme irano-touraniennes en Afrique du Nord ne seraient que des espèces à large répartition dont l'aire embrasse aussi bien la région méditerranéenne qu'irano-touranienne (Ozenda, 1982). Quézel (1978) considère que la faible représentation des taxons irano-touraniens rend impossible l'individualisation de la région floristique irano-touranienne en Afrique du Nord. Il en ajoute, le même auteur (1983) que l'élément irano-touranien est moins présenté en Afrique septentrionale avec seulement une quarantaine de taxons. Ainsi, si tous s'accordent sur la faible représentation de l'élément irano-touranien au

Maghreb, sa signification biogéographique et les modalités de sa mise en place restent toujours discutées en l'absence d'études phytogéographiques portant sur des végétaux steppiques communs à l'Asie centro-occidentale et à l'Afrique du Nord.

L'ensemble Nordique est représenté par 18 espèces, soit 15% du total de la flore, dont les éléments Eury-Méditerranéen, Européen-Méridional, Circum-Boréal et Eurasiatique comptent 16 espèces. Les éléments eurasiatiques forment le fond floristique majeur des régions tempérées, ils jouent un rôle important au Nord de la Méditerranée (Benabadji *et al.*, 2007). L'ensemble Endémique compte 10 espèces, soit 8% de la flore recensée, dont les éléments, Endémique-Nord-Africain et Endémique-Algéro-Marocain regroupent 9 espèces, et l'élément Endémique-Algérien une seule espèce. Selon Quézel (1983, 2002) la diversité biogéographique de l'Afrique méditerranéenne s'explique par les modifications climatiques subies depuis le Plio-Miocène ayant entraîné des migrations d'éléments d'origine méridionale; les éléments holarctiques et eurasiatiques, leur présence s'explique par les multiples migrations contemporaines des grandes phases glaciaires pliopleistocènes. Les éléments méditerranéens ont une part importante de la flore nord-africaine actuelle.

Tableau 14.- Importance des éléments phytogéographiques dans la flore recensée

Ensembles chorologiques	Nbr.	%	Ensembles chorologiques	Nbr.	%
Espèces méditerranéennes <i>Sous total</i>	61	50	Espèces Plurirégionales <i>Sous total</i>	34	27
Est-Méditerranéen	1		Cosmopolite	1	
Ibéro-Baléares-Sicilien-Nord Africain	1		Eurasiatique-Algéro-Marocain	1	
Ibéro-Mauritanien	4		Eurasiatique-Méditerranéen	1	
Ibéro-Mauritano-Sicilien	1		Eurasiatique-Méridional	2	
Méditerranéen	34		Eurasiatique-Tempéré	1	
Oro-Méditerranéen	1		Euro-Méditerranéen	1	
Ouest-Méditerranéen	16		Ibéro-Mauritano-Macaronésien	1	
Sicile-Afrique du Nord-Lybie	1		Macaronésien-Méditerranéen	1	
Sténo-Méditerranéen	2		Macaronésien-Méditerranéen-Asie Occidentale	1	
Espèces Nordiques <i>Sous total</i>	18	15	Méditerranéen-Atlantique	7	
Circum-Boréal	3		Méditerranéo-Irano-Touranien	1	
Eurasiatique	3		Méditerranéo-Saharo-Sindien	7	
Européen-Méridional	4		Paléo-Subtropical	2	
Européen-Occidental	1		Sahara-Afrique-du-Sud	1	
Eury-Méditerranéen	6		Saharo-Arabique	1	
Sud-Européen	1		Saharo-Sindien	2	
Espèces Endémiques <i>Sous total</i>	10	8	Sub-Méditerranéen-Eurasiatique	1	
Endémique-Algérien	1		Thermo-Cosmopolite	2	
Endémique-Algéro-Marocain	3				
Endémique-Nord-Africain	6				
Total				123	100

III.2.5.- Exploitation des résultats

L'objectif est de mettre en relief les attributs structuraux des matorrals de la région de Djebel Amour et les données sont axées sur les variations spatiales de la couverture végétale (structure) et de la diversité spécifique (composition) le long des gradients topographiques pour la communauté végétale du fond du vallon jusqu'au sommet. Il est réalisé une analyse statistique de quatre étapes: Analyse en Composantes Principales (ACP), Classification Ascendante Hiérarchique (AHC), Analyse unidirectionnelle de variance (ANOVA), Analyse Canonique de Corrélation (CCA) et une Analyse de régression linéaire multiple.

III.2.5.1.- Caractéristiques floristiques et topographies

Les cinq premières composantes principales (valeurs propres $N > 1$) identifiées par l'ACP expliquent 94,75% de la variance totale, les deux premières représentant 79,75% (tab. 15). Les corrélations ont indiqué que chaque composante principale est associée à des indices floristiques ($N > 0.55$).

Tableau 15.- Corrélation, valeurs propres et pourcentage cumulé de l'ACP

Facteur	Composante principale				
	1	2	3	4	5
<i>Ele</i>	-0,9667	0,0020	0,2222	0,0172	-0,0107
<i>Tpi</i>	0,9527	-0,0390	-0,2239	-0,1227	0,0722
<i>Slp</i>	-0,5489	-0,6834	0,2555	0,0972	0,1908
<i>Rck</i>	-0,8392	-0,3582	0,3080	0,2184	0,0975
<i>GCo</i>	0,0225	0,8534	0,3803	0,1992	0,0885
<i>GRI</i>	0,8219	-0,2157	0,1853	0,4671	-0,0521
<i>ADo</i>	0,8471	0,4415	-0,0567	0,1423	-0,0217
<i>PDo</i>	-0,4049	0,2557	0,6066	-0,5111	-0,2293
<i>TDo</i>	-0,6282	0,6153	-0,3709	0,2088	0,0696
<i>LDo</i>	-0,6223	0,6232	-0,3761	0,2276	0,0815
<i>SDo</i>	-0,8574	0,1404	-0,4045	0,1804	0,0017
<i>ADi</i>	0,9400	0,2317	-0,0183	0,2016	0,1094
<i>PDi</i>	-0,6520	-0,7251	-0,1697	0,0320	0,0079
<i>TDi</i>	-0,8295	0,5080	-0,1278	0,0785	-0,0495
<i>LDi</i>	-0,7760	0,6026	-0,0761	0,0941	0,0375
<i>SDi</i>	-0,9370	-0,2310	-0,1263	0,1680	-0,0706
<i>ACo</i>	0,9579	0,1783	0,0077	0,1830	-0,0241
<i>PCo</i>	0,5344	-0,5813	-0,4955	-0,2927	-0,1396
<i>TCo</i>	-0,8736	0,0996	0,0881	-0,1490	-0,2127
<i>LCo</i>	-0,5230	0,6524	0,4092	0,1685	0,2641
<i>SCo</i>	-0,5668	-0,7766	0,0109	0,1392	-0,0747
<i>ARi</i>	-0,0892	-0,7873	0,2089	0,4310	-0,2443
<i>PRi</i>	0,7798	-0,1892	0,0604	0,5549	-0,0499
<i>TRi</i>	-0,3787	-0,7407	0,0786	0,3237	0,0533
<i>LRi</i>	0,1391	-0,5431	-0,0713	-0,2090	0,7256

<i>SRi</i>	0,7947	0,2041	-0,1156	0,0834	-0,3387
<i>AHo</i>	0,9353	0,2531	-0,0467	0,1719	0,1362
<i>PHo</i>	-0,7408	-0,6301	-0,1947	-0,0276	0,0058
<i>THo</i>	-0,8209	0,5234	-0,1385	0,0731	-0,0466
<i>LHo</i>	-0,7736	0,6058	-0,0949	0,0840	0,0306
<i>SHo</i>	-0,9498	-0,1688	-0,1462	0,1457	-0,0731
Valeur propre	16,9694	7,7533	1,9023	1,7271	1,0213
de variance (%)	54,7401	25,0106	6,1365	5,5713	3,2945
Cumulative (%)	54,7401	79,7507	85,8873	91,4586	94,7531

Notes: Voir tableaux 10 et 11 pour définitions des abréviations. Les corrélations (>0,55) entre une variable et une composante principale sont en gras.

La première composante est associée à trois (03) indices topographiques *Ele*, *Tpi* et *Rck*, et à vingt (20) indices floristiques *GRi*, *ADo*, *TDo*, *LDo*, *SDo*, *ADi*, *PDi*, *TDi*, *LDi*, *SDi*, *ACo*, *TCo*, *SCo*, *PRi*, *SRi*, *AHo*, *PHo*, *THo*, *LHo* et *SHo* (tableaux 10 et 11 pour les définitions des abréviations). La deuxième composante est associée à un (01) facteur topographique *Slp* et à douze (12) indices floristiques *GCo*, *TDo*, *LDo*, *PDi*, *LDi*, *PCo*, *LCo*, *SCo*, *ARi*, *TRi*, *PHo* et *LHo*; les trois dernières composantes sont associés à un seul indice spécifique chacune, sont respectivement: *PDo*, *PRi* et *LRi*. Certains indices floristiques ne sont pas étroitement liés aux indices topographiques.

Cette étape d'analyse a permis d'éliminer les informations redondantes, et les indices les plus importants liés à la topographie sont identifiés par l'étape suivante de l'analyse statistique.

III.2.5.2. Distribution topographique

La Classification Ascendante Hiérarchique (AHC) basée sur les indices sélectionnés par l'ACP a regroupé les placettes en cinq (05) groupes à des distances de Ward de 10 à 15 (fig. 39).

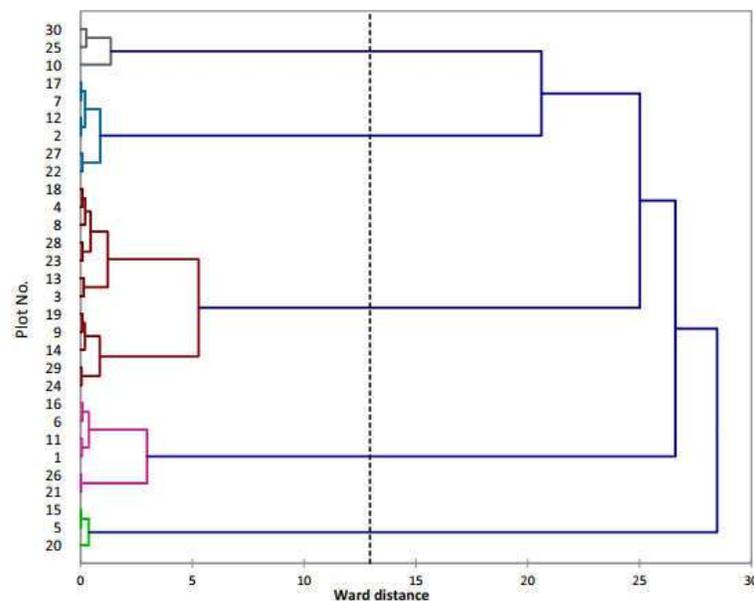


Figure 39.- Dendrogramme de l'AHC de 30 placettes en utilisant la méthode de Ward

Les cinq (05) groupes appartiennent à quatre (04) positions topographiques, deux (02) groupes sur les sommets: placettes 10, 25, 30 et placettes 5, 15, 20; un (01) groupe sur les pentes raides (mi-versant et haut-versant): placettes 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18, 19, 23, 24, 28, 29; un (01) groupe en bas-versant: placettes 2, 7, 12, 17, 22, 27; et le dernier groupe: les placettes 1, 6, 11, 16, 21, 26 au fond du vallon. Les caractéristiques floristiques de chaque groupe sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 16.- Moyenne \pm écart type des indices floristiques dans les quatre topographies

Variable	ANOVA	Fond du vallon	Bas-versant	Pente-raide	Sommet
	<i>F</i>				
<i>GCo</i>	70.308*	42.414 \pm 4.246	71.800 \pm 11.492	36.98 \pm 4.62	67.517 \pm 2.541
<i>GRi</i>	27.255*	60.833 \pm 8.352	65.833 \pm 6.824	58.16 \pm 10.11	39.667 \pm 3.445
<i>ADo</i>	32.667*	0.053 \pm 0.0210	0.062 \pm 0.013	0.011 \pm 0.012	0.010 \pm 0.007
<i>PDo</i>	29.851*	0.023 \pm 0.010	0.026 \pm 0.003	0.030 \pm 0.005	0.138 \pm 0.130
<i>TDo</i>	63.359*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.0003 \pm 0.0002
<i>LDo</i>	119.104*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.0006 \pm 0.0005
<i>SDo</i>	44.207*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.002 \pm 0.001	0.004 \pm 0.003
<i>ADi</i>	49.150*	2.550 \pm 0.327	2.790 \pm 0.200	1.255 \pm 0.692	0.655 \pm 0.184
<i>PDi</i>	40.246*	1.845 \pm 0.346	1.485 \pm 0.301	3.173 \pm 0.494	2.382 \pm 0.301
<i>SDi</i>	72.468*	0.025 \pm 0.019	0.047 \pm 0.024	0.567 \pm 0.177	0.678 \pm 0.199
<i>PCo</i>	99.503*	62.804 \pm 3.408	25.081 \pm 2.066	41.983 \pm 5.511	11.276 \pm 1.256
<i>TCo</i>	23.014*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	8.672 \pm 7.530	19.259 \pm 2.075
<i>LCo</i>	79.947*	7.252 \pm 6.835	42.854 \pm 3.256	22.364 \pm 5.726	60.907 \pm 4.141
<i>SCo</i>	40.304*	0.839 \pm 0.492	1.380 \pm 0.421	15.012 \pm 4.372	5.760 \pm 1.199
<i>ARi</i>	12.307*	5.741 \pm 0.526	5.748 \pm 0.391	6.990 \pm 0.401	5.628 \pm 0.470
<i>PRi</i>	20.346*	6.093 \pm 0.796	6.341 \pm 0.556	5.841 \pm 0.979	4.271 \pm 0.332
<i>TRi</i>	17.726*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	35.48 \pm 13.633	9.566 \pm 0.951
<i>LRi</i>	3.926*	22.693 \pm 25.027	17.577 \pm 1.335	27.050 \pm 3.271	8.867 \pm 0.836
<i>SRi</i>	8.602*	18.203 \pm 9.832	15.767 \pm 2.374	8.249 \pm 1.843	5.778 \pm 0.382

L'ANOVA a indiqué que les caractéristiques floristiques diffèrent considérablement d'un groupe à l'autre (annexe 5). Les indices sont généralement plus élevés dans le bas-versant et le fond du vallon, et plus faibles dans le sommet et les pentes raides. Les résultats des indices de similarité obtenus entre les topographies sélectionnées par l'AHC sont présentés dans le tableau 17. Les faibles valeurs de J et β_S , sont obtenues là où le nombre d'espèces similaires est plus faible, contrairement à β_W , les valeurs faibles sont obtenues lorsque le nombre espèces similaires est élevé (Magurran, 2004).

La comparaison de la diversité entre les topographies montre que quel que soit l'indice utilisé, la similitude est plus élevée lors du croisement des topographies qui se succèdent dans le paysage montagnard (FV. vs. BV.), indiquant une présence d'espèces spécialistes en plus petite proportion par rapport aux espèces généralistes; et ainsi, la similarité est plus faible lors du croisement des topographies éloignées les unes des autres (S. vs. FV.), indiquant que les topographies ont des conditions environnementales différentes et déterminent un renouvellement d'espèces dominantes (de Bello *et al.*, 2007).

Tableau 17. Indices de similarité entre les topographies

	<i>FV. vs BV.</i>	<i>BV. vs PR.</i>	<i>PR. vs S.</i>	<i>FV. vs PR.</i>	<i>S. vs BV.</i>	<i>S. vs FV.</i>
<i>J</i>	0.72	0.61	0.52	0.40	0.25	0.09
β_s	0.83	0.76	0.68	0.57	0.40	0.17
	<i>FV.</i>	<i>BV.</i>	<i>PR.</i>	<i>S.</i>		
β_w	0.50	0.47	0.53	0.77		

III.2.5.3. Facteurs topographiques clés influençant la distribution des espèces

Le tableau 18 montre les trois (03) coefficients de corrélation canoniques de l'ACC dérivés des variables floristiques et topographiques sélectionnées par l'ACP. Seuls les premier et deuxième coefficients de corrélation canoniques sont statistiquement significatifs ($p < 0,05$).

Les corrélations entre les variables initiales et les variables canoniques pour les espèces et la topographie sont présentées dans le tableau 19 et la figure 40.

Tableau 18.- Paramètres statistiques de l'Analyse Canonique de Corrélation

No.	Coefficient de corrélation	Wilks' λ	X^2	<i>Df</i>	<i>P</i>
1	0.998	0.0000	17.643	57	< 0.0001
2	0.986	0.0046	6.8580	36	< 0.0001
3	0.909	0.1723	2.8255	17	0.05

Tableau 19.- Corrélation entre les variables initiales et les variables canoniques

Facteur	Composante Principale	
	1	2
<i>GCo</i>	-0,0998	-0,5639
<i>GRi</i>	-0,5793	0,5820
<i>ARo</i>	-0,8615	-0,0211
<i>PDo</i>	0,3695	-0,4904
<i>TDo</i>	0,3388	-0,6956
<i>LDo</i>	0,3270	-0,6983
<i>SDo</i>	0,6571	-0,3796
<i>ADi</i>	-0,8728	0,2216
<i>PDi</i>	0,7270	0,3488
<i>SDi</i>	0,8938	-0,1242
<i>PCo</i>	-0,5405	0,4616
<i>TCo</i>	0,7714	-0,4736
<i>LCo</i>	0,4615	-0,5448
<i>SCo</i>	0,7367	0,4891
<i>ARi</i>	0,3697	0,6555
<i>PRi</i>	-0,5696	0,5490
<i>TRi</i>	0,5958	0,5880

<i>LRi</i>	0,0059	0,5611
<i>SRi</i>	-0,7962	0,0588
<i>Ele</i>	0,9472	-0,3142
<i>Slp</i>	0,7919	0,5298
<i>Rck</i>	0,9874	0,1456

Les variables avec un coefficient $> 0,55$ sont (voir matrice de corrélation en annexe 6, fig. 40): *GCo*, *GRI*, *ADo*, *TDo*, *LDo*, *SDo*, *ADi*, *PDi*, *SDi*, *TCo*, *SCo*, *ARi*, *PRi*, *TRi*, *LRi* et *SRi* pour les espèces, et *Ele*, *Rck*, et *Slp* pour la topographie; *PDo*, *PCo*, *LCo* ont des coefficients faibles. *Ele* est la seule variable topographique influençant la distribution en *GRI*, *PCo*, *LCo* et *PRi*. *Ele* et *Rck* sont les principales variables topographiques influençant la distribution en *SDo* et *TCo*; *Ele*, *Rck* et *Slp* sont les principales variables topographiques influençant la distribution en *ADo*, *ADi*, *PDi*, *SDi*, *SCo* et *SRi*; *Slp* et *Rck* sont donc les principales variables topographiques influençant la distribution en *TRi*; cependant, *Slp* est la seule variable topographique influençant la distribution en *ARi*.

Les indices floristiques sélectionnés en ACP et ACC sont traités par une analyse de régression linéaire multiple pour déterminer comment les facteurs topographiques affectent la distribution des espèces (tab. 20).

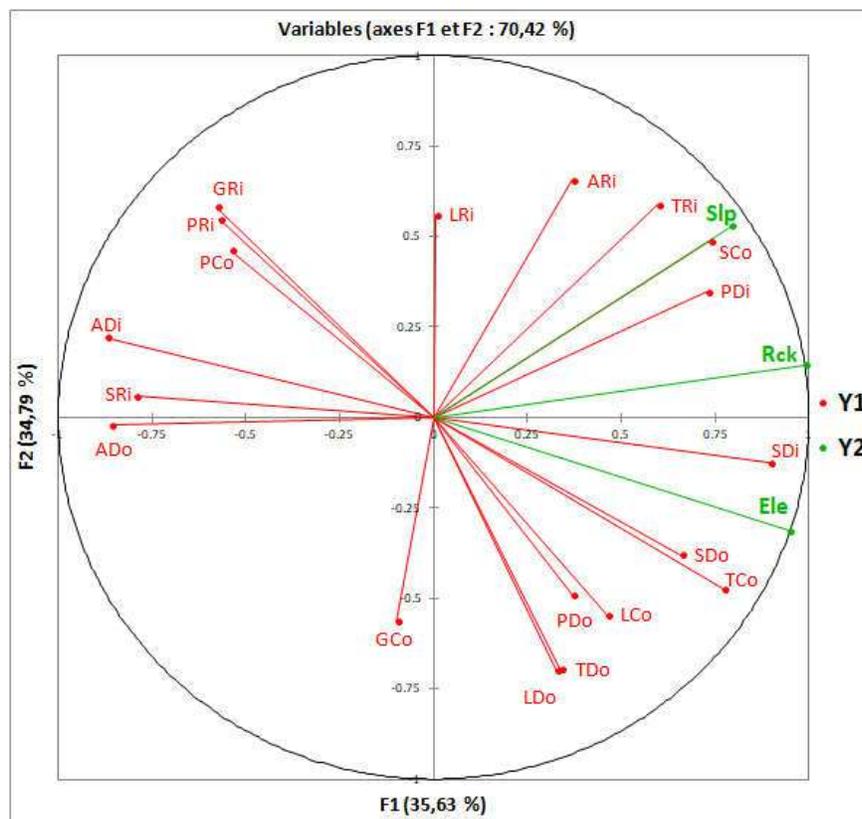


Figure 40.- Analyse Canonique des Corrélations

Tableau 20.- Modèles linéaires de la relation entre les facteurs topographiques et les indices floristiques par analyse de régression multiple

Variable	Nombre de modèles	Equation	R ²	p
<i>GCo</i>	1	$GCo = (-1.1) Slp + (0.219) Ele - 179.689$	0.38	0.002
<i>GRi</i>	1	$GRi = (-0.223) Ele + 321.236$	0.56	<0.001
	2	$GRi = (0.393) Rck + (-0.465) Ele + 587.815$	0.74	<0.001
	3	$GRi = (-0.45) Slp + (0.66) Rck + (-0.55) Ele + 686.67$	0.78	<0.001
<i>ADo</i>	1	$ADo = (-0.001) Rck + 0.073$	0.71	<0.001
<i>TDo</i>	1	$TDo = (1.93)^{-6} Ele - 0.002$	0.27	0.003
	2	$TDo = (-9.42)^{-6} Slp + (3.57)^{-6} Ele - 0.004$	0.62	<0.001
<i>LDo</i>	1	$LDo = (3.8)^{-6} Ele - 0.004$	0.26	0.004
	2	$LDo = (-1.92)^{-5} Slp + (7.15)^{-6} Ele - 0.008$	0.62	<0.001
<i>SDo</i>	1	$SDo = (4.4)^{-5} Ele - 0.051$	0.55	<0.001
<i>ADi</i>	1	$ADi = (-0.022) Ele + 27.280$	0.82	<0.001
<i>PDi</i>	1	$PDi = (0.056) Slp + 0.946$	0.67	<0.001
<i>SDi</i>	1	$SDi = (0.007) Ele - 7.928$	0.78	<0.001
<i>TCo</i>	1	$TCo = (0.190) Ele - 218.807$	0.78	<0.001
	2	$TCo = (-0.145) Rck + (0.280) Ele - 317.429$	0.83	<0.001
<i>SCo</i>	1	$SCo = (0.522) Slp - 6.168$	0.76	<0.001
<i>ARi</i>	1	$ARi = (0.038) Slp + 5.229$	0.33	0.001
<i>PRi</i>	1	$PRi = (-0.019) Ele + 28.328$	0.54	<0.001
	2	$PRi = (0.033) Rck + (-0.039) Ele + 50.789$	0.71	<0.001
	3	$PRi = (-0.049) Slp + (0.062) Rck + (-0.049) Ele + 61.585$	0.77	<0.001
<i>TRi</i>	1	$TRi = (1.121) Slp - 13.444$	0.50	<0.001
<i>SRi</i>	1	$SRi = (-0.182) Rck + 20.934$	0.60	<0.001

Vingt-deux (22) modèles linéaires sont construits pour quinze (15) variables floristiques ($p < 0,05$). *Ele*, *Slp* et *Rck* participent à l'analyse de régression linéaire multiple des indices floristiques sélectionnés, et ils sont entrés dans les modèles, avec des coefficients de détermination (R^2) de 0,26-0,83. *Ele* est entré dans seize (16) modèles de neuf (09) variables floristiques, *Rck* est entré en sept (07) modèles de cinq (05) variables floristiques et *Slp* entré en neuf (09) modèles de neuf (06) variables floristiques.

Ces résultats impliquent que la relation entre la topographie et la distribution des espèces peut être quantifiée par un modèle linéaire. L'élévation, l'affleurement rocheux et la pente sont les principaux facteurs topographiques affectant la distribution des espèces, mais l'influence de l'élévation en est la plus importante.

La deuxième classification ascendante hiérarchique (AHC) basée sur des valeurs préparées de densités et de fréquences d'espèces dans les topographies sélectionnées a regroupé les espèces en quatre groupes à des distances de Ward de 10 à 15. Les caractéristiques de l'AHC et des groupes d'espèces spécialistes qui correspondent aux topographies sont présentées dans le tableau 21.

Tableau 21. Caractéristiques de la classification ascendante hiérarchique (AHC) et groupes d'espèces végétales spécialistes aux topographies

Classe 1: Fond du vallon					
Objets	Somme des poids	Variance intra-classe	Distance minimale au barycentre	Distance moyenne au barycentre	Distance maximale au barycentre
41	41	0.175	0.160	0.371	1.002
- <i>Allium paniculatum</i> L. - <i>Aristida pungens</i> Desf. - <i>Artemisia campestris</i> L. ssp. <i>eu-campestris</i> Briq. et Cav. - <i>Artemisia herba-alba</i> Asso - <i>Carduus chevallieri</i> Barrante - <i>Carduus nutans</i> L. ssp. <i>macrocephalus</i> (Desf.) Gugler - <i>Crypsis aculeata</i> (L.) Aiton - <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. - <i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf. - <i>Echinops spinosus</i> L. - <i>Erodium laciniatum</i> (Cav.) Willd. - <i>Euphorbia falcata</i> L. - <i>Ferula communis</i> L. - <i>Genista raetam</i> Forssk.	- <i>Helianthemum lippii</i> (L.) Dum.Cours. - <i>Hypochaeris radicata</i> L. - <i>Launaea nudicaulis</i> (L.) Hook. f. - <i>Launaea fragilis</i> (Asso) Pau - <i>Leontodon tuberosus</i> L. - <i>Lygeum spartum</i> L. - <i>Macrochloa tenacissima</i> (L.) Kunth - <i>Neatostema apulum</i> (L.) I.M.Johnst. - <i>Muscari comosum</i> (L.) Mill. - <i>Myosotis pusilla</i> Loisel. - <i>Ononis natrix</i> L. - <i>Onopordum acanthium</i> L. - <i>Onopordum acaulon</i> L. - <i>Paronychia arabica</i> subsp. <i>cossoniana</i> (J.Gay ex Batt.) Batt.	- <i>Paronychia argentea</i> Lam. - <i>Peganum harmala</i> L. - <i>Picris hispanica</i> (Willd.) P.D.Sell - <i>Plantago albicans</i> L. - <i>Plantago ovata</i> Forssk. - <i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC. - <i>Scolymus grandiflorus</i> Desf. - <i>Scorzonera undulata</i> subsp. <i>undulata</i> Vahl - <i>Stipa parviflora</i> Desf. - <i>Thapsia garganica</i> L. - <i>Thymelaea microphylla</i> Coss et Dur. - <i>Tribulus terrestris</i> L. - <i>Trifolium glomeratum</i> L.			
Classe 2: Bas-versant					
Objets	Somme des poids	Variance intra-classe	Distance minimale au barycentre	Distance moyenne au barycentre	Distance maximale au barycentre
37	37	0.099	0.086	0.281	0.591
- <i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb. - <i>Alyssum scutigerum</i> Durieu - <i>Anacyclops valentinus</i> L. - <i>Androsace maxima</i> L. - <i>Andryala integrifolia</i> L. - <i>Anisantha rubens</i> (L.) Nevski - <i>Aristida adscensionis</i> L. - <i>Astragalus peregrinus</i> subsp. <i>warionis</i> (Gand.) Maire - <i>Astragalus hamosus</i> L. - <i>Atractylis cancellata</i> L. - <i>Atractylis humilis</i> L. - <i>Avena sterilis</i> L. - <i>Bombycilaena discolor</i> (Pers.) M.La	- <i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P.Beauv. - <i>Calendula arvensis</i> L. - <i>Crepis claryi</i> Batt. - <i>Crepis pulchra</i> L. - <i>Diplotaxis harra</i> (Forssk.) Boiss. - <i>Diplotaxis virgata</i> (Cav.) DC. - <i>Ephedra fragilis</i> Desf. - <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. - <i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav. - <i>Filago desertorum</i> Pomel - <i>Herniaria hirsuta</i> L. - <i>Hippocrepis ciliata</i> Willd. - <i>Hordeum murinum</i> L.	- <i>Lavatera cretica</i> L. - <i>Lomelosia stellata</i> (L.) Raf. - <i>Malva aegyptia</i> L. - <i>Medicago minima</i> (L.) L. - <i>Narcissus cantabricus</i> subsp. <i>monophyllus</i> (Durieu) A.Fern. - <i>Pallenis cuspidata</i> Pomel - <i>Pallenis hierichuntica</i> (Michon) Greuter - <i>Salvia verbenaca</i> subsp. <i>clandestina</i> (L.) Batt. - <i>Scolymus hispanicus</i> L. - <i>Trigonella polyceratia</i> L. - <i>Vicia monantha</i> subsp. <i>calcarata</i> (Desf.) Romero Zarco			
Class 3: Pente-raïdes					
Objets	Somme des poids	Variance intra-classe	Distance minimale au barycentre	Distance moyenne au barycentre	Distance maximale au barycentre
30	30	0.066	0.070	0.228	0.574
- <i>Alyssum montanum</i> L. - <i>Arenaria aggregata</i> (L.) Loisel. - <i>Artemisia atlantica</i> Coss. - <i>Asparagus acutifolius</i> L. - <i>Asplenium ruta-muraria</i> L. - <i>Bupleurum spinosum</i> Gouan - <i>Cistus creticus</i> L. - <i>Ephedra major</i> Host - <i>Euphorbia bivonae</i> Steud. - <i>Fumana ericoides</i> subsp. <i>montana</i> (Pomel) G. - <i>Geranium lucidum</i> L.	- <i>Globularia alypum</i> L. - <i>Helianthemum apenninum</i> subsp. <i>croceum</i> (Desf.) G.López - <i>Inula montana</i> L. - <i>Launaea lanifera</i> Pau - <i>Leontodon balansae</i> Boiss. - <i>Paronychia chlorothyrsa</i> var. <i>chlorothyrsa</i> Murb. - <i>Phagnalon saxatile</i> (L.) Cass. - <i>Pimpinella tragiium</i> Vill. - <i>Poa flaccidula</i> Boiss.et Reut. - <i>Polycnemum fontanesii</i> Durieu et Moq.	- <i>Ranunculus spicatus</i> subsp. <i>rupestris</i> (Guss.) Maire - <i>Rhamnus lycioides</i> L. - <i>Rosmarinus officinalis</i> L. - <i>Salvia verbenaca</i> L. - <i>Sedum album</i> L. - <i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau - <i>Teucrium polium</i> subsp. <i>thymoides</i> (Pomel) Batt. - <i>Thymus algeriensis</i> Boiss.et Reut. - <i>Umbilicus horizontalis</i> (Guss.) DC.			

Classe 4: Sommet					
Objets	Somme des poids	Variance intra-classe	Distance minimale au barycentre	Distance moyenne au barycentre	Distance maximale au barycentre
15	15	0.120	0.102	0.301	0.581
- <i>Carthamus pinnatus</i> Desf. - <i>Catananche caerulea</i> L. - <i>Cistus libanotis</i> L. - <i>Galium aparine</i> L. ssp. <i>spurium</i> (L.) Hartm - <i>Geranium pyrenaicum</i> Burm.f.		- <i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench - <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>oxycedrus</i> L. - <i>Juniperus phoenicea</i> L. - <i>Lotus glinoides</i> Delile - <i>Medicago laciniata</i> (L.) Mill. - <i>Pinus halepensis</i> Mill.		- <i>Pistacia atlantica</i> Desf. - <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp. - <i>Rosa montana</i> Chaix - <i>Taraxacum atlanticum</i> Pomel	

III.2.6.- Approche phytocécologique par échantillonnage floristique

La distribution des espèces dans le matorral diffère considérablement d'une topographie à l'autre. L'AHC a regroupé les distributions pour quatre topographies (Fond du vallon, Bas-versant, Pente-raide et Sommet), indiquant qu'elles ont des conditions environnementales différentes et déterminent un renouvellement des espèces dominantes. La plupart des indices floristiques sont plus élevés pour le Bas-versant, suivis du Fond du vallon, et plus faibles pour le Sommet et les Pentes-raides. Enright *et al.*, 2005, Kebede *et al.*, 2013, Wang *et al.*, 2015, et Al-Aklabi *et al.*, 2016 ont rapporté des résultats similaires respectivement au Pakistan, en Ethiopie, en Chine et en Arabie saoudite.

La corrélation canonique et les analyses de régression linéaire multiples ont identifié l'élévation suivie de l'affleurement rocheux et de la pente comme les facteurs topographiques les plus importants, influençant la distribution des espèces en accord avec les résultats des études précédentes (Nevo *et al.*, 1999; Fu *et al.*, 2004; Wiser et Buxton, 2009; Lan *et al.*, 2011; Kebede *et al.*, 2013).

Le nombre total d'espèces au fond du vallon est de 80 avec une moyenne par placette de 60,83. La couverture végétale moyenne est de 42,41% principalement dominée par des herbacés vivaces de 62,80%, suivies par des herbacés annuels de 29,10%. Le groupe de plantes spécialistes a réuni 41 espèces essentiellement composées d'herbacés vivaces à 60,97% et annuels à 36,58%. Cette dominance des herbacés vivaces est due à la faible couverture végétale, en particulier des plantes supérieures (Grouzis *et al.*, 1997). De ce fait la végétation est dominée de thérophytes et de chaméphytes qui progressent avec l'aridité et l'ouverture du milieu, avec des hémicryptophytes principalement l'Alfa qui forme une végétation basse et touffueuse.

Le nombre total d'espèces dans le Bas-versant est de 95 avec une moyenne par placette de 65,83. La couverture végétale moyenne est de 71,80% dominée par les arbustes 42,85% et les herbacés annuels 30,68%. Le groupe de plantes spécialistes a réuni 37 espèces composées en grande partie d'herbacés annuels 86,48%, avec peu de vivaces 10,81% et d'arbrisseaux 2,70%. La prédominance des herbacés annuels dans le Bas-versant est due à la forte couverture végétale (Grouzis *et al.*, 1997), en particulier des arbustes du Genévrier rouge qui ont une interaction facilitatrice (Brooker *et al.*, 2008). Le Bas-versant présente le plus grand nombre d'espèces parce que la plupart des espèces répertoriées dans toutes les topographies poussent ici mais avec une abondance plus ou moins importante, Boeken *et al.*, 1998 ont rapporté que l'interception de l'écoulement des eaux de ruissellement par les rigoles d'en amont affecte la diversité végétale, la densité et la production de biomasse. Le faible nombre de plantes spécialistes est dû aux faibles densités et fréquences des espèces qui sont plus abondantes dans d'autres topographies constituant

leurs habitats d'origine.

La végétation du sous-bois dans le Fond du vallon et le Bas-versant est principalement composée d'espèces steppiques typiques qui forment le cortège habituel des steppes nord-africaines à *Artemisia herba-alba* Asso., à *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth et à *Lygeum spartum* L. comme: *Alyssum scutigerum* Durieu, *Avena sterilis* L., *Bombycilaena discolor* (Pers.) Lainz, *Eruca vesicaria* (L.) Cav., *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér., *Filago desertorum* Pomel, *Helianthemum lippii* (L.) Dum.Cours., *Onopordum acanthium* L., *Onopordum acaulon* L., *Plantago albicans* L., *Plantago ovata* Forssk., *Thymelaea microphylla* Coss et Dur. et *Tribulus terrestris* L. ...etc. (Le Houérou, 1995).

Il est à noter que les densités de *Juniperus phoenicea* L. et de *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth varient peu entre les différentes topographies et sont les espèces les plus répandues dans les matorrals du Djebel Amour, Kadik (1983) et Le Houérou (1995) ont rapporté qu'elles sont des espèces typiques dans les matorrals de l'Atlas saharien.

Le nombre total d'espèces sur les Pente-raides est de 92 avec une moyenne par placette de 58,17. La couverture végétale moyenne n'est que de 36,98%, principalement dominée par des herbacés vivaces 41,98% et d'arbustes 22,36%. Cette faible couverture est due à l'affleurement rocheux élevé 66,5–83,1%, et à la pente qui est la plus importante 27-46. Le groupe de plantes spécialistes a réuni 30 espèces largement composées d'herbacés pérennes (73,33%) et d'arbrisseaux et sous-arbrisseaux (20%) qui préfèrent les sites rocheux escarpés (Quezel et Santa, 1963; Le Houérou, 1995) comme: *Artemisia atlantica* Coss., *Bupleurum spinosum* Gouan, *Cistus creticus* L., *Globularia alypum* L., *Inula montana* L., *Paronychia chlorothyrsa* var. *chlorothyrsa* Murb., *Rosmarinus officinalis* L., *Sedum album* L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *Teucrium polium* subsp. *thymoides* (Pomel) Batt., *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. et *Umbilicus horizontalis* (Guss.) DC., etc.

Selon Olsvig-Whittaker *et al.*, 1983, la végétation des pentes est constituée d'arbrisseaux épars avec une couverture moyenne de 30 à 50% dans un bassin versant du désert du Néguev. Enright *et al.*, 2005, ont rapporté que la végétation des pentes rocheuses contient une richesse spécifique et un couvert végétal relativement faibles dans le désert du Pakistan. Le nombre total d'espèces élevé enregistré ici est dû au nombre élevé de placettes (12) par rapport aux autres groupes (6), car le nombre d'espèces augmente avec le site d'échantillonnage (Magurran, 2004).

La couverture végétale moyenne sur le sommet est de 67,52% essentiellement dominée par les arbustes 60,91% et les arbres 19,26%, le nombre total d'espèces est de 49 avec une moyenne par placette faible 39,67 en raison de l'élévation et à l'effet de compétition des arbres (Sardans *et al.*, 2004) et en particulier aux effets négatifs de *Pinus halepensis* Mill. (Maestre *et al.*, 2003); le groupe de plantes spécialistes réunit 15 espèces montagnardes, y compris des herbacés vivaces particulièrement adaptées comme *Carthamus pinnatus* Desf., *Catananche caerulea* L., *Helichrysum stoechas* (L.) Moench, quelques herbacés annuels adaptés comme *Galium aparine* ssp. *spurium* (L.) Hartm et *Medicago laciniata* (L.) Mill., arbustes de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L. et les arbres tels que *Pinus halepensis* Mill., *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. et *Pistacia atlantica* Desf. (Quezel et Santa, 1963).

La relation entre la topographie et la distribution des espèces pourrait être quantifiée par un modèle de régression linéaire (Wang *et al.*, 2015). Dix-sept (17) modèles linéaires (tab. 20) ont été construits pour onze (11) variables floristiques et trois (03) facteurs topographiques, l'altitude,

l'affleurement rocheux et le gradient de pente expliquent 26 à 83% de la variance de la distribution. Mais d'autres facteurs peuvent également influencer la distribution, comme l'humidité (Xu *et al.*, 2008), le sol et le climat (Kirkpatrick *et al.*, 2014).

La restauration des écosystèmes et la gestion des matorrals semi-arides dans la région de Djebel Amour doit donc considérer la relation entre la topographie et la distribution des espèces. L'adaptation des plantes aux topographies peut renforcer la résilience des écosystèmes. Les plantes peuvent améliorer directement les environnements notamment le sol en améliorant la disponibilité ou la capture des nutriments (Erktan et Rey, 2013). Les plantes peuvent également protéger la qualité du sol en réduisant sa perte (Zhang *et al.*, 2014). Dans les environnements secs à arides, certaines « *plantes-nurses* » améliorent la qualité et l'épaisseur du sol (et de l'humus le cas échéant) sous leur ombre, ce qui diminue les besoins de lutte compétitive pour la ressource. Elles augmentent la quantité d'eau biodisponible, car l'évapotranspiration est réduite pour les autres plantes qui poussent à l'ombre de leur couvert alors qu'elles peuvent elles-mêmes aller chercher de l'eau à des dizaines de mètres de profondeur parfois, en entretenant donc un microclimat un peu plus clément. Leurs racines, décolmatant le sol, facilitent aussi la circulation de l'eau, et la réserve en eau du sol, tout en limitant son érosion. Elles peuvent aussi collecter une partie de la rosée qui se forme sur leurs feuilles, troncs, aiguilles... (Callaway, 1995). L'accès aux ressources par ces espèces facilitatrices (puis par d'autres espèces) est en outre souvent dopé par des symbioses ou mutualisme avec des microorganismes (bactéries fixatrices d'azote, champignons mycorrhiziens) (Boucher *et al.*, 1982). À l'inverse, les topographies remodelées peuvent faciliter le recrutement et l'installation de plantes (Gao *et al.*, 2011). Cette boucle de rétroaction peut ainsi conduire les écosystèmes à des niveaux de succession plus élevés (Lin *et al.*, 2014).

Conclusion

Conclusion générale

Les formations forestières de la région de Djebel Amour, à travers les résultats obtenus de l'approche phytogéographique, montrent que les formations végétales boisées de la région sont majoritairement pré-forestières. Elles constituent des matorrals (maquis) parfois hauts, arborés de Pin d'Alep qui ne croit que dans le centre du djebel où il est en refuge des influences sahariennes et soumis plutôt aux influences montagnardes à Kef El-Guelta, Gaadet Madna et celle d'Anfous. Les Chênes verts ne sont plus prédominants, ne forment que de petits groupes, rarement des bouquets issus souvent de drageons ou de rejets d'anciennes cépées, les Pistachiers de l'Atlas se rencontrent épars et fréquemment sur les rochers.

L'essence type, presque exclusive souvent, est le Genévrier rouge qui forme des boisements très clairs, d'une densité généralement inférieure à 100 arbres à l'hectare. Cette densité s'accroît souvent sur les élévations pentues et ombragées souvent d'exposition Nord, Nord-ouest et Ouest. Cependant il est possible de rencontrer quelques caroubiers aux abords des sources et des oueds très encaissés avec même quelques exemplaires isolés, en agrégat ou en petits groupes de Pistachier lentisque et d'Arbousier commun, sur les élévations, le Cade et vers le Sud quelques sujets parsemés d'Olivier sauvage, espèces typiquement méditerranéennes qui se mêlent à un sous-bois constitué certes d'arbrisseaux et de sous-arbrisseaux aussi méditerranéens tels que le Romarin et la Globulaire...etc. mais essentiellement dominé par les plantes de la steppe, au premier chef l'Alfa. Le long des oueds croissent des Lauriers roses et des Tamaris avec le Rtem et le Drinn qui enfoncent leurs racines dans les sables qu'accumulent les vents et les torrents constituant une ripisylve plus ou moins dense. Le reste des plantes appartient à la petite végétation herbacée touffue ou buissonnante de la steppe, surtout les deux Armoises, le Sparte, la Passerine et le Buplèvre épineux, etc.

A travers l'approche phytoécologique à l'échelle parcellaire, la distribution des espèces diffère considérablement d'une topographie à l'autre, indiquant des conditions environnementales (stationnelles) différentes et déterminant un remplacement des espèces dominantes. Les bas-versants sont colonisés par la plupart des espèces présentes dans la communauté végétale, mais seules quelques espèces persistent aux

pententes abruptes du mi-versant et du haut-versant jusqu'au sommet. La faible couverture de végétation (36,98%) est enregistrée sur ces pententes, cela est dû peut être à la forte érosion du sol et à l'affleurement rocheux (66,5–83,1%). La faible richesse spécifique moyenne est enregistrée sur les sommets des versants (39,67), cela peut être expliqué par l'influence d'altitude et l'effet compétitif des arbres du Pin. Le paramètre élévation suivie d'affleurement rocheux puis de la pente sont respectivement les principaux facteurs topographiques affectant la distribution des plantes dans ces environnements.

La relation entre la topographie et la distribution des espèces peut être décrite par un modèle linéaire. Dix-sept (17) modèles linéaires sont formulés pour onze (11) variables floristiques et trois (03) facteurs topographiques, l'élévation, l'affleurement rocheux et le gradient de pente qui expliquent 26 à 83% de la variance de la distribution des espèces, pareillement quatre (04) groupes d'espèces végétales sont répertoriés selon les différentes topographies.

La convenance des espèces végétales à une telle topographie doit être considérée lors des travaux de restauration des matorrals semi-arides dans la région d'étude. Les résultats de la présente étude seront utiles aux différents acteurs (décideurs, gestionnaires etc..) pour sélectionner les espèces appropriées et les sites potentiels à l'ensemencement pour restaurer la flore et la végétation autochtones et améliorer la santé des écosystèmes des massifs du Djebel Amour.

Des études plus poussées sur les sols, la disponibilité en eau et sur les microclimats dans les paysages des massifs du Djebel Amour sont nécessaires pour clarifier encore le mécanisme de distribution des plantes dans les matorrals semi-arides.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Achour H., 1983.- Etude phytoécologique des formations à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud oranais. Wilaya de Saïda, Thèse 3e cycle, U.S.T.H.B., Alger, 216 p.
- Adams R. P. 2014.- Junipers of the World, 4th ed. Trafford, Bloomington, 415 p.
- Agence de l'Eau Seine Normandie, 2006.- Cartographie des zones à dominante humide. Tech. rep., AESN, 7 p.
- Aidoud A., Slimani H., Aidoud-Lounis F. et Touffet J., 1999. Changements édaphiques le long d'un gradient d'intensité de pâturage dans une steppe d'Algérie. Ecol. Mediterr., 25: 163-171.
- Aidoud A., 1983.- Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud oranais : Phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Doct. 3 ème Cycle, U.S.T.H.B. Alger, 245 p.
- Aidoud A., 1989.- Les écosystèmes pâturés des hautes plaines Algéro-oranaises. Fonctionnement, évaluation, et évolution des ressources végétales. Thèse doct. État, Université des Sciences et Technologies H. Boumediène, Alger, 240 p.
- Aidoud A., 1994.- Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo 370 16: 33-42.
- Aidoud-Lounis F., 1984.- Contribution à la connaissance des groupements à Sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais. Etude écologique et syntaxonomique. Thèse 3ème cycle. Univ. des Sciences et Technologies H. Boumediène, Alger, 253p + Annexe.
- Aidoud-Lounis F., 1997.- Le complexe alfa-armoïse-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.
- Alados C. L., Puigdefábregas J. and Martínez-Fernández J., 2011.- Ecological and socioeconomical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain, J. Arid Environ. 75 (2011) 1368-1376.
- Al-Aklabi A., Al-Khulaidi A. W., Hussain A., Al-Sagheer N., 2016.- Main vegetation types and plant species diversity along an altitudinal gradient of Al Baha region, Saudi Arabia, Saudi J. Biol. Sci. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.007>.
- Alday J. G., Marrs R. H., Martinez-Ruiz C., 2010.- The importance of topography and climate on short-term revegetation of coal wastes in Spain, Ecol. Eng. 36, Pp 579-585.
- Alexandre F. et Génin A., 2012.- Les niveaux d'organisation du couvert végétal, question géographique et écologique. P. Martin (éd.). Les échelles pour les géographes et les autres - Avignon, UMR 7300 ESPACE et Groupe Dupont, Volume numérique CD-Rom, Pp 59-65.
- Alvarez A., 2012.- Utilisation et traitement des données MNT LiDAR pour la modélisation hydraulique et l'étude hydrogéomorphologique dans le cadre de la Directive Européenne 2007/60/CE relative aux risques d'inondation. Mémoire de fin d'étude, ESGT, 49 p.
- Amyay M., Nouaceur Z., Tribak A., Obda K. H. et Taous A., 2012.- Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes dans le moyen Atlas marocain et ses marges. In : Actes du XXVème colloque international de climatologie (Grenoble), Pp. 75-80.
- Bureau National d'Etude pour le Développement Rural, 2011. Rapport annuel sur les zones forestières de l'Algérie. BNEDER, 135 p.

- Bagnouls F. et Gaussen H., 1953.- « Saison et indice xérothermique ». Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 88: 193-240.
- Bale C. L., Charley J. L., 1994.- The impact of aspect on forest floor characteristics in some Eastern Australian sites. *Forest Ecol Manag* 67: 305-317. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90025-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(94)90025-6).
- Bale C. L., Williams J. B., Charley J. L. 1998.- The impact of aspect on forest structure and floristics in some Eastern Australian sites. *Forest Ecology and Management*, 110: 363-377.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R. et Quezel P., 1989.- Sclerophyllous *Quercus* forests of the mediterranean area : Ecological and ethological significance. *Bielefelder ökol. Beitr.* 4: 1-23.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R. et Quezel P., 1990.- Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean basin. *Vegetatio* 87: 151-173.
- Barnaud G. et Lepewre J. C., 1992.- « L'écologie, avec ou sans l'homme ? », in : Jolliet M.(éd.), Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières, Paris, CNRS, p 69-112.
- Barry J. P. et Celles J. C., 1972-1973.- Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien. *Nat. Monsp., sér. Bot*, 23-24: 5-48.
- Barry J. P., Celles J. C. et Faurel L., 1974.- Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000e. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger*, 42 p.
- Barry J. P., Faurel L., 1968.- Carte de la végétation de l'Algérie au 1/500 000. Feuille de Ghardaia. Impr. EMCO, Marseille. Fac. Sc. Univ., de Nice. 9 p.
- Bartoli C., 1966.- Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne. *Annales des Sciences Forestières*, 23: 1-321.
- Benabadji N., Benmansour D. et Bouazza M., 2007.- La flore des monts d'Ain Fezza dans l'ouest algérien, biodiversité et dynamique. *Sc. et Tech.* 26: 47-59.
- Benabid A., 1984.- Etude phytoécologique des peuplements forestières y préforestiers du Rif centro-occidental (Maroc). Travaux de l'institut scientifique. Serie Botanique, n° 34, Rabat, 64p.
- Bennie J., Huntley B., Wiltshire A., Hill M. O., and Baxter R., 2008.- Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecol. Model.* 216, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.04.010>.
- Bettahar A., 2009.- Les accidents majeurs de l'Atlas saharien central et les structures associées. Thèse de Doctorat d'Etat, USTHB, Alger, 210 p.
- Beven K. J., Wood E. F. and Sivapalan M., 1988.- On hydrological heterogeneity: catchment morphology and catchment response, *J. Hydrol.*, 100 : 353-375.
- Beven K. J., Kirkby M. J., 1979.- A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrology Science Bulletin* 24(1) : 43-69.
- Bishop M. P., James L. A., Shroder J. F. and Walsh S. J., 2012.- Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology*, v.137(1): 26.
- Boeken B., Lipchin C., Gutterman Y. and Van Rooyen N., 1998.- Annual plant community responses to density of small-scale soil disturbances in the Negev Desert of Israel, *Oecologia*, Pp 114.106.
- Böhner J., Antonic O., 2009.- Land surface parameters specific to topo-climatology, in: A.E.

- Hartemink, A.B. McBratney (Eds.), *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications*, Elsevier, Amsterdam, Pp 195-226.
- Quézel P., Bonin G., 1980.- Les forêts feuillues du bassin méditerranéen ; constitution, écologie, situation actuelle, perspectives. *Rev. For. Fr.* 32: 253-268.
- Bonin G. et Taton Th., 1990.- Réflexions sur l'apport de l'analyse factorielle des correspondances dans l'étude des communautés végétales et de leur environnement. *Ecol. Medit.*, 16: 403-414.
- Bonneau M., Timbal J., 1973.- Définition et cartographie des stations; conception française et étrangères. *Ann. Sci. forest*, 30 (3): 201-218.
- Boucher D. H., James S. and Keeler K. H., 1982.- The ecology of mutualism (L'écologie du mutualisme). *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 315-347.
- Bouhar R., 2001.- Etude phytoécologique, cartographie et aménagement du Massif des Babors. Mémoire de Magister. Univ. F. Abbas, Sétif, 110 p.
- Bourbouze A., Donadieu R., 1987.- L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes. CIHEAM. IIAM, Montpellier, 104 p.
- Bouzillé J. B., 2007.- «Gestion des habitats naturels et biodiversité ». Editions tec et Doc, 331p.
- Bradford J. B., Jensen N. R., Domke G. M., Damato A. W., 2013.- Potential increases in natural disturbance rates could offset forest management impacts on ecosystem carbon stocks, *For. Ecol. Manag.* 308. 178-187.
- Braun-Blanquet J., 1915.- Les Cévennes méridionales (Massif de l'Aigoual). Étude phytogéographique. (Étude sur la végétation méditerranéenne I). Genève : Société générale d'Imprimerie, 208 p.
- Braun-Blanquet J., 1919.- Essai sur les notions d'élément et de territoire phyto-géographique, *Arch. Sc. Ph. et Nat.*, 208 p.
- Braun-Blanquet J., 1928. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Julius Springer Verlag., Berlin, 330 p.
- Braun-Blanquet J., 1951.- *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde*. Springer Edit. Wien, 2e édit, 631 p.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde*. Springer, Wien, New York, 865 p.
- Brooker R.W., Maestre F. T., Callaway R. M., Lortie C. J., Cavieres L. A., Kunstler G., Liancourt P., Tielborger K., Travis J. M. J., Anthelme F., Armas C., Coll L., Corcket E., Delzon S., Forey E., Kikvidze Z., Olofsson J., Pugnaire F. I., Quiroz C. L., Saccone P., Schiffers K., Seifan M., Touzard B., Michalet R., 2008 Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future, *J. Ecol.* 96 : 18-34.
- Brunet R., 1969.- « Le quartier rural, structure régionale » in *Revue de Géographie des Pyrénées et du sud-ouest*, 40 (1): 81-100.
- Bruno J. F., Stachowicz J. J. et Bertness M. D., 2003.- Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology et Evolution*, 18, 119-25.
- Burrough P. A., et McDonnell R. A., 1998.- *Principles of Geographical Information Systems* (Oxford University Press, New York), 190 p.

- Burt T. P., Butcher D. P., 1985.- Topographic controls of soil moisture distributions. *J. Soil Sci.*, 36: 469-486.
- Callaway R. M. et Walker L. R., 1997.- Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78: 1958-1965.
- Callaway R. M., 1995.- Positive interactions among plants (Les interactions positives entre les plantes) ; Interpreting botanical progress. *The Botanical Review* 61: 306-349.
- Caloz R. et C. Collet., 2001.- Traitements numériques d'images de télédétection. *Précis de Télédétection*, vol. 3. Sainte-Foy, Pr. de l'Université du Québec, 386p.
- Caloz R. et Pointet A., 2003.- Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance: synthèse et cas d'étude. *Télédétection*, vol. 3, n° 2-3-4: 311-322.
- Camarero J. J., Manzanedo R. D., Sanchez-Salguero R., Navarro-Cerrillo R. M., 2013.- Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests. *Ann. For. Sci.* 70 (8): 759-769, <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0321-9>.
- Camps G., 1986.- « Amour (djebel) », chap. A, dans *Encyclopédie berbère*, vol. 4: Alger - Amzwar, Aix-en-Provence, Edisud, (ISBN 2-85744-282-3): 600-604.
- Capot-Rey R., 1953.- *Le Sahara français*. Paris, P.U.F., 564p.
- Cardinale B. J., Srivastava D. S., Duffy J. E., Wright J. P., Downing A. L., Sankaran M. et Jouseau C., 2006.- Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443: 989-992.
- Carles J., 1949. Le spectre biologique réel. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 951 : 340-343.
- Cavender-Bares, J., Kozak, K. H., Fine, P. V. A. et Kembel, S. W., 2009.- The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12: 693-715.
- Celles J. C., 1974.- Etude de la végétation des confins Sahara-constantinois (Algérie). 1^{ère} partie : Analyse statistique préliminaire de la matrice des données floristiques. *Ann. Muséum hist. nat., Nice*, 2 : 3-14.
- Celles J. C., 1975.- Contribution à l'étude de la végétation des confins saharoconstantinois (Algérie). Thèse de doctorat d'Etat Nice, IvoI. multigr., 364 p.
- Chaumont M., Paquin C., 1971.- Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500. 000. Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord et Faculté des Sciences d'Alger.
- Chen J. M., Blanken P. D., Black T. A., Guilbeault M. and Chen S., 1997.- Radiation regime and canopy architecture in a boreal aspen forest, *Agric. For. Meteorol.*, 86: 107-125.
- Chessel D., Debouzie D., Donadieu P., and Klein D., 1975.- Introduction à l'étude de la structure horizontale en milieu steppique. *Echantillonnage systématique par distance et indice de régularité. (Ecologia Plantarum)*, 10:25-42.
- Chettih M. 1995.- Simulation par modèle hydrodispersif des écoulements souterrains et des variations de salinité dans l'aquifère alluvial de la vallée du M'Zi. Thèse de doctorat en hydrogéologie. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne, Alger, 110p.
- Choler P., 2002.- The distribution of *Carex curvula* dominated communities in Europe: an attempt at a functional and historical interpretation. Thesis, University of Joseph Fourier, Grenoble 1, France, 241-253.
- Chuyong G. B., Kenfack D., Harms K. E., Thomas D. W., Condit R., Comita L. S., 2011.-

- Habitat specificity and diversity of tree species in an African wet tropical forest. *Plant Ecol* 212:1363-1374.
- Cook C. D. K., 1966.- Studies in *Ranunculus* subgen. *Batrachium* (DC.) A. Gray. III. *Ranunculus hederaceus* L. and *R. omiophyllus* Ten. *Watsonia* 6 (4): 246-259.
- Côte M., 1996.- Guide d'Algérie : paysages et patrimoine. Média-Plus, Algérie, ISBN : 9961-922-00-X (rel.), 319 p.
- Coutagne A., 1943.- L'évaporation du sol et le déficit d'écoulement considérés du point de vue hydrographique, agronomique et climatologique. *La Météorologie*, juillet-décembre, Pp 125-146.
- Crawley M. J., 1997.- Plant-herbivore dynamics. In *Plant ecology* (ed. M. J. Crawley), Pp. 401-474. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Cresson R., Gaetano R. Formation aux applications de l'Orfeo ToolBox (OTB), Version 2.2, Maison de la Télédétection, 23-25.
- Cronk, J.D., Endrizzi, J.A., Cronk, M.R., O'Neill, J.W., Zhang, K.Y., 2001. Crystal structure of *E. coli* beta-carbonic anhydrase, an enzyme with an unusual pH-dependent activity. *Protein Sci.* 10, 911-922.
- Daget P. et Poissonet J., 1997.- Biodiversité et végétation pastorale. *Revue Elev. Med. vet. Pays tropes.*, 50 (2): 141-144.
- Daget P., 1980.- Sur les types biologiques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). *Rech. Ecol. Théor.* Ed. Maloine, Paris, Pp. 89-114.
- Daget P., 1982.- Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés. Ed :Masson, collection d'écologie 18, Paris, N.Y., 163p.
- Dahmani M. M., 1984.- Contribution à l'étude des groupements de chêne vert des monts de Tlemcen (Ouest algérien). Approche phytosociologique et phytoécologique. Thèse Doct. 3ème Cycle. Univ. H. Boumediene, Alger, 238.
- Dahmani M., 1997.- Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediterranea.* XXII (3/4): 19-38.
- Dajoz R., 1996.- Précis d'écologie, Paris, Dunod, 6ème édition, 551 p.
- Dajoz, R., 2006.- Précis d'écologie. 8e édition, Paris, 631 p.
- Danin A., Orshan G., 1990.- The distribution of Raunkiaer life forms in relation to the environment. *Journal of Vegetation Science* 1: 41- 48.
- Davidson O., Tyani L., Afrane-Okesse Y., 2002.- Climate change, sustainable development and energy: future perspectives for South Africa. EDRC, Cape Town. *Climate Change and Development.* OECD. 129-144.
- Daws M. I., Mullins C. E., Burslem D. F. R. P., Paton S. R., Dalling J. W., 2002.- Topographic position affects the water regime in a semideciduous tropical forest in Panama. *Plant and Soil* 238: 79-90.
- De Bello F., Lepš J., Lavorel S. et Moretti M., 2007.- Importance of species abundance for assessment of trait composition: an example based on pollinator communities. *Community Ecol.*, 8: 163-170.
- De Bello F., Lavorel S., Lavergne S., Albert C.H., Boulangeat I., Mazel F., Thuiller W., 2013 Hierarchical effects of environmental filters on the functional structure of plant communities: a

- case study in the French Alps, *Ecography* 36. 393-402.
- Dedinski M. D. et Holt R. D., 2000.- A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology*, Vol. 14, No. 2: 342-355
- Debrach J., 1953.- Notes sur les climats du Maroc occidental. *Maroc Méridiona*, (32): 1122-1134.
- Delpech R., Dume G., Galmiche P., 1985.- Typologie des stations forestières : vocabulaire. Direction des Forêts ; Institut pour le Dév. forestier, Paris, 243 p.
- Descroix L., 2002.- Le rôle de l'homme dans l'entretien et la dégradation des sols des régions à faible densité de population; analyse à travers trois cas de figures. *Revue de Géographie de Québec*, vol. 46, n°128 :215-235.
- Despois J., 1957.- Le Djebel Amour (Algérie). Publications de la faculté des lettres d'Alger. IIe série, Tome XXXV, 158p.
- Direction Générale des Forêts, 2020.- Conservation des Forêts de la wilaya de Laghouat. Circonscription des Forêts d'Aflou.
- Di Castri F., 1981. Mediterranean-type shrublands of the world. In Di Castri, F. (eds), *Mediterranean-type Shrublands*. Elsevier, Amsterdam, 1-52.
- Diaz S., Noy-Meir I., Cabido M., 2001.- Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits ? *Journal of Applied Ecology*, 38: 497-508.
- Dilem A., 1992.- Contribution à l'étude du déterminisme de quelques propriétés de base du bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Thèse doct. INPL, Académie de Nancy-Metz, 132 p.
- Djebaili S., 1978.- Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algériens. Thèse Doct. Etat, Univ. Sei. Techn. Languedoc, Montpellier, 220p.
- Djebaili S., 1984.- Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office des publications universitaires (OPU), Alger, 182 p.
- Djellouli Y. et Djebaili S., 1984.- Synthèse sur les relations flore-climat en zone aride. *Bull. Soc. bot. Fr., Actual. bot.*, 131, 2, 3, 4: 249-264.
- Djellouli Y. et Nedjraoui D., 1995. Evolution des parcours méditerranéens. In pastoralisme, troupeau, espaces et société. Ed Hatier, Pp 440-454.
- Djellouli Y., 1981.- Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud-oranais, Wilaya de Saïda. Comportement des espèces vis-à-vis des éléments du climat. Thèse Doct. 3ème cycle, Alger, Univ. Sei. Techn., H. Boumedienne, 178p.
- Dobignard A., 2008.- Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord. Base de données des plantes à fleurs d'Afrique. Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève-South African National Biodiversity Institute (<http://www.villege.ch/cjb/bd/africa.index.php?langue=Fr>), dernière mise à jour janvier 2008.
- Dubief J., 1959.- Le climat du Sahara. Tome 1. Mém. Inst. Rech. Sahar. (Mémoire hors série), Université d'Alger, Algérie, 312 p.
- Dubief J., 1963.- Le climat du Sahara. Tome 2. Mém. Inst. Rech. Sahar. (Mémoire hors série), Université d'Alger, Algérie, 275 p.
- Durant J. F., Launois M., Launois-Luong M. H. et Lecoq M., 1982.- Manuel de prospection

acridienne en zone tropicale sèche. De la théorie à la pratique. Ministère des Relations Extérieures, Coopération et développement / GERDAT : Paris. Vol. 1 et 2, Pp 1496.

Dyer J., 2009.- Assessing topographic patterns in moisture use and stress using a water balance approach. - *Landscape Ecol.*, 24: 391 - 403.

Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique E.N.E.M.A., 1976.

Ediriweera S., Danaher T., Pathirana S., 2016.- The influence of topographic variation on forest structure in two woody plant communities: A Remote Sensing approach. *Forest Systems*, Volume 25, Issue 1, e049. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016251-07123>.

Ellenberg H., 1956.- Aufgaben and Methoden der Vegetationskunde. In: Walter, H., ed. *Einführung in die Phytologie*. Bd. IV, Teil 1., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 382 P.

Emberger L., 1955.- Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot. Fac. Sci., Montpellier* 7: 3-43.

Emberger L., 1966.- Une classification biogéographique des climats. *Recherches et Travaux des Laboratoires de Géologie, Botanique et Zoologie, Faculté des Sciences Montpellier*, 7: 1-43.

Emberger L., 1971.- Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. In : *Travaux de botanique et d'écologie*, EMBERGER L., ed. Masson. 291-301.

Enright N.J., Miller B.P. and Akhtar R., 2005. Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar national park, Sindh, Pakistan, *J.A.E.*61., Pp 397-418.

Erktan A., Rey F., 2013.- Linking sediment trapping efficiency with morphological traits of *Salix* tiller barriers on marly gully floors under ecological rehabilitation, *Ecol. Eng.* 51: 212-220.

Fabricius C. et Coetzee K., 1992.- Geographic information systems and artificial intelligence for predicting the presence or absence of mountain reedbeek. *South African Journal of Wildlife Research* 22: 80- 86.

Falissard B., 1998.- Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Collection *Evaluation et Statistique*. Masson (ed.), Paris, 332 p.

Famiglietti J. S. and Wood E. F., 1991.- Evapotranspiration and runoff from large land areas - land surface hydrology for atmospheric general-circulation models, *Surv. Geophys.*, 12: 179-204.

Fieberg J., 2007.- Kernel density estimators of home range: smoothing and the autocorrelation red herring. - *Ecology* 88: 1059 - 1066.

Flahault C., Schröter L., 1910.- Rapport sur la nomenclature phytogéographique. In : *Actes du IIIe congrès international de botanique*. Volume 1, comptes rendus des séances, séances du 20 mai, pp. 131-142. Bruxelles : Albert de Boeck éditeur, 121 p.

Florence J., 1981.- Chablis et sylvigénèse dans une forêt dense humide sempervirente du Gabon. Thèse de 3e cycle, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 261 p.

Floret C., Pontanier R., 1982.- L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement. Thèse d'État, USTL. Montpellier, Travaux et doc. ORSTOM, Paris, 544 p.

Floret C., Galan M.J., Le Floc'h E., Orshan G. et Romane F., 1990.- Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient: tools for studying vegetation. *J. Veg. Sci.* 1: 71-80.

- Fragstats, 2008.- FRAGSTATS Documentation. University of Massachusetts Amherst, landscape ecology program. [Online] Available at: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html.
- Froise B., 1999.- *Ecologie du paysage : concept méthodes et applications* Tec Ed Doc. 362 p.
- Frontier S., 1983.- *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Masson, Paris, 494 p.
- Fu B., Liu S., Ma K. and Zhu Y., 2004.- Relationships between soil characteristics, topography and plant diversity in a heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing, China, *Plant Soil* 261 (1) : 47-54.
- Fu P. and Rich P.M., 2000.- *The Solar Analyst 1.0 Manual*. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.
- Fu P. and Rich P.M., 2002.- A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Computers and Electronics in Agriculture* 1-3: 25-35.
- Galicia L., J. Lopez-Blanco, A. E. Zarco-Arista, V. Filips, and Garcia-Oliva F., 1999.- The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico. *Catena* 36: 153-164.
- Gao X., P. Wu, X. Zhao, Y. Shi, J. Wang, Zhang B., 2011.- Soil moisture variability along transects over a well-developed gully in the Loess Plateau, China, *Catena* 87 (3). 357-367.
- Gaouar A., 1980.- Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen (Algérie). *Rev. For. Méd.* Tome 2, Marseille, Pp- 131-146.
- Gaussen H., 1963.- *Écologie et phytogéographie*. In: Abbayes (des) et al. (eds.), *Précis de sciences biologiques. Botanique*, Masson, Paris : 926-972.
- Géhu J. M., 2006.- *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales* J. Cramer, Berlin-Stuttgart. 899 p.
- Giesler R., Hogberg M. and Hogberg P., 1998.- Soil chemistry and plants in Fennoscandian boreal forest as exemplified by a local gradient. *Ecology* 79: 119-137.
- Gillet F., 1998. *La phytosociologie synusiale intégrée : guide méthodologique*. Université de Neuchâtel - laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie, Document 1, 68 p.
- Gillet F., 2000. *La Phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique*. Université de Neuchâtel, Institut de Botanique. Doc. Labo. Ecol. Vég., 1, 68 p.
- GIP Loire Estuaire, 2012.- *Submersibilité latérale dans l'estuaire*, Cahiers indicateurs GIP Loire Estuaire, L1D1, 8 p.
- Girard M.C., Girard C.M. 2010.- *Traitement des données de télédétection : environnement et ressources naturelles*. Paris, Dunod. 576 p.
- Girouard G., Bannari A., El-Harti A. and Desrochers A., 2004.- Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study between Quickbird and Landsat-TM, *Geo-Imagery Bridging Continents, Turkey*, July 12-23: 599-604.
- Gitzen R. A., Millsbaugh J.J. et Kernohan B.J., 2006.- Bandwidth selection for fixed-kernel analysis of animal utilization distributions. *Journal of Wildlife Management*, Vol.70, No.5: 1334-1344.
- Glenn N. F., Streutker D. R., Chadwick D. J., Thackray G. D. and Dorsch S. J., 2006.- Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide

morphology and activity, *Geomorphology*, 73(1-2):131-148.

Godron M., Daget Ph., Emberger L., Le Floch E., Long G., Poissonet J., Sauvage Ch. et Wacquart J.P., 1968.- Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu (principes et transcription sur cartes perforées). CNRS, Paris. 292 p.

Godron M., 1968.- Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. (Recouvrement, information mutuelle entre espèces et Facteurs écologiques, échantillonnage). *Oecol. Plant.*, 3: 185-212.

Gondard H., Jauffret S. and Aronson J., 2003.- Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands, *Appl. Veg. Sci.* 6: 223-234.

Gounot M., 1961.- Les méthodes d'inventaire de la végétation, *Bull. Serv. Carte Phytogéogr.*, B, VI, 1 : 7-15.

Gounot M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie, Paris. 314 p.

Gourmelon F., Bioret F., Sauve L., 2005.- Potentialité de l'imagerie satellitaire SPOT5 pour la cartographie de la végétation terrestre. Application à l'île d'Ouessant. *Cybergeog : Revue européenne de géographie, Cartographie, Imagerie, SIG*, article 325, url: <http://cybergeog.revues.org/3027>.

Gray J. S., McIntyre A. D. and Štirn J., 1992.- Manual of methods in aquatic environment research. Part 11. Biological assessment of marine pollution with particular reference to benthos. *FAO Fisheries Technical Paper*. 324, 49 p.

Griffiths H., 1988.- Carbon balance during CAM: An assessment of respiratory CO₂ recycling in the epiphytic bromeliads *Aechmea nudicaulis* and *Aechmea endleri* . *Plant, Cell et Environment*, 11, 603-611. 10.1111/j.1365-3040.1988.tb01802.

Grime J. P., 1977.- Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am Nat* 111: 1169-1194.

Grisebach A., 1872.- Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung: ein Abriss der vergleichenden Geographie der Pflanzen. *Nature* 5. 458-459. <https://doi.org/10.1038/005458a0>

Grouzis M., Akpo L.E., 1997.- The influence of tree cover on herbaceous above and belowground phytomass in the Sahelian zone of Senegal, *J. Arid Environ.* 35 : 285-296.

Grouzis J.P., Pouliquin P., Rigaud J., Grignon C. and Gibrat R., 1997.- In vitro study of passive nitrate transport by native and reconstituted plasma membrane vesicles from corn root cells. *Biochim Biophys Acta*, 1325: 329-342.

Grouzis M., 1992.- Germination des plantes annuelles sahéliennes. *in L'aridité, une contrainte au développement*, edited by: E. Le Floch, M. Grouzis, A. Cornet and J. C. Bille Pp 221-224.

Grzyl A., M. Kiedrzyński K. M. Zielińska, Rewicz A., 2014.- The relationship between climatic conditions and generative reproduction of a lowland population of *Pulsatilla vernalis*: the last breath of a relict plant or a fluctuating cycle of regeneration? *Plant Ecol.* 215 (4): 457-466.

Guinochet M., 1973.- *Phytosociologie*. Masson et Cie, Paris, 227 p.

Gul B., M. A. Khan and D.J. Weber, 2001.- Seed germination in *Sarcobatus vermiculatus*: A halophytic shrub from Great Basin desert. *Pak. J. Bot.*, 33: 473-482.

Hammouda R., 2009.- Contribution à l'élaboration d'un modèle de gestion durable d'un parcours steppique dans la commune de Hadj Mechri, Wilaya de Laghouat. *Mém. Mag., USTHB*, 68 p.

- Heim de Balzac H., 1926. Contribution à l'ornithologie dans le Sahara central et du Sud algérien. Mémoire. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, 127 p.
- Henaoui S.E., Bouazza M., 2012.- The current state of the plant diversity in the Tlemcen region (Northwest Algeria). *Open Journal of Ecology*; 2(4): 244-255.
- Herkat M., 1999.- La Sédimentation de haut niveau marin du crétacé supérieur de l'Atlas Saharien oriental et des Aurès Thèse de doctorat en Sédimentologie - Géodynamique. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne, Alger, 802 p.
- Högberg P., Johannisson C., Nicklasson H., Högbom L., 1990.- Shoot nitrate reductase activities of field-layer species in different forest types. *Scandinavian J. Forest Res.*, 5: 449-456.
- Holmgren P., 1994.- Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An empirical evaluation, *Hydrol. Process.*, 8: 327-334, doi:10.1002/hyp.3360080405.
- L'Inventaire Forestier National, 2008.- Nouvelle cartographie forestière De la production à l'utilisation. 20. 8p.:<https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article54>
- Ihaddaden A., E. Velázquez E., Rey-Benayas J.M., Kadi-Hanifi H., 2013.- Climate and vegetation structure determine plant diversity in *Quercus ilex* woodlands along an aridity and human-use gradient in Northern Algeria, *Flora* 208: 268-284.
- Ingram J.C., 2008.- Berger-Parker Index, The Earth Institute at Columbia University, New York, NY, USA, Elsevier B.V. All rights reserved, 339-341.
- Ionesco T., Sauvage C., 1962.- Les types de végétation du Maroc. Essai de nomenclature et de définition. *Rev. Geogr. Marco*, 1: 75-86.
- Isemann P. et Moali A., 2000.- Oiseaux d'Algérie. Paris, 336 p.
- Jayaraman K., 1999.- Manuel de statistique pour la recherche forestière. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture - Coopération Hollandaise - Commission Européenne, 242 p.
- Jiao J., Zou H., Jia Y., Wang N., 2009.- Research progress on the effects of soil erosion on vegetation, *Acta Ecol. Sin.* 29 (2): 85-91.
- Joffre R. et Rambal S., 1993.- How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology* 74: 570-582.
- Jung V., 2009.- Etude de la structuration des communautés végétales des prairies alluviales le long d'un gradient d'inondation. Thèse de doctorat, Metz, 151 p.
- Kaabeche M., 1990.- Les groupements végétaux de la région de Bou - Saada (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse Doct. en sci. , Paris-Sud. Centre d'Orsay, 104 p.
- Kadi-Hanifi H. 2003.- Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie Science et changements planétaires. *Sécheresse*. (1) 3: 169-179.
- Kadi-Hanifi H., 1998.- L'Alfa en Algérie, Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doctorat, Univ. Sci. Tech. Houari Boumediène, Alger, 270p.
- Kadik B., 1983.- Contribution for Aleppo pine study (*Pinus halepensis* Mill), Algeria: Ecology, Dendrology, and Morphology, OPU, Algiers, 581p.
- Kadik L., 1984.- Phytoécologie des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du Senalba

- Chergui et Gharbi Thèse Doct. 3^{ème} cycle. U.H.B. Sc., Bab Ezzouar, 281p.
- Kadik L., 2005.- Étude phytosociologique et phytoécologique des formations à Pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. De l'étage bioclimatique semi-aride algérien. Thèse de Doctorat d'État, Université H. Boumédiène, Alger, 341 p.
- Karowe D., 2003.- Class Lecture Notes May 19. University of Michigan Biological Station. Spring Semester, 11-16.
- Kebede M., Kanninen M., Yirdaw E., Lemenih M., 2013.- Vegetation structural characteristics and topographic factors in the remnant moist Afromontane forest of Wondo Genet, south central Ethiopia, *J. For. Res.*, 24: 419-430.
- Kirkpatrick J.B., Green K., Bridle K.L., Venn S.E., 2014.- Patterns of variation in Australian alpine soils and their relationships to parent material, vegetation formation, climate and topography, *Catena*, 121: 186-194.
- Kluser S., 2000.- Elaboration d'une carte de couverture du sol par interprétation semi-automatisée de l'espace colorimétrique d'ortho-photos Application au bassin versant du Nant d'Avril (France, Suisse), Diplôme d'études supérieures en sciences naturelles de l'environnement, Université de Lausanne, 69p.
- Koehler G.M., et Hornocker M.G., 1989.- Influences of seasons on bobcats in Idaho. *Journal of Wildlife Management*, 53: 197-202.
- Korner C., 2004.- Mountain Biodiversity, Its Causes and Function. *Ambio*, 11e17. S. Rep., 13 p.
- Korzeniowska K. and Korup O., 2016., Mapping lakes on the Tibetan Plateau with landsat imagery and object-based image analysis. In: *GEOBIA 2016 : Solutions and Synergies.*, Univ. of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation, 5 p.
- Kouidri M., 2013.- Contribution à l'étude de l'avifaune nicheuse de la région de l'Atlas Saharien. Thèse de Doctorat Sc. Bio. Université Badji Mokhtar d'Annaba (UBMA), 167 p.
- Kozak J., 2003.- Forest cover change in the Western Carpathians in the past 180 years, *Mountain Res. Develop.*, 23: 369-375.
- Laamrani A., Valeria O., Bergeron Y., Fenton N., Cheng L.Z. and Anyomi K., 2014.- Effects of topography and thickness of organic layer on productivity of black spruce boreal forests of the Canadian Clay Belt region, *For. Ecol. Manag.*, 330: 144-157.
- Labrecque K., 2011.- Cartographie numérique de l'humidité de surface des sols à l'échelle de la parcelle agricole à l'aide de la télédétection et de la prospection électrique. *Th. Mag. Sc., Sciences de l'eau. Univ. du Québec INRS Eau Terre Environnement*, 92 p.
- Lacoste A. et Salanon R., 2001.- *Éléments de biogéographie et d'écologie*- 2ème éd. Revetaugm, Paris, 318 p.
- Lafond R., 1992.- La pédogenèse et la classification canadienne des sols. Dans R. Lafond ed. *Pédologie Forestière. Direction Générale de l'Enseignement Collégial du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Science, Québec*, 1-81.
- Lan G., Hu Y., Cao M. and Zhu H., 2011.- Topography related spatial distribution of dominant tree species in a tropical seasonal rain forest in China, *For. Ecol. Manag.* 262 (8). 1507-1513.
- Lance G.N. et Williams W.T., 1967.- A general theory of classificatory strategies. I. Hierarchical systems. - *Comput. J.* 9: 373-380.

- Le Compte-Barbet O., 1975.- Introduction à une étude de l'endémisme végétal au Maroc. CNRS. Trav. R. C. P. 249 III: 15-46.
- Le Houerou H. N., J. Claudin et M. Pouget, 1977.- Etude bioclimatiques des steppes algeriennes. Bull. Soc. Hist. nat. Afrique Nord, 68 (3/4): 33-74.
- Le Houérou, H. N., 1959.- Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Institut Recherches Sahariennes, Alger. Mémoire, 510 p.
- Le Houérou H. N., 1969.- La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc. Institut National Recherche Agronomique Tunisie, 42, 624 pp +- 1 carte couleur U500 000.
- Le Houérou H. N., 1971.- Les bases écologiques de la production pastorale et fourragère en Algérie. FAO Div. Prod. Prot. Plats, 60 p.
- Le Houérou H. N., 1989.- The grazing lands ecosystems of the Africa Sahel. Ecological studies, vol. 75, 270 p.
- Le Houérou H. N., 1991.- Invasive plants of the Mediterranean Basin. In: Biogeography of Mediterranean invasions. Eds. R.H. Groves; F. Di Castri. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 67-80.
- Le Houérou H. N., 1992.- Relations entre la variabilité des précipitations et celles des productions primaire et secondaire en zone aride. In : L'aridité : une contrainte au développement. ORSTOM, Paris, Pp 196-220.
- Le Houérou H. N., 1993.- Evolution climatique et désertisation, 639-668. In Les climats subtropicaux et leur évolution, André, J.C., J.L. Fellous et A. Podaire, (Eds.), CNES Toulouse, 704 p.
- Le Houérou H. N., 1995.- Bioclimatology and biogeography of arid steppes in North Africa, Mediterranean Options, Ciheam, Montpellier, 408 p.
- Lebourgeois F., Piedallu C., 2005.- Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière. Notions d'indices bioclimatiques. Revue forestière française, vol. LVII, n° 3: 331-356.
- Lebourgeois F., 2010.- Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers. Agro Paris Tech, ENGREF, Nancy, 250 p.
- Lemée G., 1967.- Précis de biogéographie. Paris, Masson, 358 p.
- Lenssen J.P.M., Van Kleunen M., Fischer M. and de Kroon H., 2004.- Local adaptation of the clonal plant *Ranunculus reptans* to flooding along a small-scale gradient. Journal of Ecology 92: 696-706.
- Li B.L., 2000.- Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics, Ecol. Model. 33: 33-50.
- Lin Y., Cui P., Ge Y., Chen C. and Wang D., 2014.- The succession characteristic of soil erosion during different vegetation succession stages in dry-hot river valley of Jinsha River upper reaches of Yangtze River, Ecol. Eng., 62: 13-26.
- Liu Q., An J., Wang L., Wu Y. and Zhang H., 2015.- Influence of ridge height, row grade, and field slope on soil erosion in contour ridging systems under seepage conditions, Soil Tillage Res. 147 : 50-59.

- Long G., 1954.- Description des méthodes linéaires pour l'étude de l'évolution de la végétation. Bull. Serv. Carte Vég., série B2: 107-127.
- Long G., 1974.- Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. I : Principes généraux et méthodes. Masson édit., Paris, 1 vol., 252 p.
- Ludwig F., Rosenthal D.M., Johnston J.A., Kane N., Gross B.L., Lexer C., Dudley S.A., Rieseberg L.H. and Donovan L.A., 2004.- Selection on leaf ecophysiological traits in a desert hybrid *Helianthus* species and early-generation hybrids. *Evolution*, 58: 2682-2692.
- Madon O. et F. Médail F., 1996.- The ecological significance of annuals on a Mediterranean grassland (Mt Ventoux, France). *Pl. Ecol.* 129: 189-199.
- Maestre F. T., Cortina J., Bautista S. and Bellot J., 2003.- Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs under semi-arid climate?. *For. Ecol. Manag.* 176: 147-160.
- Maestre F. T., Cortina J., 2003.- Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology* 23(3): 199-209.
- Magurran A. E., 2004.- *Measuring Biological Diversity*, Blackwell Publishing Company, Malden, 215 p.
- Maire R., 1926.- Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie - 1/1 500 000, Gouvernement général d'Alger, Service cartographie, Alger, Pp. 352-359.
- Mangolini M., 1994.- Apport de la fusion d'images satellitaires multicapteurs au niveau pixel en teledetection et photo-interpretation. Dissertation published at the University of Nice-Sophia Antipolis, France, 209 p.
- Marc T.V., Jean-Paul O., Annie G., Jean-Claude G., Jean-Claude L., 2003.- Vegetation dynamics and plant species interactions under grazed and un-grazed conditions in a western European salt marsh. *Acta Oecol.* 24: 103-111.
- Marques J. C., 2008.- Ecological Indicators, Coastal and Estuarine Environments. *Encyclopedia of Ecology*, Elsevier B.V., vol. I: 619-630.
- Martin P.J., 2000.- A description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0. URL Report: NRL/FR/7322-009962, Pp. 39, Naval Research Lab., Stennis Space Center, MS.
- Masson G., 2005.- *Autécologie des essences forestières : Comment installer chaque essence d'arbre à sa place*. Paris : Éd. Tec et Doc-Lav. , 306 p.
- Mathaux C., 2017.- *Vivre dans les conditions difficiles en falaise : potentialités et longévité du genévrier de Phénicie*. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement. Aix Marseille Université, 384 p.
- Mather P.M., 1999.- *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 2nd ed. New York: Wiley, 306 pages.
- Matsuura T., Suzuki W., 2013.- Analysis of topography and vegetation distribution using a digital elevation model: case study of a snowy mountain basin in northeastern Japan, *Landsc. Ecol. Eng.* 9 (1): 143-155.
- Mattivi P., Franci F., Lambertini A. *et al.*, 2019.- TWI computation: a comparison of different open source GISs. *Open geospatial data, softw. stand.*, 4, 6. <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y>.
- Mazur M., Boratynska K., Marcysiak K., Gomez D., Tomaszewski D., Didukh J. and Boratynski

- A., 2003.- Morphological variability of *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae) from three distant localities on the Iberian peninsula. Act. Soc. Bot. Poloniae 72: 71-78.
- McCain C.M., 2007.- Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats, Glob. Ecol. Biogeogr., 16, 113p.
- McGill B.J., 2010.- Matters of scale, Science 328: 575-576.
- Medjrab A., 2005.- Étude de la pluviométrie de l'Algérie Occidentale : approche statistique cartographie automatique. Thèse de doctorat d'État, Université de Bab Ezzouar, Alger, 330 p.
- Merioua S.M., Seladji A. et Benabadji N., 2013.- Anthropozoic impact on the floristic biodiversity in the area of Beni Saf (Algeria). Open Journal of Ecology 3: 254-264.
- Méhot S., Blai L., Gravel J., Latrémouille I., St-Pierre S., Vézeau S., 2014.- Guide d'inventaire et d'échantillonnage en milieu forestier, Québec, Gouvernement du Québec, Direction de l'Aménagement et de l'Environnement Forestiers, 237 p.
- Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A. and Petersen G.A., 1993.- Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science America, Journal, 57: 443-452.
- Nègre R., 1966.- Les thérophytes. Coll. de Morphologie Soc. bot. Fr., Avril 1965. Mem. Soc. bot. Fr, Pp 92-108.
- Nevo E., Fragman O., Dafni A. and Beiles A., 1999.- Biodiversity and interslope divergence of vascular plants caused by microclimatic differences at "Evolution Canyon" lower nahal Oren, Mount Carmel, Israel, Israel J. Plant Sci., 47 : 49-59.
- Office National de Météorologie, 2020.
- Olaya V., 2009.- Basic Land-Surface Parameters, in: Hengl, T., Reuter, H.I. [Eds.]: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Elsevier, vol. 33: 141-169.
- Olivero A. M. et Hix D. M., 1998.- Influence of aspect and stand age on ground flora of southeastern Ohio forest ecosystems. Plant Ecology, 139: 177-187.
- Olsvig-Whittaker L., 1983.- Vegetation patterns related to environmental factors in a Negev Desert watershed, Israel, Vegetation 54: 153-165.
- Omer L.S., 2004.- Small-scale resource heterogeneity among halophytic plant species in an upper salt marsh community. Aquat. Bot. 78 (4): 337-348.
- Orshan G., Montenegro G., Avila G., Aljaro M.E., Walckowiak A. et Mujica A.M., 1984.- Plant growth forms of Chilean matorral: a monocharacter growth form analysis along an altitudinal transect from sea level to 2000 m. Bull. Soc. Bot. Fr., 131: 411-425.
- Otukei J.R., Blaschke T., 2010.- Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., vol. 12, 27-31. doi : 10.1016/j.jag.2009.11.002
- Ouyang G., Herzmann G., Zhou C., Sommer W., 2011.- Residue iteration decomposition (RIDE): a new method to separate ERP components on the basis of latency variability in single-trials. Psychophysiology. 48: 1631-1647. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01269.
- Ozenda P. et Keraudren J., 1960.- Carte de la végétation de l'Algérie au 1/200.000' ; Feuille de Guelt es Stel-Djelfa. Gouvernement Général de l'Algérie, 7 p.
- Ozenda P., 1977.- Flore du Sahara. Paris, C.N.R.S., 622 p.

- Ozenda P., 1982.- Les végétaux dans la biosphère. Doin, Paris, 413 p.
- Ozenda P., 1991.- Flore et végétation du Sahara, 3e édition. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Pp 329-331.
- Ozenda P., 2004.- Flore et végétation du Sahara. CNRS Editions, Paris. 662 p.
- Pater S., McReynolds K., 2005.- Watershed Soils. Master Watershed Steward, 16 p.
- Pautasso M., 2007.- Scale dependence of the correlation between human population presence and vertebrate and plant species richness. Ecology Letters, 10: 16-24.
- Peet R. K., 1974. The Measurement of Species Diversity. Ann. Review. Ecology System 5: 285-307.
- Perry J. N., Liebhold A. M., Rosenberg M. S., Dungan J., Miriti M., Jakomulska A., Citron-Prousty S., 2002.- Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. Ecography 25: 578-600. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250507.x>.
- Pettini C., 1992.- Stratégies d'échantillonnage prenant en compte différents niveaux de structuration spatiale. Application à deux insectes ravageurs de la châtaigne (*Curculia elephas* et *Cydia splendana*) et à une graminée, l'alfa (*Stipa tenassicima*). Th. Doct. Univ. Claude Bernard. Lyon I. 331 p.
- Pinchemel P., Pinchemel G., 1988.- La face de la terre. Eléments de géographie, Paris, A. Colin., 519p.
- Pouget M., 1980.- Les relations sol- végétation dans les steppes Sud algéroises, Ed. ORSTOM, Paris, Pp 134-135.
- Prévost P., 1999.- Les bases de l'agriculture. 2è Ed. Technique et documentation, Paris, 243 p.
- Quézel P., Gamisans J. et Gruber M., 1980.- Biogéographie et mise en place des flores méditerranéennes. In : Mise en place, évolution et caractérisation de la flore et de la végétation circumméditerranéennes. Colloque de la Fondation L. Emberger, Naturalia Monspeliensia, 41-51pp.
- Quézel P., Médail F., 2003.- Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. - Elsevier, 572p.
- Quezel P., Santa S., 1962-1963.- New Flora of Algeria and Southern Desert Region. Paris. Ed. C.N.R.S. vol. 2, 1170 p.
- Quézel P., 1957.- Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Encycl. Biogéogr. Écol., 10, Lechevalier, Paris, 464p.
- Quézel P., 1965.- La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. G. Fischer, Stuttgart, 333p.
- Quezel P., 1975.- Contribution à l'étude phytosociologique du massif du Taurus. Phytocoenologia, I, (2): 131-222.
- Quézel P., 1978.- Analyse of flore mediterranean and Sahara Africa. Ann. Missouri Bot. Gard., 65: 479-534.
- Quézel P., 1983.- Flore et végétation actuelles de l'Afrique du Nord, leur signification en fonction de l'origine, de l'évolution et des migrations des flores et structures de végétation passées. Bothalia 14(3/4): 411-416.
- Quézel P., 2002.- Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb

- méditerranéen. Ibis Press, 117 p.
- Ramade F. 1984.- *Eléments d'écologie- Ecologie fondamentale*. Ed. Mc GrawHill, Paris, 397 p.
- Ramade F., 2008.- *Dictionnaire encyclopédique des sciences, de la nature et de la biodiversité*. Dunod, 726 p.
- Raunkiaer C., 1905.- *Types biologiques pour la géographie botanique*. Bull. Acad. Roy. Sci. Danemiar 5: 347-437.
- Raunkiaer C., 1918.- *Ueber das biologische Normalspektrum*. Det. Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Meddelelser I, 4: 1-18.
- Raunkiaer C., 1934.- *Life forms of plants and stational plants geography (collected papers translated to English)*. Oxford.
- Réjou-Méchain M., Flores O., Bourland N., Doucet J.L., Fétéké R., Pasquier A. and Hardy O.J., 2011.- *Spatial aggregation of tropical trees at multiple spatial scales*. Journal of Ecology 99: 1373-1381.
- Rhanem M., 2017.- *Diversité des formes de croissance de Juniperus communis L. dans les stations refuges des hautes montagnes du bassin versant de la Moulouya (Maroc)*. Physio-Géo, XI : 229-254.
- Rich P. M., Hetrick W. A., Saving S. C., and Dubayah R., 1994.- *Viewshed analysis for calculation of incident solar radiation: applications in ecology*, Proceedings of the ASPRS-ACSM Convention (Bethesda, MD: ASPRS), Pp 524-529.
- Rich P. M., 1990.- *Characterizing plant canopies with hemispherical photography*. Remote Sensing Reviews, 5: 13-29.
- Riley S. J., DeGloria S. D. and Elliot R., 1999.- *A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity*, Intermountain Journal of Sciences, vol.5, No.1-4.
- Riley W. J., Randerson J.T., Foster P. N. and Lueker T. J., 2005.- *Influence of terrestrial ecosystems and topography on coastal CO₂ measurements: A case study at Trinidad Head, California*. Journal Of Geophysical Research, Vol.110, G01005, doi:10.1029/2004JG000007, 16p.
- Robson A., Neal C., Smith C. J., Hill S., 1992.- *Short-term variations in rain and stream water conductivity at a forested site in midWales: implications for water movement*. Science of the Total Environment, 119: 1-18.
- Rodhe A., Seibert J., 1999.- *Wetland occurrence in relation to topography: a test of topographic indices as moisture indicators*. Agricultural and Forest Meteorology 98-99: 325-340.
- Rodin L., Vinogradov B., Botschantzev V., Kalenov H., Mirochnitchenko Y., Pelt N., 1970.- *Etudes géobotaniques des pâturages du secteur ouest du département de Médéa*, 124 p, Atlas 2 cartes, 1/200 000, Nauka, Léninegrad.
- Rognon P., 1994.- *Biographie d'un désert : le Sahara*. Ed. l'Harm., Paris, 347p.
- Rol R., 1954.- *Le forestier devant la phytosociologie*. ENGREF, Nancy, 15p.
- Roose E., Chebbani R. et Bourougaa L., 2000.- *Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation*. Sécheresse, vol. 11: 317-326.
- Roose E., 1994.- *Introduction à la GCES*. Cah. Pédologique FAO no 70, Rome, 420 p.
- Rothmaler W., 1955.- *Allgemeine Taxonomie und Chorologie der Pflanzen*. 2. Aufl. Jena. 204 p.

- Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Zhu Z., 2014.- Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154-172.
- Rusch G.M., Pausas J.G., and Leps J., 2003.- Plant Functional Types in relation to disturbance and land use: Introduction. *Journal of Vegetation Science* 14: 307-310.
- Sardans J., Rodà F. and Peñuelas J., 2004.- Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils, *Plant Ecol.* 174 (2): 305-317.
- Sauvage Ch., 1960.- Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. Thèse doct. Montpellier. *Trav. Inst. Sci. Cherf. Série botanique*, 21, 462p.
- Sauvage C., 1961.- Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. *Travaux de l'Institut scientifique chérifien: Série botanique* 21, 462p.
- Scamoni A. and Passarge H., 1963.- Einführung in die praktische Vegetationskunde. Jena, 236 p.
- Seaman D.E. et Powell R.A., 1996.- An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology* 77: 2075-2085.
- Sebastiá M.T., 2004.- Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales, *Basic Appl. Ecol.* 5 (4): 331-346.
- Seibert J., Bishop K. et Nyberg L., 1997.- A test of TOPMODEL's ability to predict spatially distributed groundwater levels, *Hydrol. Processes*, 11: 1131-1144.
- Sellin V., Gourmelon F., Magnanon S., Debaine F. and Hubert-Moy L., 2013.- Cartographie des grands types de végétation par télédétection : étude de faisabilité (Bretagne, Basse-Normandie et Pays-de-la-Loire). *Rapport de recherche*, 166 p.
- Seltzer P., 1946. *Le climat de l'Algérie*. Carbonel, Alger, 219 p.
- Simboura N. et Zenetos A., 2002.- Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Sciences*, 3: 77-111.
- Système d'Information à Référence Spatiale, 2009.- Evaluation des conditions de la biodiversité dans le Kent et le Nord Pas de Calais : Photo-interprétation, Base de données et cartographie régionale et transfrontalière des habitats naturels. *Cahier des clauses techniques particulières, SIRS*, 30 p.
- Sivapalan M., Beven K.J. and Wood E.F., 1987.- On Hydrologic Similarity 2: A scaled model of storm runoff production. *Water Resources Res.* , 23 (12): 2266-2278.
- Sivapalan M., Wood E.F. and Beven K.J., 1990.- On Hydrologic Similarity, 3. A dimensionless flood frequency distribution, *Water Resources Research*, 26: 43-58.
- Smaïhi A-H., 2009.- Influence du type de pineraies (pineraie, pineraie chenaie) sur la mobilisation de n, p et le comportement de plantules de pin d'Alep dans des sols forestiers de la région de batna, Thèse (MAG), Université El-Hadj Lakhdar Batna, Pp 28-79.
- Smith M.W., 2014.- Roughness in the Earth sciences, *Earth Sci. Rev.*, 136, 202-225, doi:10.1016/j.earscirev.2014.05.016.
- Sørensen R., Zinko U. and Seibert J., 2005.- On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth Sys. Sc.*

- Discussions, European Geosciences Union, 2(4): 1807-1834.
- Stamboul M., 2004.- Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien (exemple du Djebel Amour). Thèse Doctorat, Univ. Oran, 310p.
- Stewart P., 1969.- Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au Barrage Vert. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 65 (1/2): 239-245.
- Ter Braak C.J.F. and Gremmen N.J.M., 1987.- Ecological amplitudes of plant species and the internal consistency of Ellenberg's indicator values for moisture. *Vegetatio* 69:79-87.
- Terras M., 2011.- Typologie, cartographie des stations forestières et modélisations des peuplements forestiers. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida (Algérie). Thèse Doctorat. Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 401 p.
- Thom D., Seidl R., 2015.- Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests, *Biol. Rev.* <https://doi.org/10.1111/brv.12193>.
- Tokuchi N., Takeda H., Yoshida K., Iwatsubo G., 1999.- Topographical variations in a plant-soil system along a slope on Mt. Ryuoh, Japan. *Ecol Res* 14: 361-369.
- Trabut L., 1889.- Etude sur l'halfa (*Stipa tenacissima* L.), Alger, 70 p.
- Tsegaye D., Haile M., Moe S.R., 2010.- The effect of land use on the recruitment and population structure of the important food and fodder plant, *Dobera glabra* (Forssk.) Poir., in northern Afar, Ethiopia, *J. Arid Environ.*, 74: 1074-1082.
- Tsui C.C., Tsai C.C. and Chen Z., 2013.- Soil organic carbon stocks in relation to elevation gradients in volcanic ash soils of Taiwan, *Geoderma* 209-210. 119-127.
- Tüxen, R. et Ellenberg H., 1937.- Systematic and ecological group value: a contribution to the definition and methodology of plant sociology. *Mitt. Flor -Soz. Arbeitsgem.* 3: 171-184.
- Vetaas O.R., 1993.- Spatial and temporal vegetation changes along moisture gradient in northeastern Sudan, *Biotropica*, 25: 164-175.
- Wagner H.H., 2003.- Spatial covariance in plant communities: integrating ordination, geostatistics, and variance testing. *Ecology*, 84: 1045-1057.
- Walter J.M.N., 2006.- Méthode d'étude de la végétation. Université Louis Pasteur, Institut de Botanique-Strasbourg, 302 p.
- Wang B., Zhang G., Duan J., 2015.- Relationship between topography and the distribution of understory vegetation in a *Pinus massoniana* forest in Southern China, *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 3: 291-304.
- Warming E., 1908.- *Okologiens grundformer*. Copenhagen, 116 p.
- Westhoff V., 1965.- *Plantengemeenschappen*. In: *Uit de Plantenwereld*. Palladiumreeks nr.15, W. de Hann, Zeist en Van Loghum Slaterun, Arnhem, 324 p.
- White J.D., Running S.W., 1994.- Testing scale-dependent assumptions in regional ecosystem simulations. *Journal of Vegetation Science* 5 (5): 687-702.
- Whitford W., Ludwig Wade E., 2002.- *Decomposition and Nutrient Cycling*, Pp. 235-274.
- Whittaker R. H., Levin S. A. et Root R. B., 1973.- Niche, habitat, and ecotope. *Am. Nat.*, 107: 321-338.
- Wiser S.K., Buxton R.P., 2009.- Montane outcrop vegetation of Banks Peninsula, South Island,

New Zealand, N Z J. Ecol., 33 (2): 164-176.

WU C., 2004.- Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. Remote Sensing of Environment, 93: 480-492.

Xu X., Ma K., Fu B., Song C., Wen L., 2008.- Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China, Catena 75 (2): 138-145.

Zellweger F., V. Braunisch, F. Morsdorf, A. Baltensweiler, A. Abegg, T. Roth, H. Bugmann, K. Bollmann, 2015.- Disentangling the effects of climate, topography, soil and vegetation on stand-scale species richness in temperate forests, For. Ecol. Manag., Pp 378-1127.

Zhang Z., Coillie F.V., Clercq E.M., Ou X., Wulf R., 2013.- Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China, Eco. Ind., 31:49-58.

Zhang G., Liu G., Zhang P., Yi L., 2014.- Influence of vegetation parameters on runoff and sediment characteristics in patterned *Artemisia capillaris* plots, Jour. Of Ar. Land. 6(3): 352-360.

Zhu L.Q., Zhu W.B., 2012.- Research on effects of land use/cover change on soil erosion, in: C.S. Zhang (Ed.), Materials Science and Information Technology, Advanced Materials Research., Pp 1038-1043.

Zinko U., Seibert J., Dynesius M. and Nilsson C., 2005.- Plant species numbers predicted by a topography based groundwater-flow index, Ecosystems, 8: 430-441.

Zinko U., 2004.- Plants go with the flow predicting spatial distribution of plant species in the boreal forest, ISBN 91-7305-705-3, PhD thesis, Umea University, Department of Ecology and Environmental Science. 36 p.

Annexes

Annexes

Annexe 1. Exemples de surexploitations: défrichement (fig. 1), surpâturage (fig. 2,3)

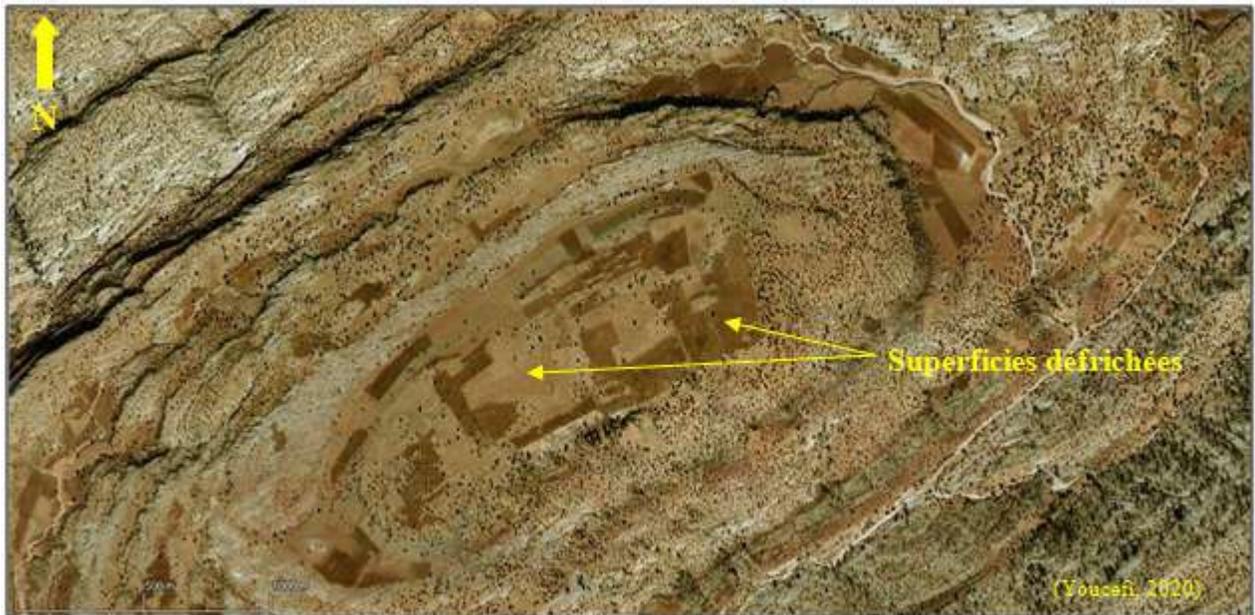


Figure 1.- Exemple de superficies défrichées au milieu d'un plateau (Gaadet Anfous)



Figure 2.- Exemple de pâture au sein des surfaces boisées (Djebel Sidi Okba)



Figure 3.- Pied de Genévrier oxycède endommagé par broutage (Djebel Sidi Okba)



Figure 4.- Souche d'un Genévrier rouge coupé pour bois de chauffage (Gaadet Anfous)



Figure 5.- Croissance du Pin au centre du djebel et omniprésence du Genévrier (Gaadet Anfous)



Figure 6.- Cépée drageonnante de Chêne vert (Gaadet Madna)

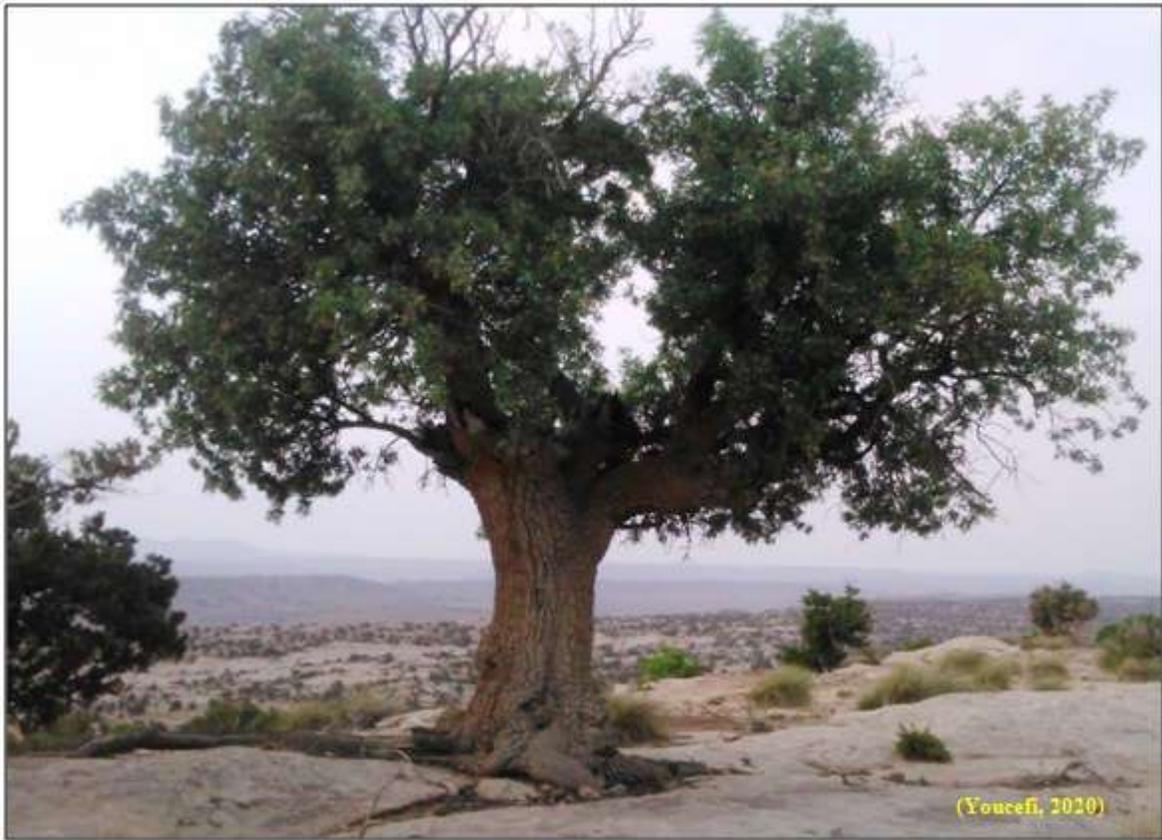


Figure 7.- Sujet d'un Pistachier d'Atlas sur rocher (Gaadet Anfous)

Annexe 2.- Classification de types biologiques établie par Raunkiaer (1934) (fig. 4)

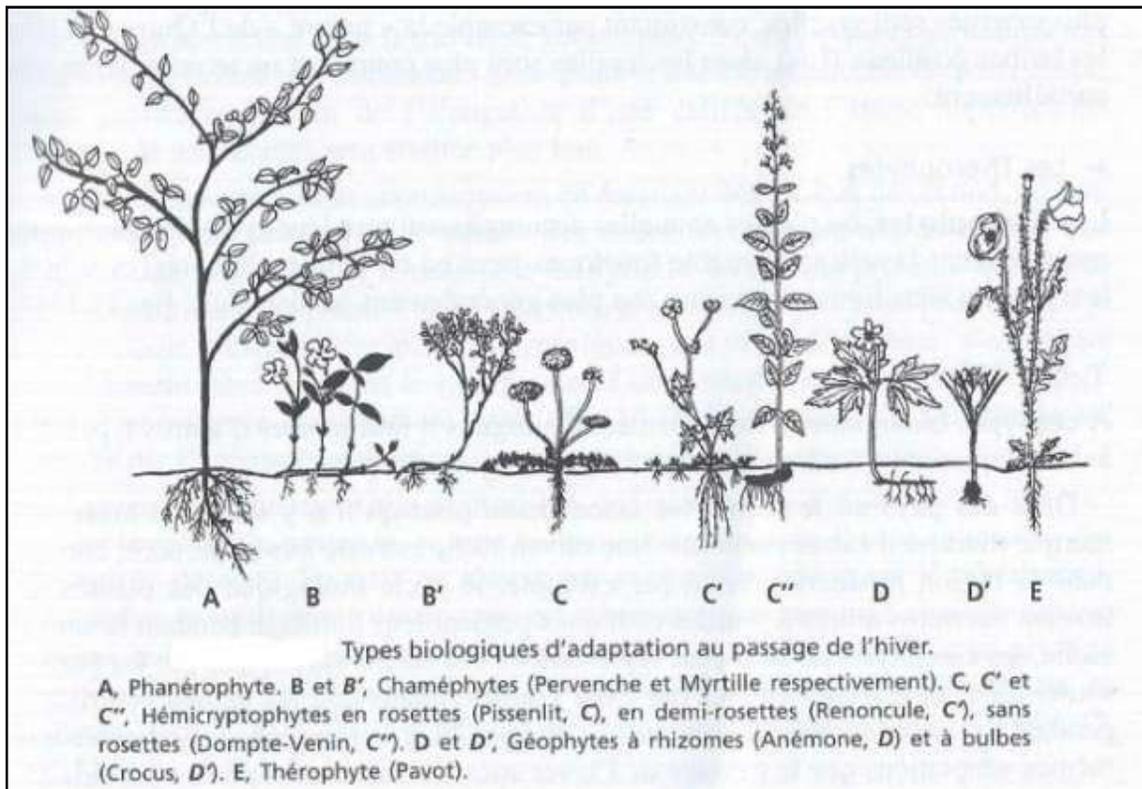


Figure 8.- Formes biologiques dans leur état parfait de développement (Raunkiaer, 1934)

Annexe 3. Anciennes cartes topographiques de la région de Djebel Amour

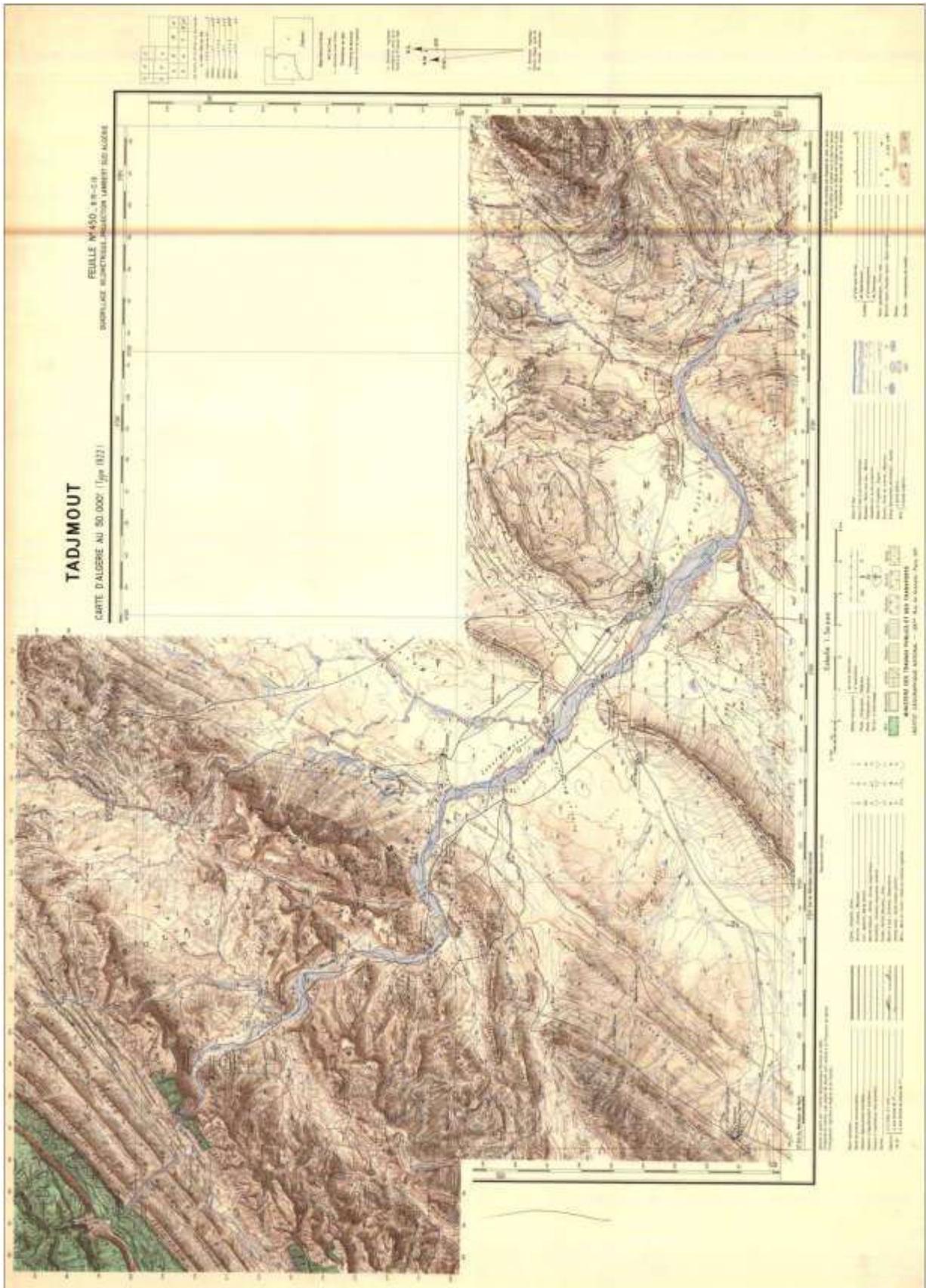


Figure 9.- Carte topographique de Tadjmout (1/50.000) (1951) (D.G.F., 2018)

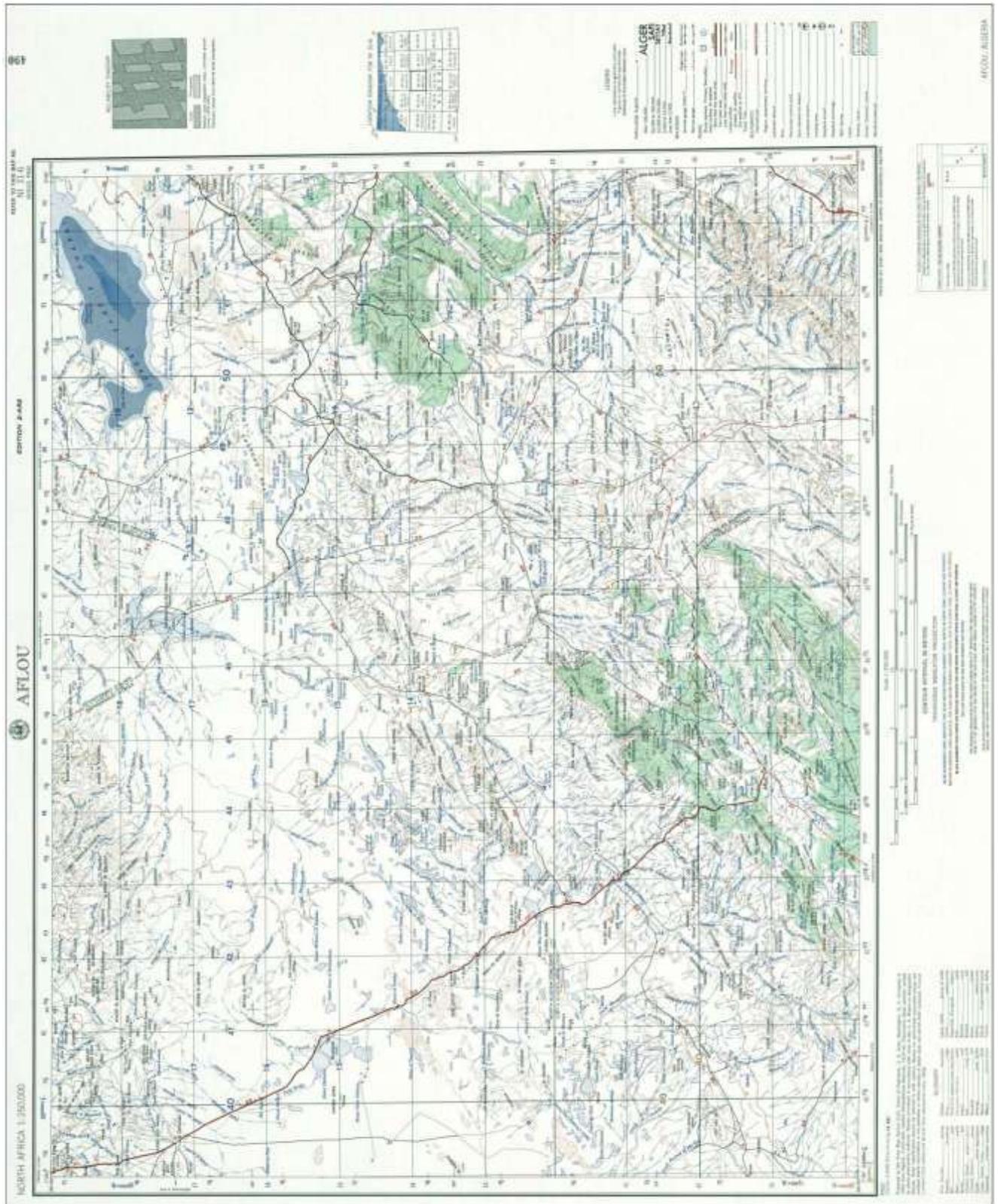


Figure 10.- Carte topographique d'Aflou (1/250.000) (1956) (<http://www.lib.utexas.edu>)

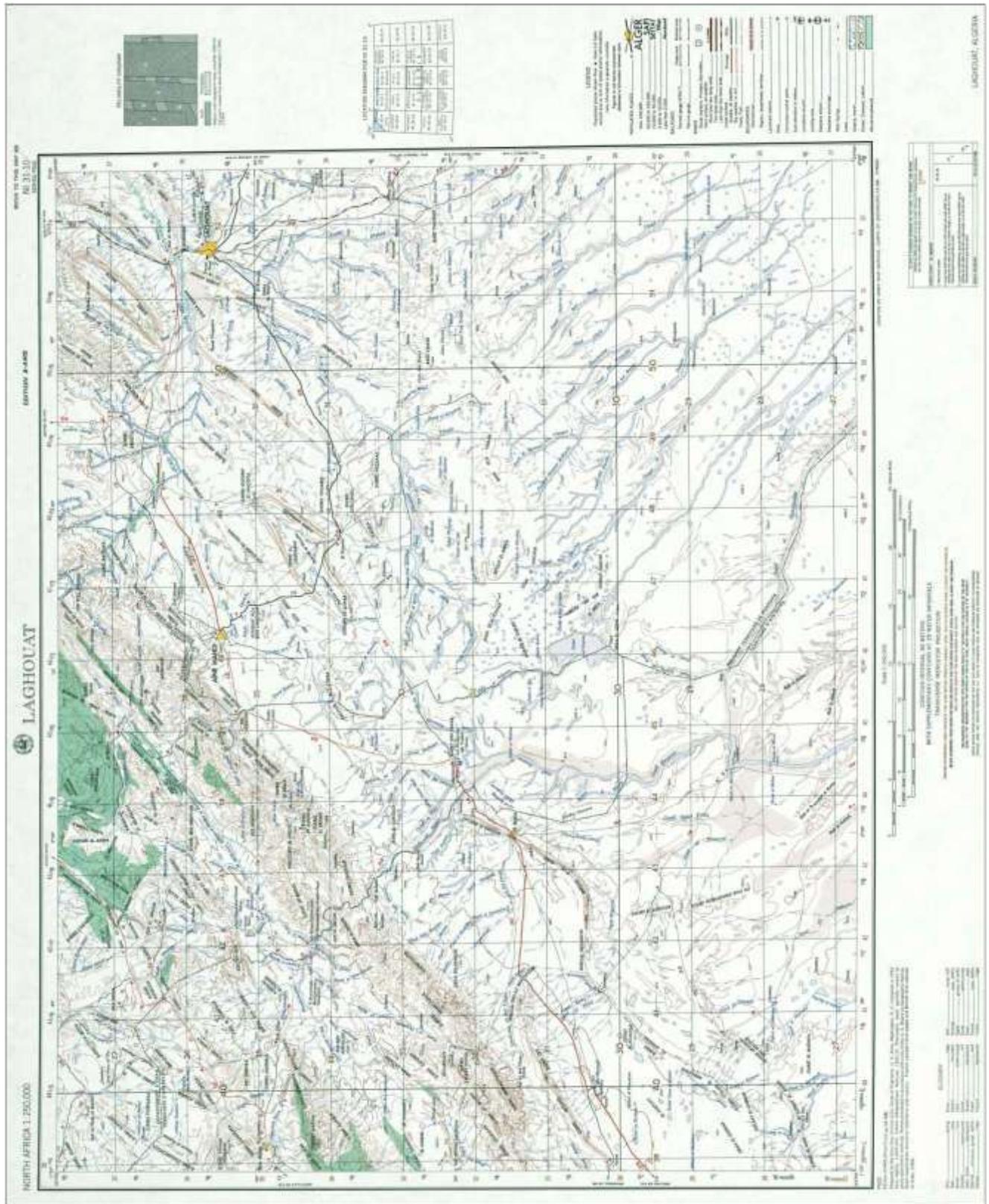


Figure 11.- Carte topographique de Laghouat (1/250.000) (1956) (<http://www.lib.utexas.edu>)

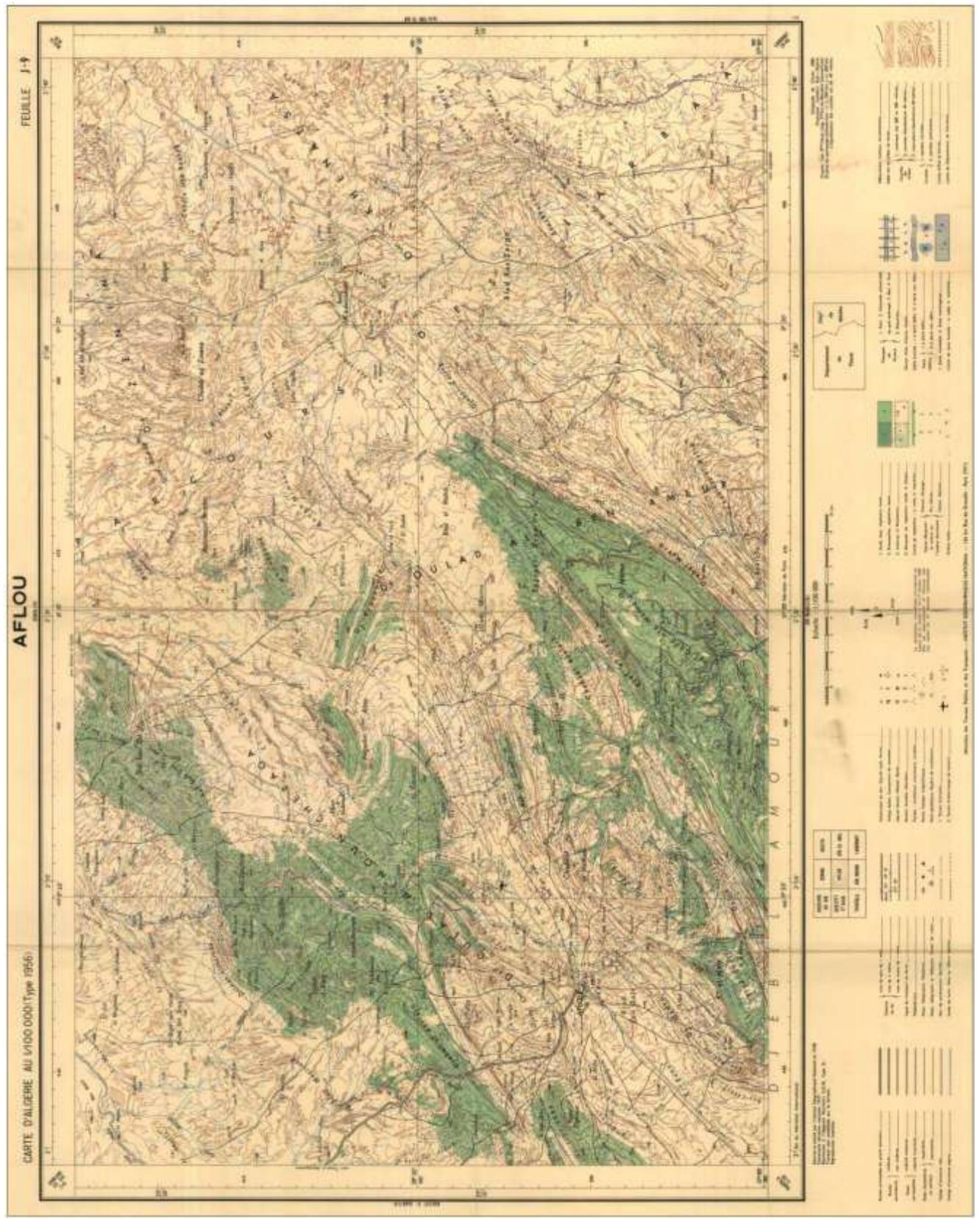


Figure 12.- Carte topographique d'Aflou (1/100.000) (1958) (D.G.F., 2018)

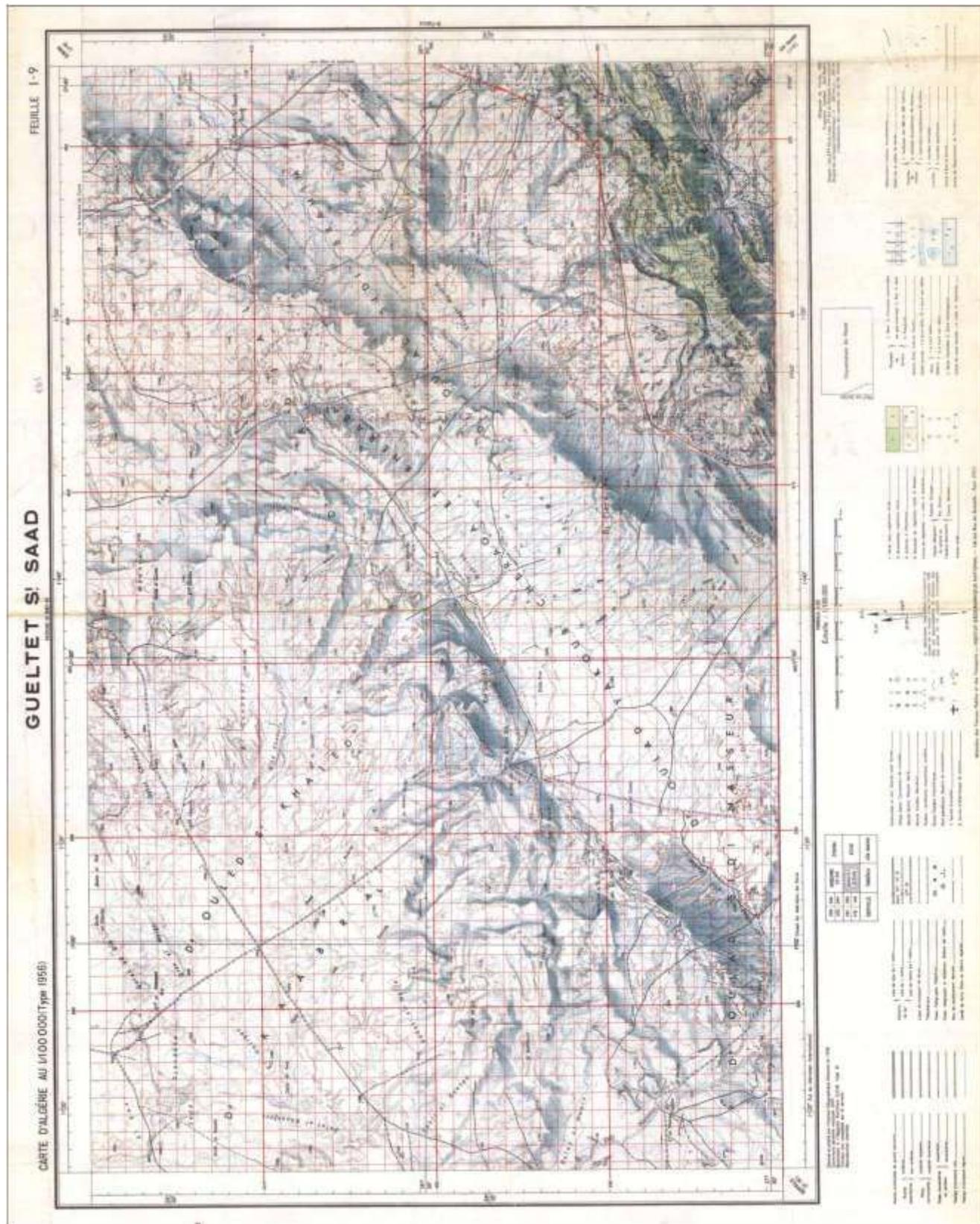


Figure 14.- Carte topographique de Guellet Sidi Saad (1/100.000) (1958) (D.G.F., 2018)

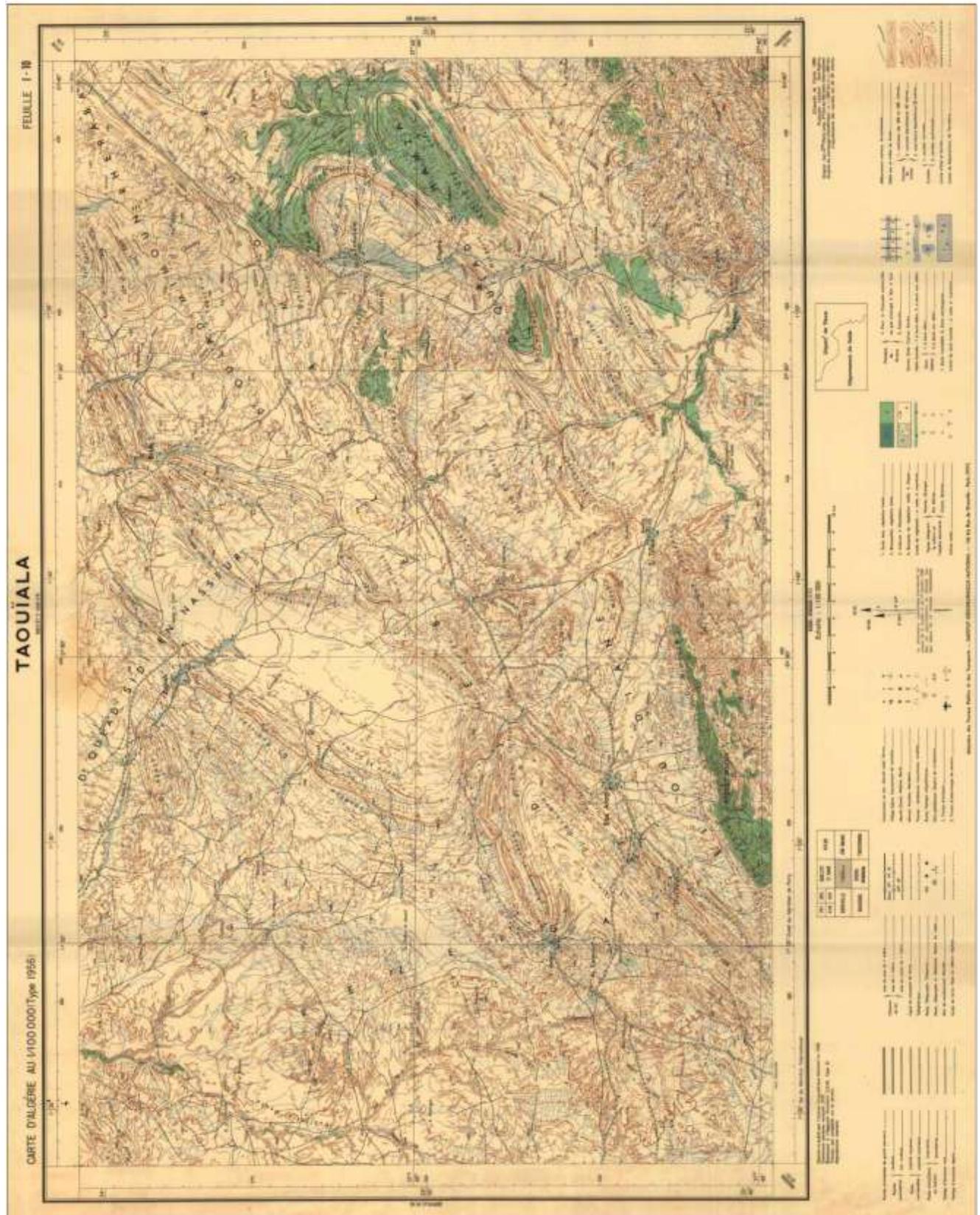


Figure 15.- Carte topographique de Taouiala (1/100.000) (1958) (D.G.F., 2018)

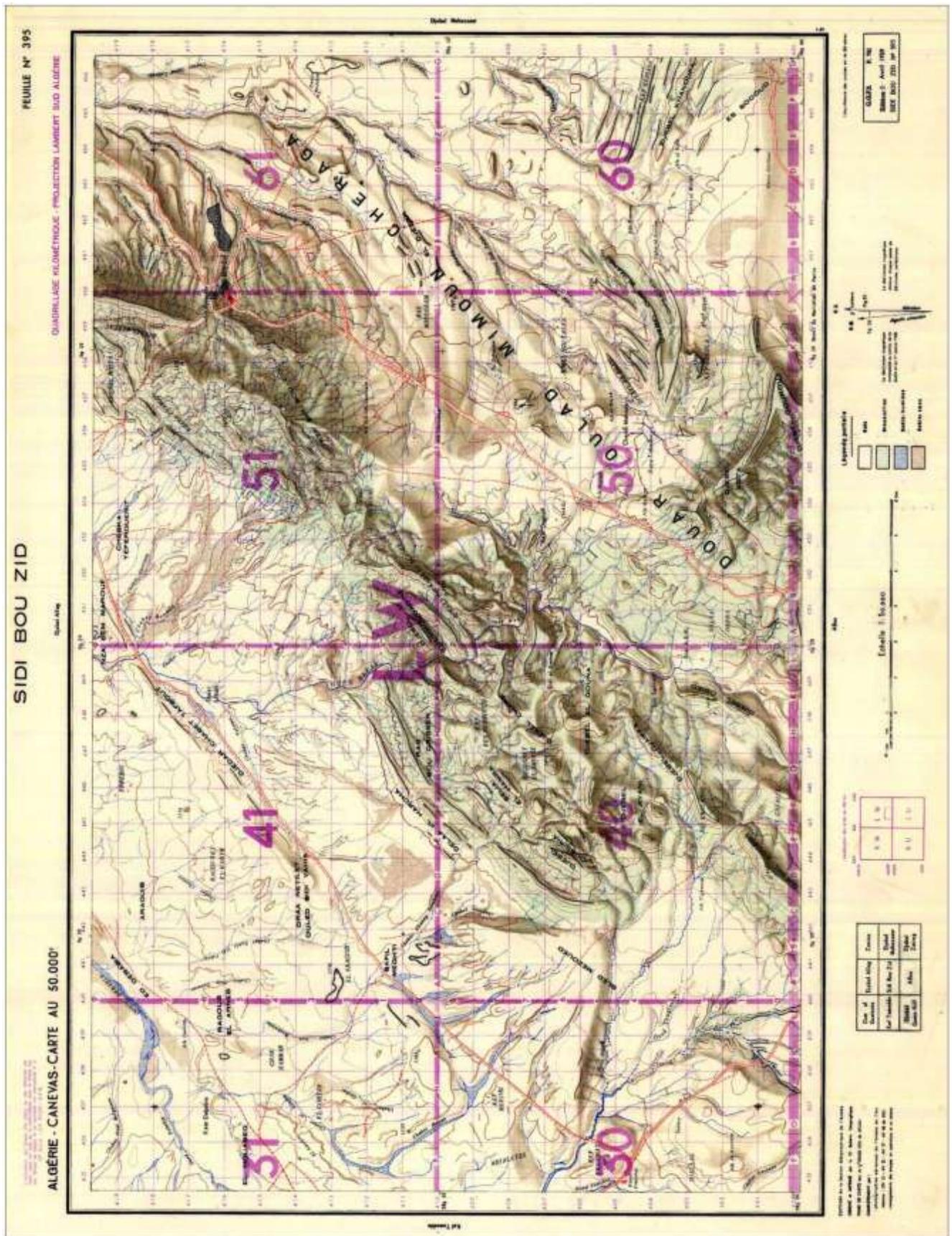


Figure 16.- Carte topographique de Sidi Bouzid (1/50.000) (1959) (D.G.F., 2018)

Annexe 4.- Cartes de densité des classes: Pin d'Alep (Pin), Genévrier (Jun), Sous-bois (Usv), Sol-nu (Brs) et Affleurement rocheux (Rck)

- Station de Kaf Sidi Bouzid (KSB) ①

La carte des classes établies dans la station de Kaf Sidi Bouzid (fig.19) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Kaf Sidi Bouzid (fig. 18).

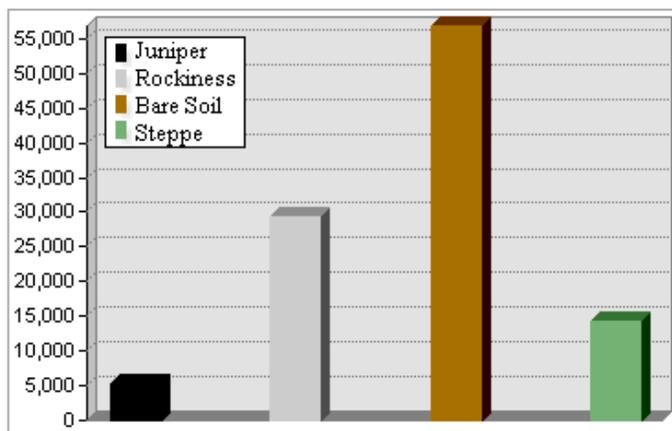


Figure 18.- Histogramme des classes de la station de Kaf Sidi Bouzid

La station montre une faible contribution végétale, dû vraisemblablement à la pression anthropozoïque (coupes abusives du bois de chauffage et surpâturage).

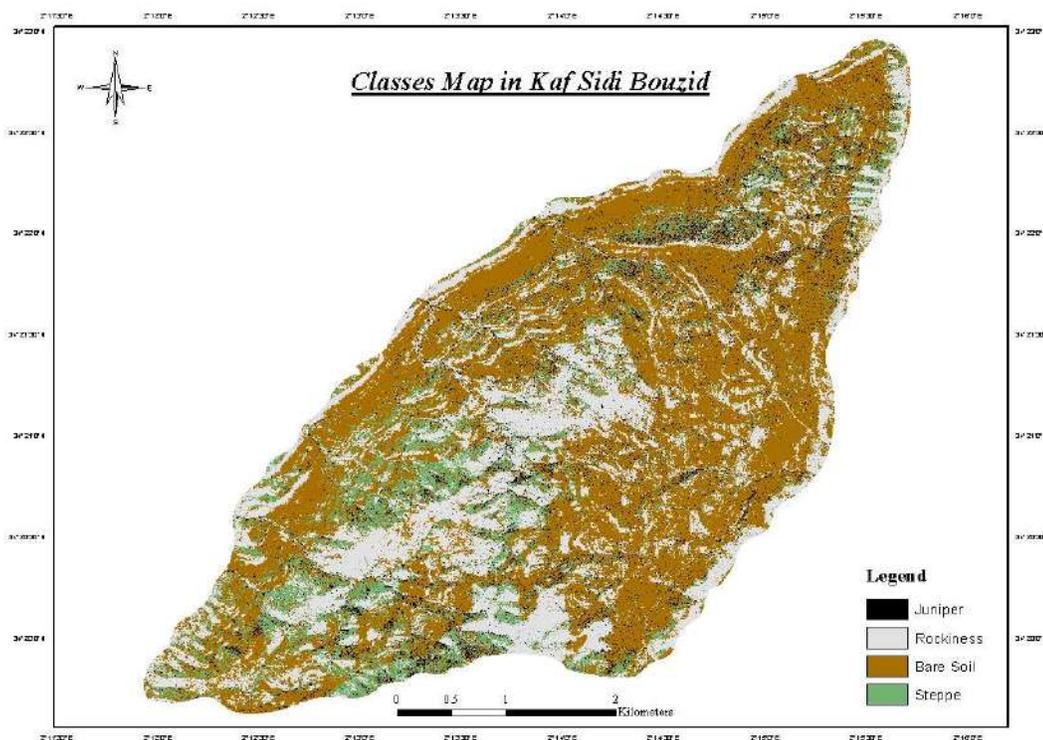


Figure 19.-Carte des classes établies dans la station de Kaf Sidi Bouzid

- Station de Djebel Gourou (DGR) ②

La carte des classes établies dans la station de Djebel Gourou (Fig.21) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Djebel Gourou (Fig.20).

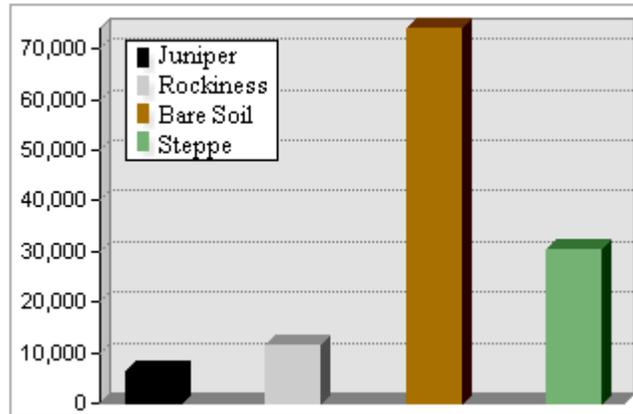


Figure 20.- Histogramme des classes de la station de Djebel Gourou

La station montre une faible contribution végétale notamment celle des arbustes du Genévrier, cela est peut être dû à l’altitude qui dépasse 1700 m.

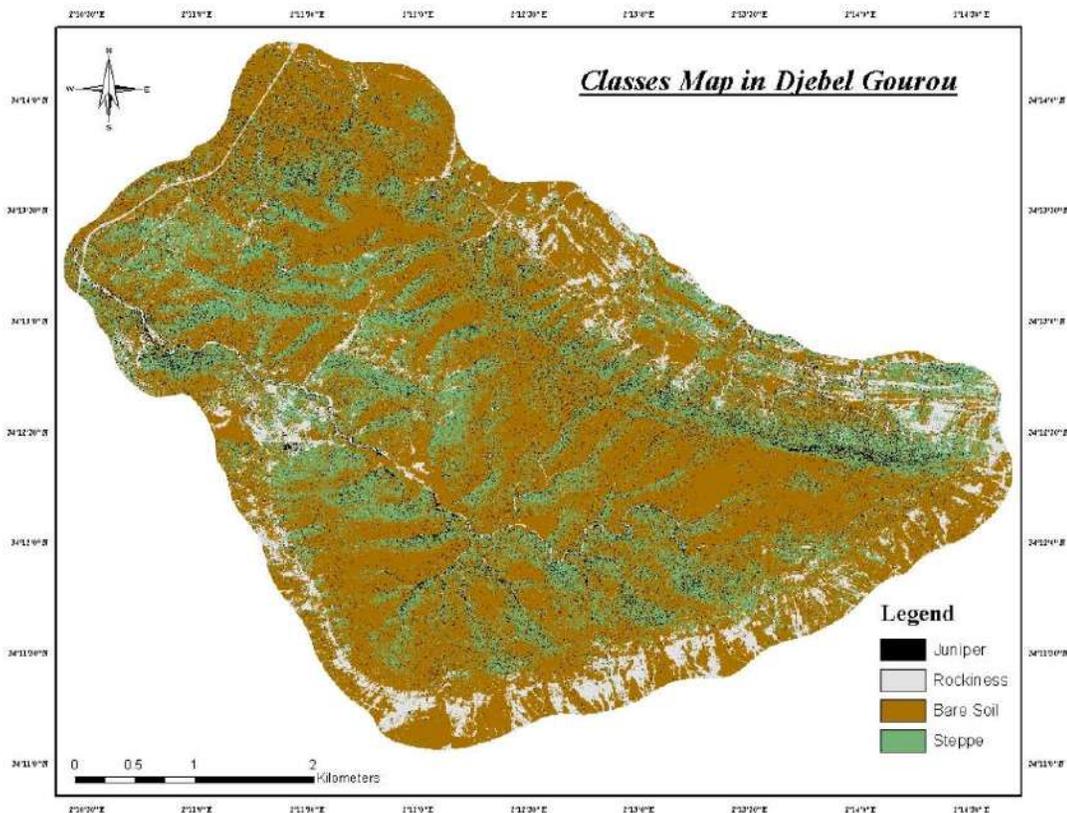


Figure 21.- Carte des classes établies dans la station de Djebel Gourou

- Station de Djebel El-Aouidja (DEA) ③

La carte des classes établies dans la station de Djebel El-Aouidja (fig. 23) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Djebel El-Aouidja (fig. 22).

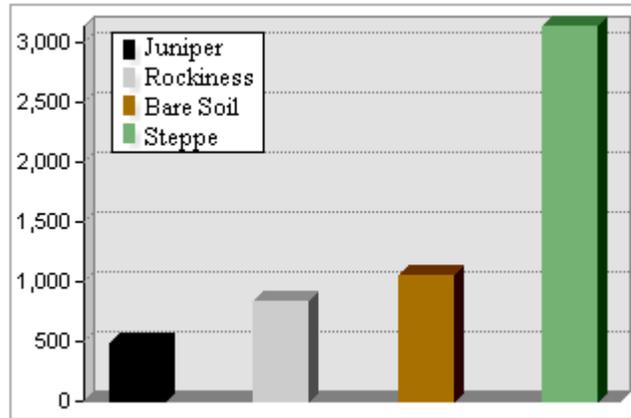


Figure 22.- Histogramme des classes de la station de Djebel El-Aouidja

La station montre une contribution élevée du sous-bois qui (ou steppe) constituée principalement des nappes alfatières protégées dans la station, la faible contribution des arbustes du Genévrier est dû peut être aux anciennes coupes de bois.

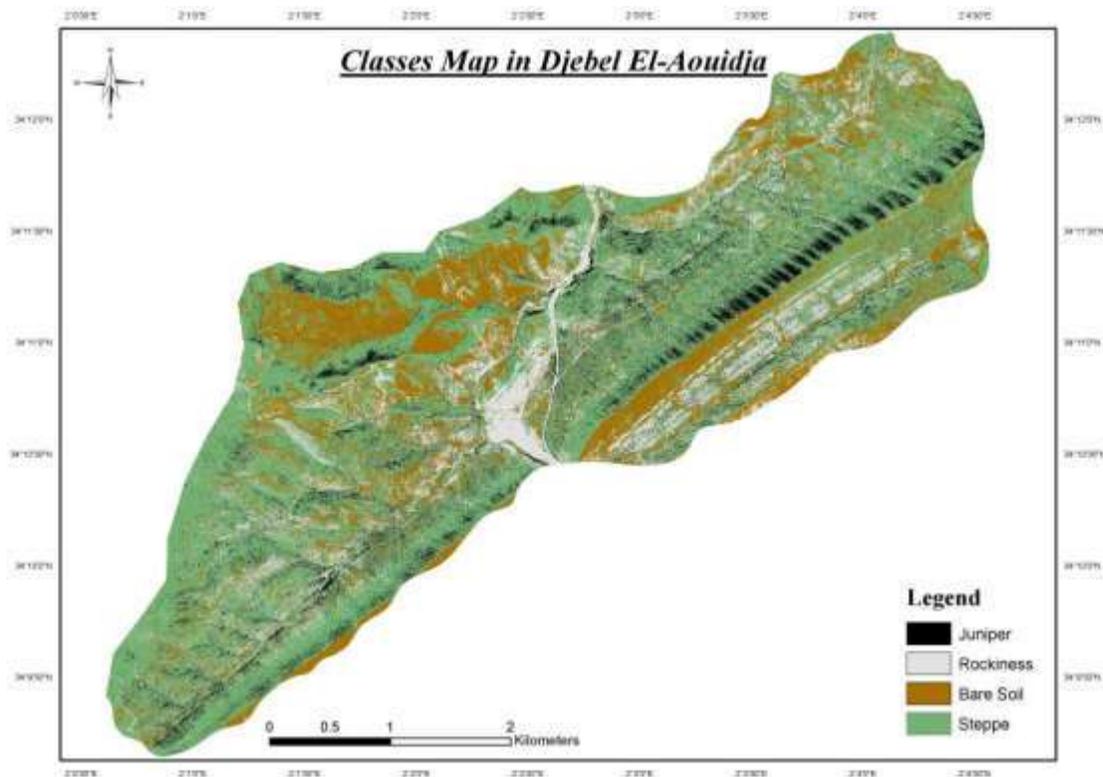


Figure 23.- Carte des classes établies dans la station de Djebel El-Aouidja

- Station de Kaf El-Guelta (KGL) ④

La carte des classes établies dans la station de Kaf El-Guelta (fig. 25) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Pin, Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Kaf El-Guelta (fig. 24).

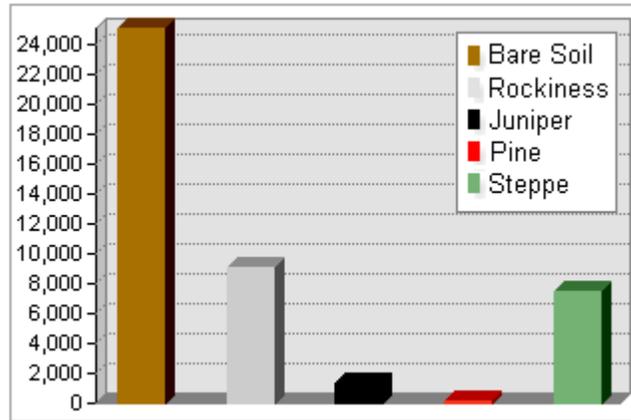


Figure 24.- Histogramme des classes de la station de Kaf El-Guelta

La station montre une très faible contribution des arbres du Pin et des arbustes du Genévrier, ceci est dû vraisemblablement à la pression anthropozoïque (coupes abusives du bois de chauffage et surpâturage) mais surtout au défrichement très avancé présenté par le taux élevé de la contribution du sol-nu.

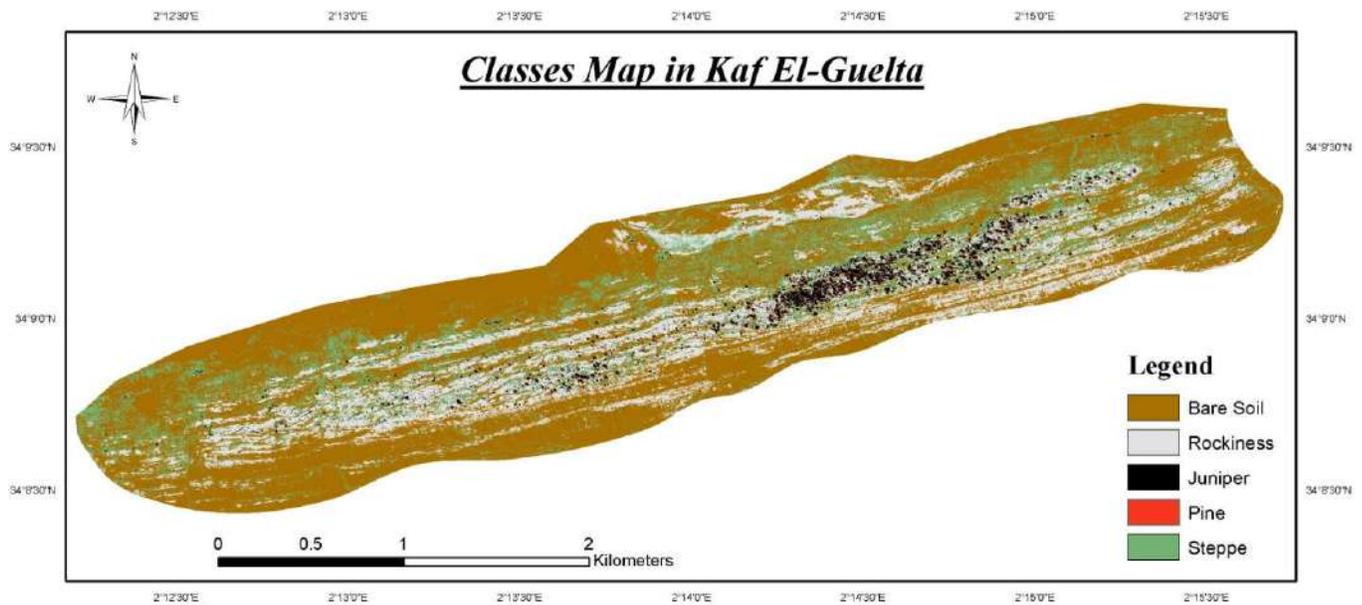


Figure 25.- Carte des classes établies dans la station de Kaf El-Guelta

- Station de Djebel Sidi Okba (DSO) ⑤

La carte des classes établies dans la station de Djebel Sidi Okba (fig.27) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe

du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Djebel Sidi Okba (fig.26).

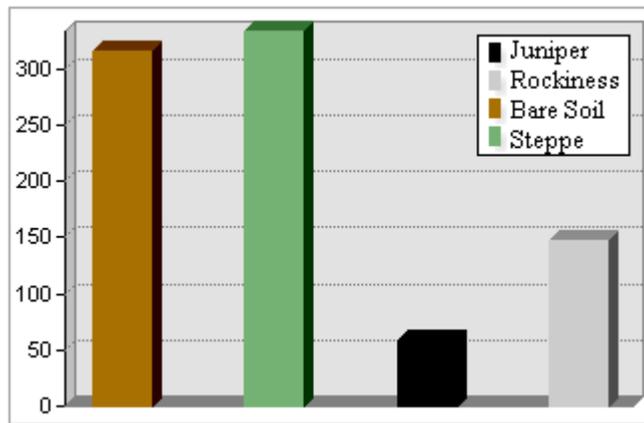


Figure 26.- Histogramme des classes de la station de Djebel Sidi Okba

La station montre une faible contribution des arbustes du Genévrier, ceci est dû peut être à l’altitude qui dépasse 1700 m, mais aussi à la pression anthropique.

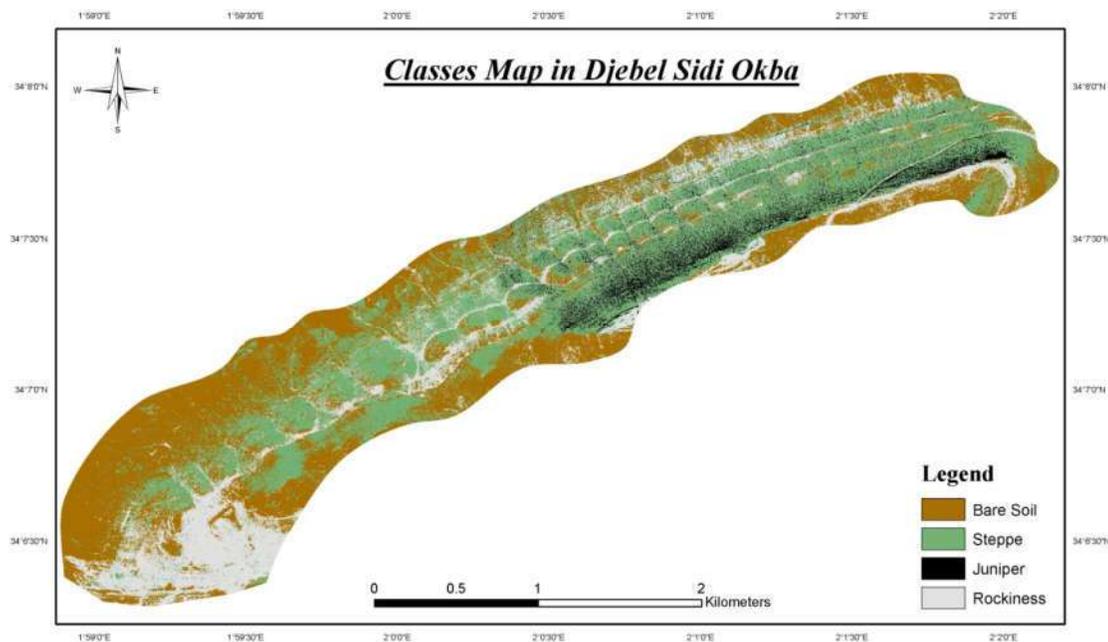


Figure 27.- Carte des classes établies dans la station de Djebel Sidi Okba

- Station de Djebel Zlagh (DZL) ⑥

La carte des classes établies dans la station de Djebel Zlagh (fig. 29) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Djebel Zlagh (fig. 28).

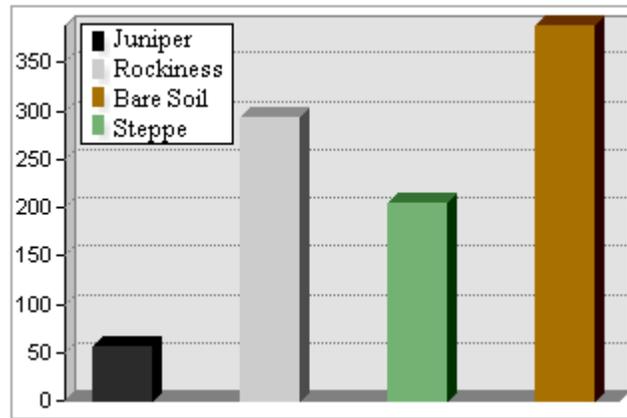


Figure 28.- Histogramme des classes de la station de Djebel Zlagh

La station montre une contribution faible des arbustes du Genévrier, ceci est dû peut être à l'altitude qui est près de 1600 m, mais aussi à la pression anthropozoïque.

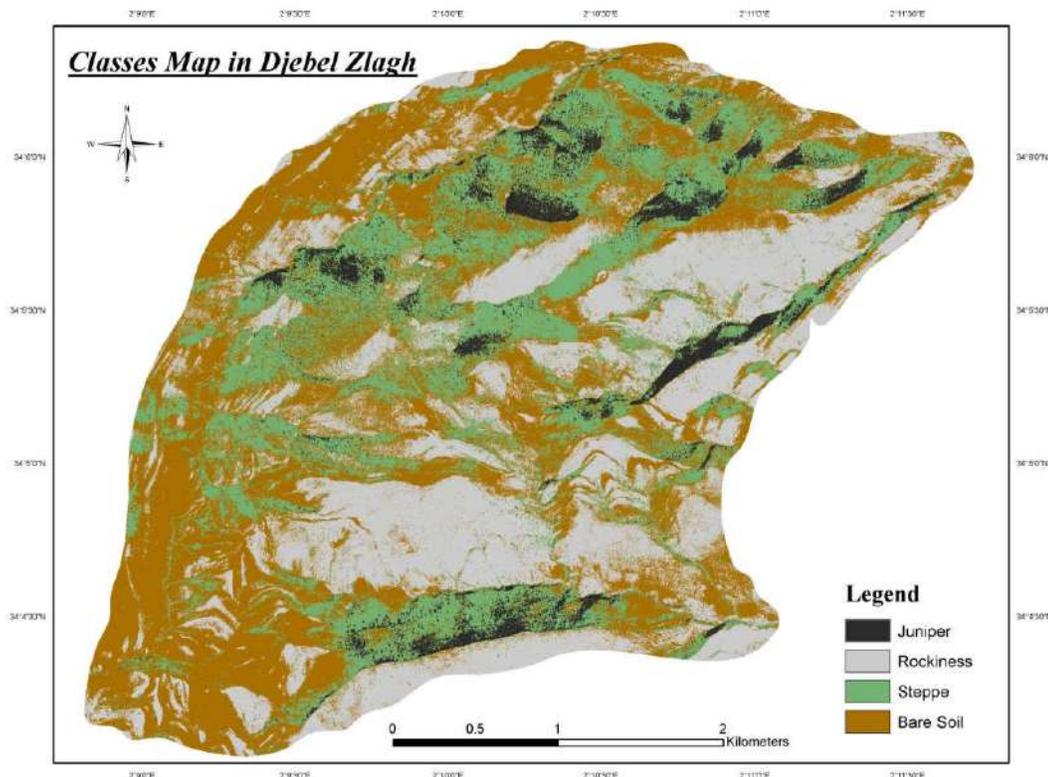


Figure 29.- Carte des classes établies dans la station de Djebel Zlagh

- Station de Gaadet Madna (GMD) ⑦

La carte des classes établies dans la station de Gaadet Madna (fig. 31) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Pin d'Alep, Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d'Affleurement-Rocheux. L'histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Gaadet Madna (fig. 30).

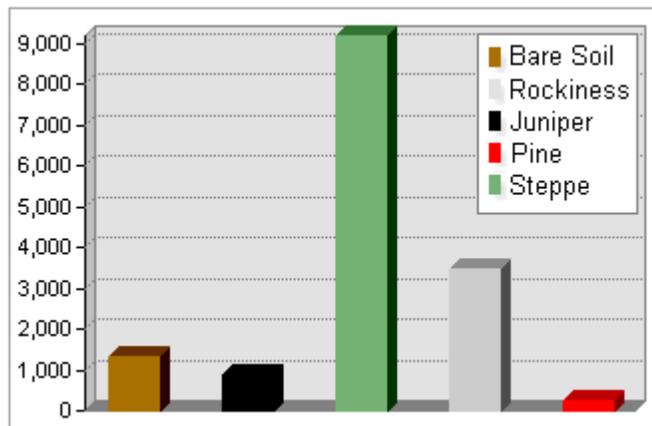


Figure 30.- Histogramme des classes de la station de Gaadet Madna

La station montre une faible contribution des arbres, des arbustes et du sol-nu, ceci est dû peut être aux importants affleurements rocheux, la contribution élevée de la classe du sous-bois (steppe) est expliquée par son importance sur les versants Sud qui sont presque dépourvus de ligneux.

- Station de Gaadet Anfous (GNF) ⑧

La carte des classes établies dans la station de Gaadet Anfous (Fig.33) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Pin d'Alep, Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d'Affleurement-Rocheux. L'historgramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Gaadet Anfous (Fig.32).

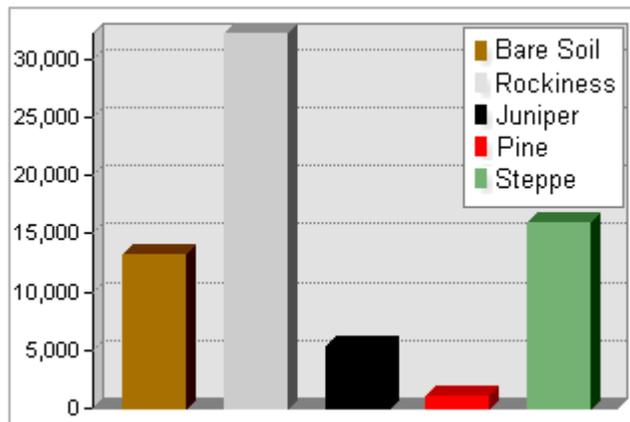


Figure 32.- Histogramme des classes de la station de Gaadet Anfous

La station montre une faible contribution des arbres, des arbustes, du sous-bois et du sol-nu, ceci est dû peut être aux affleurements rocheux très importants.

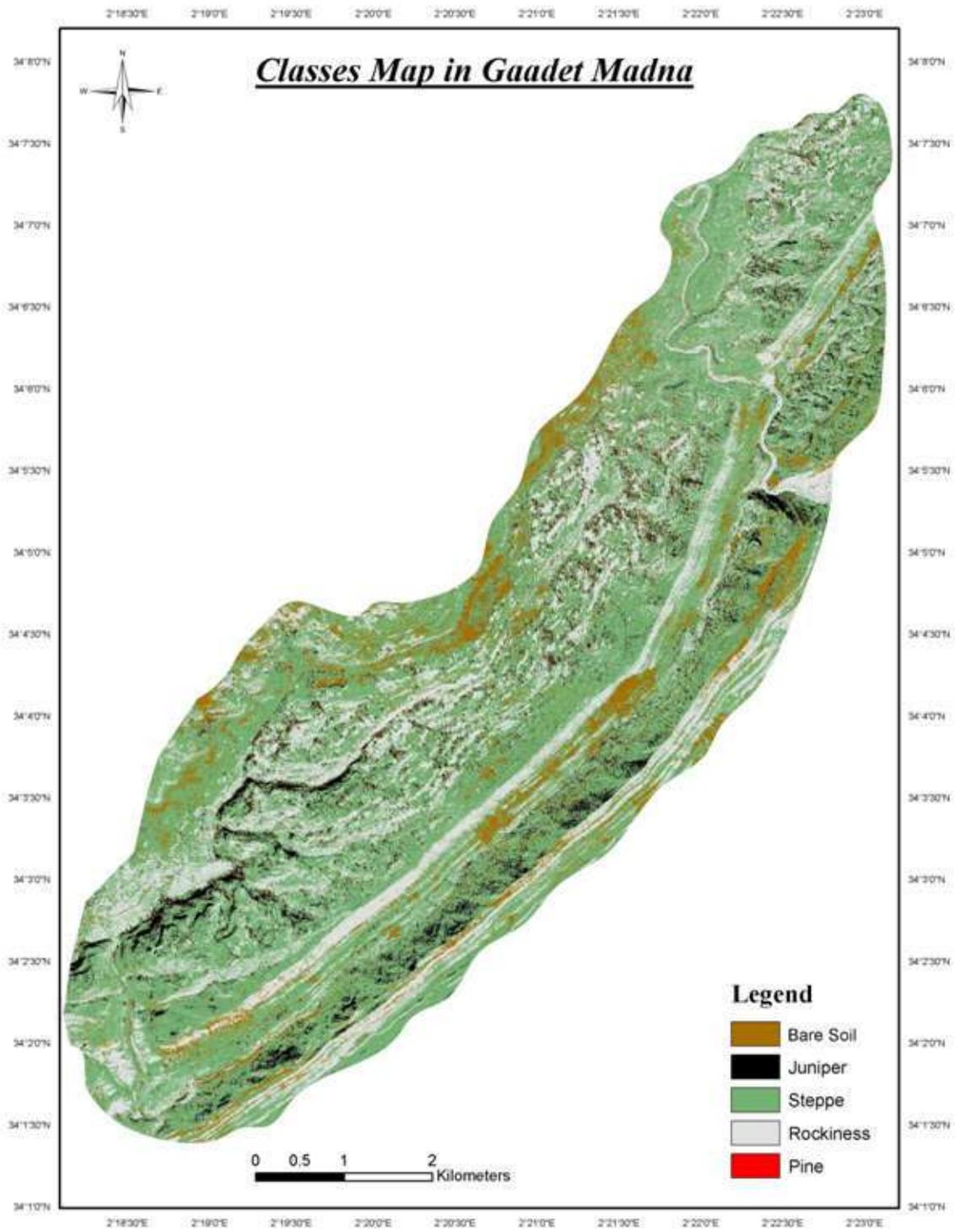


Figure 31.- Carte des classes établies dans la station de Gaadet Madna

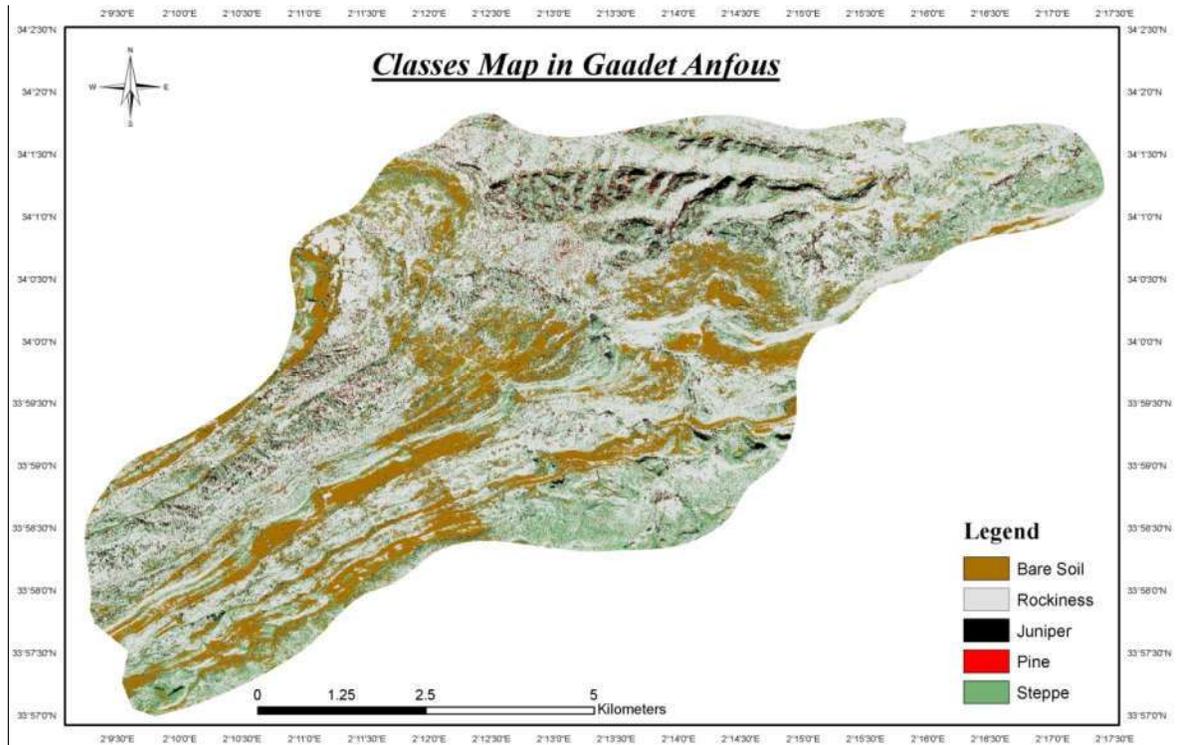


Figure 33.- Carte des classes établies dans la station de Gaadet Anfous

- Station de Gaadet Ez-Zellidj (GZL) ⑨

La carte des classes établies dans la station de Gaadet Ez-Zellidj (fig. 35) présente la distribution des composantes paysagères suivantes : Classe du Genévrier, Classe du Sous-bois (ou Steppe), Classe du sol-nu et Classe d’Affleurement-Rocheux. L’histogramme ci-dessous montre la contribution de chaque composante dans le paysage de Gaadet Ez-Zellidj (fig. 34).

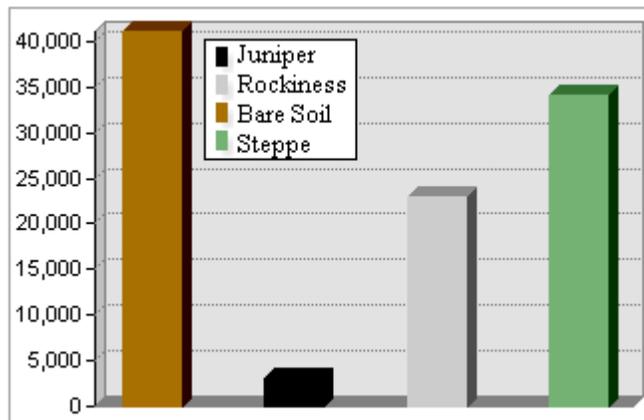


Figure 34.- Histogramme des classes de la station de Gaadet Ez-Zellidj

La station montre une faible contribution des arbres, des arbustes, du sous-bois et du sol-nu, ceci est dû peut être aux affleurements rocheux très importants.

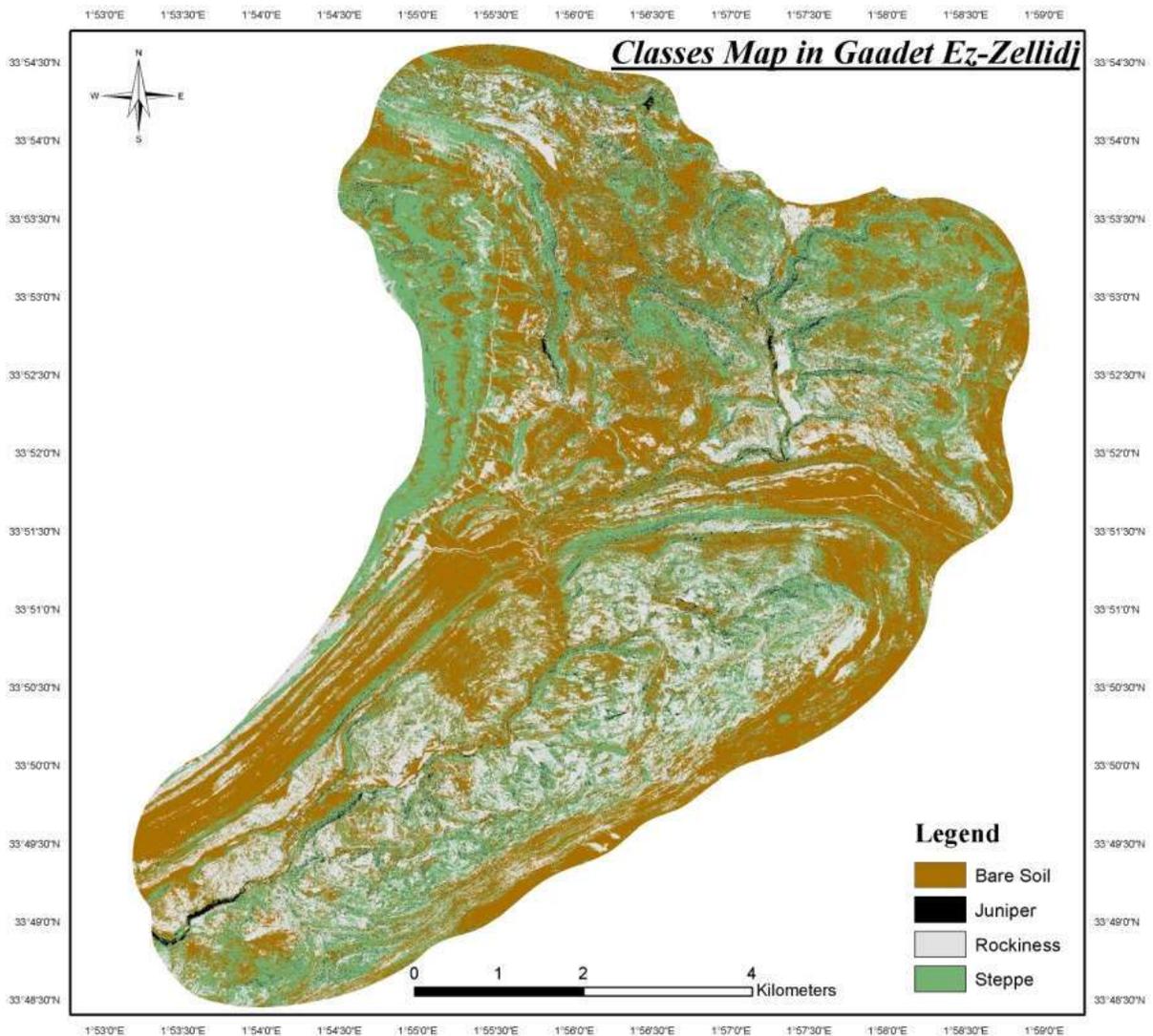


Figure 35.- Carte des classes établies dans la station de Gaadet Ez-Zellidj

Annexe 5.- Tableau de Synthèse pour tous les Y de l'ANOVA

	<u>GC₀</u>	<u>Gri</u>	<u>AD₀</u>	<u>PD₀</u>	<u>TD₀</u>	<u>LD₀</u>	<u>SD₀</u>	<u>AD_i</u>	<u>PD_i</u>	<u>SD_i</u>
R²	0.9572	0.8966	0.9122	0.9047	0.9527	0.9743	0.9336	0.9399	0.9276	0.9584
F	70.3084	27.2554	32.6678	29.8516	63.3591	119.1046	44.2069	49.1502	40.2463	72.4681
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Ele	0.0600	3.5125	0.0928	0.6817	0.0360	0.0694	12.0632	6.8149	2.3378	15.7261
	0.8087	0.0743	0.7635	0.4179	0.8513	0.7947	0.0022	0.0160	0.1405	0.0007
Slp	11.5857	0.1514	1.8922	0.7035	0.2175	0.0003	1.3603	0.0182	0.3773	0.7957
	0.0025	0.7009	0.1828	0.4106	0.6455	0.9853	0.2560	0.8939	0.5454	0.3820
Rck	1.3754	1.9984	1.2463	0.0659	0.0741	0.4608	0.0293	1.2535	0.6841	0.0196
	0.2534	0.1715	0.2763	0.7998	0.7880	0.5043	0.8656	0.2750	0.4171	0.8900
Plots	73.6817	5.9407	9.6827	30.8554	38.2261	75.2354	30.0672	9.3748	18.4771	19.3024
	< 0,0001	0.0021	0.0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0.0001	< 0,0001	< 0,0001

	<u>PCo</u>	<u>TCo</u>	<u>LCo</u>	<u>SCo</u>	<u>ARi</u>	<u>PRi</u>	<u>TRi</u>	<u>LRi</u>	<u>SRi</u>
R²	0.9694	0.8798	0.9622	0.9277	0.7966	0.8662	0.8494	0.5554	0.7324
F	99.5030	23.0144	79.9467	40.3046	12.3072	20.3459	17.7262	3.9261	8.6020
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0.0064	< 0,0001
Ele	0.0792	19.1330	13.5009	6.9875	0.1601	2.9804	7.3049	2.8983	0.0551
	0.7810	0.0002	0.0013	0.0148	0.6929	0.0983	0.0130	0.1028	0.8167
Slp	0.0004	1.3633	2.2320	0.3646	0.0028	0.0003	0.5956	0.1032	0.9017
	0.9838	0.2555	0.1494	0.5522	0.9582	0.9861	0.4485	0.7511	0.3526
Rck	1.0921	0.6674	0.9316	0.1033	1.7787	3.1881	1.2729	7.9168	7.0660
	0.3074	0.4227	0.3449	0.7509	0.1959	0.0880	0.2714	0.0101	0.0144
Plots	76.7437	2.0804	61.8382	10.6314	5.4176	4.0200	3.7315	2.8730	1.9765
	< 0,0001	0.1179	< 0,0001	< 0,0001	0.0034	0.0135	0.0183	0.0469	0.1334

Annexe 6.- Variables avec un coefficient > 0,55 de l'Analyse Canonique de Corrélation

<u>Variables</u>	<u>GCo</u>	<u>GRI</u>	<u>ADo</u>	<u>PDo</u>	<u>TDo</u>	<u>LDo</u>	<u>SDo</u>	<u>ADi</u>	<u>PDi</u>	<u>SDi</u>	<u>PCo</u>
<u>GCo</u>	1	-0.0179	0.4378	0.2781	0.3933	0.4145	0.0152	0.2465	-0.6889	-0.2210	-0.7493
<u>GRI</u>	-0.0179	1	0.6343	-0.4754	-0.6124	-0.6050	-0.7404	0.8082	-0.3976	-0.6675	0.3601
<u>ADo</u>	0.4378	0.6343	1	-0.3737	-0.2296	-0.2217	-0.5830	0.9235	-0.8726	-0.8425	0.1632
<u>PDo</u>	0.2781	-0.4754	-0.3737	1	0.0966	0.0787	0.0172	-0.4656	-0.0515	0.1586	-0.4490
<u>TDo</u>	0.3933	-0.6124	-0.2296	0.0966	1	0.9690	0.7910	-0.3909	0.0337	0.5077	-0.5676
<u>LDo</u>	0.4145	-0.6050	-0.2217	0.0787	0.9690	1	0.8082	-0.3825	0.0293	0.5085	-0.5747
<u>SDo</u>	0.0152	-0.7404	-0.5830	0.0172	0.7910	0.8082	1	-0.7276	0.5170	0.8674	-0.4123
<u>ADi</u>	0.2465	0.8082	0.9235	-0.4656	-0.3909	-0.3825	-0.7276	1	-0.7749	-0.9055	0.2961
<u>PDi</u>	-0.6889	-0.3976	-0.8726	-0.0515	0.0337	0.0293	0.5170	-0.7749	1	0.7960	0.1482
<u>SDi</u>	-0.2210	-0.6675	-0.8425	0.1586	0.5077	0.5085	0.8674	-0.9055	0.7960	1	-0.3527
<u>PCo</u>	-0.7493	0.3601	0.1632	-0.4490	-0.5676	-0.5747	-0.4123	0.2961	0.1482	-0.3527	1
<u>TCo</u>	0.0540	-0.7688	-0.6912	0.5153	0.5247	0.4980	0.7164	-0.8329	0.4598	0.7858	-0.5198
<u>LCo</u>	0.7518	-0.4404	-0.1779	0.4792	0.6305	0.6466	0.3956	-0.2913	-0.1755	0.2879	-0.9484
<u>SCo</u>	-0.6171	-0.2476	-0.7616	-0.0403	-0.1173	-0.1230	0.4374	-0.6951	0.9205	0.7599	0.0935
<u>ARi</u>	-0.5422	0.3867	-0.4077	-0.1639	-0.4170	-0.4183	-0.0713	-0.2149	0.6116	0.3155	0.2423
<u>PRi</u>	-0.0466	0.9834	0.6190	-0.5637	-0.5006	-0.4922	-0.6435	0.8005	-0.3663	-0.6076	0.3595
<u>TRi</u>	-0.5717	0.0091	-0.6295	-0.0796	-0.1440	-0.1493	0.2111	-0.4730	0.7805	0.5448	0.1234
<u>LRi</u>	-0.4744	0.1133	-0.1711	-0.2562	-0.3767	-0.3798	-0.2192	0.0413	0.3008	-0.0761	0.3985
<u>SRi</u>	0.1400	0.6143	0.8135	-0.3253	-0.3462	-0.3405	-0.5864	0.7686	-0.6387	-0.7283	0.3554
Ele	0.0641	-0.7505	-0.8166	0.5003	0.5234	0.5127	0.7399	-0.9052	0.5920	0.8859	-0.6409
Slp	-0.4508	-0.2593	-0.7323	0.0307	-0.1555	-0.1682	0.3251	-0.6271	0.8171	0.6520	-0.1227
Rck	-0.1636	-0.4660	-0.8441	0.2948	0.2464	0.2347	0.5924	-0.8178	0.7545	0.8613	-0.4795

<u>Variables</u>	<u>TCo</u>	<u>LCo</u>	<u>SCo</u>	<u>ARi</u>	<u>PRi</u>	<u>TRi</u>	<u>LRi</u>	<u>SRi</u>	<u>Ele</u>	<u>Slp</u>	<u>Rck</u>
<u>GCo</u>	0.0540	0.7518	-0.6171	-0.5422	-0.0466	-0.5717	-0.4744	0.1400	0.0641	-0.4508	-0.1636
<u>GRI</u>	-0.7688	-0.4404	-0.2476	0.3867	0.9834	0.0091	0.1133	0.6143	-0.7505	-0.2593	-0.4660
<u>ADo</u>	-0.6912	-0.1779	-0.7616	-0.4077	0.6190	-0.6295	-0.1711	0.8135	-0.8166	-0.7323	-0.8441
<u>PDo</u>	0.5153	0.4792	-0.0403	-0.1639	-0.5637	-0.0796	-0.2562	-0.3253	0.5003	0.0307	0.2948

TDo	0.5247	0.6305	-0.1173	-0.4170	-0.5006	-0.1440	-0.3767	-0.3462	0.5234	-0.1555	0.2464
LDo	0.4980	0.6466	-0.1230	-0.4183	-0.4922	-0.1493	-0.3798	-0.3405	0.5127	-0.1682	0.2347
SDo	0.7164	0.3956	0.4374	-0.0713	-0.6435	0.2111	-0.2192	-0.5864	0.7399	0.3251	0.5924
ADi	-0.8329	-0.2913	-0.6951	-0.2149	0.8005	-0.4730	0.0413	0.7686	-0.9052	-0.6271	-0.8178
PDi	0.4598	-0.1755	0.9205	0.6116	-0.3663	0.7805	0.3008	-0.6387	0.5920	0.8171	0.7545
SDi	0.7858	0.2879	0.7599	0.3155	-0.6076	0.5448	-0.0761	-0.7283	0.8859	0.6520	0.8613
PCo	-0.5198	-0.9484	0.0935	0.2423	0.3595	0.1234	0.3985	0.3554	-0.6409	-0.1227	-0.4795
TCo	1	0.4242	0.4067	0.0312	-0.7425	0.0953	-0.2459	-0.6269	0.8860	0.4084	0.6831
LCo	0.4242	1	-0.2074	-0.3850	-0.4393	-0.1602	-0.3297	-0.3759	0.5932	0.0227	0.3884
SCo	0.4067	-0.2074	1	0.7010	-0.2456	0.8149	0.2424	-0.5519	0.5527	0.8741	0.7892
ARi	0.0312	-0.3850	0.7010	1	0.3910	0.7416	0.1941	-0.1747	0.1333	0.5728	0.4712
PRi	-0.7425	-0.4393	-0.2456	0.3910	1	0.0220	0.0963	0.6054	-0.7338	-0.2817	-0.4586
TRi	0.0953	-0.1602	0.8149	0.7416	0.0220	1	0.3032	-0.4422	0.3659	0.7060	0.6866
LRi	-0.2459	-0.3297	0.2424	0.1941	0.0963	0.3032	1	-0.2171	-0.1601	0.3372	0.0783
SRi	-0.6269	-0.3759	-0.5519	-0.1747	0.6054	-0.4422	-0.2171	1	-0.7732	-0.6081	-0.7746
Ele	0.8860	0.5932	0.5527	0.1333	-0.7338	0.3659	-0.1601	-0.7732	1	0.6031	0.8856
Slp	0.4084	0.0227	0.8741	0.5728	-0.2817	0.7060	0.3372	-0.6081	0.6031	1	0.8403
Rck	0.6831	0.3884	0.7892	0.4712	-0.4586	0.6866	0.0783	-0.7746	0.8856	0.8403	1

Annexe 7.- Caractéristiques physico-chimiques des sols dans les topographies.

Eléments	Méthodes d'analyses	Normes	Résultats				Interprétation
			Fond de vallon	Bas-versant	Pentes raides	Sommet	
Argile	Pipette de Robinson	Triangle texturale	0.7	0.21	0.42	0.05	Sol sableux
Limon			2.65	1.81	1.79	1.07	
Sable			96.65	97.88	97.97	98.88	
P ₂ O ₅ (ppm)	Spectrophotomètre	95.5	0.019	0.017	0.029	0.03	Très pauvre
K ₂ O (ppm)	Spectrophotomètre à Flamme	200	252.22	182.66	91.33* (très pauvre)	121.77	Pauvre
Calcaire totale (%)	Méthode volumétrique	< 5%	18.75	9.84	20.93	20.3	Moyenne
pH	pH-mètre 1/2.5	5.6 à 7	7.46	7.48	7.54	7.65	Peu alcalin
C.E (µs) à 25°C	Conductimètre 1/5	< 2 mmhos/cm	0.33	0.34	0.31	0.31	Non salé
Matière organique (%)	M.O. (%) = C (%) x 1.72	2.5 à 5 %	0.45	1.38* (pauvre)	0.25 (pauvre)	0.22	Très pauvre
C (%)	Méthode d'Anne	1.8 à 2.8	0.26	0.80* (pauvre)	0.14	0.12	Très pauvre
Humidité (%)	Etuve	/	1	4	1.4	1.5	Capacité de rétention faible

Article



Contents lists available at ScienceDirect

Acta Ecologica Sinica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chnaes

Relationship between topography and the distribution of matorral plant species in the Saharan Atlas: Case of Djebel Amour, Algeria

Mostafa Naceur Youcefi ^a, Mustapha Daddi Bouhoun ^a, Abdellah Kemassi ^{a,b,*}, Mohamed Didi Ould El-Hadj ^a

^a Protection of Arid and Semiarid Ecosystems Laboratory, Kasdi Merbah University, Ouargla 30000, Algeria

^b Matimatics and Applied Science Laboratory, University of Ghardaia, PB 455, Ghardaia 47000, Algeria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 November 2018

Received in revised form 4 February 2019

Accepted 20 May 2019

Available online xxxx

Keywords:

Djebel amour

Distribution

Plant species

Semiarid matorrals

Topography

ABSTRACT

One of the primary goals in community ecology is to determine the relative importance of processes and mechanisms that control biodiversity. The reduced coverage of vegetation and the severe losses of biodiversity in semi-arid matorrals have recently become serious concerns in the Saharan Atlas in southern Algeria. In terms of research, the control of the spatial distribution of vegetation by the topographic factors has not received the attention it merits in Djebel Amour's region. This study combined several multivariate analyses to assess quantitatively the extent and nature of the topographic influence on the distribution of matorral plant species. Thirty plots (20 m × 20 m) were selected according to their physiognomy for the field survey of vegetation and topography in a semiarid mountainous region. The distributions of vegetation differed significantly amongst topographies, indicating different environmental conditions and determine a turnover of important species. Most species colonize downslopes, and only some persist on steep-slopes and summits. The low coverage of vegetation (36.98%) on steep-slopes was due to the serious soil erosion and rockiness 66.5–83.1%. The low average richness in summits (39.67) was due to elevation and negative effect of trees. Elevation, then rockiness and slope were respectively the main topographic factors influencing the distribution of matorral plants. The relationship between topography and distribution could be described by a linear model. Seventeen linear models were built for eleven floristic variables with three topographic factors, elevation, rockiness and slope explained 26–83% of the variance in distribution, also four groups of plant species were listed according to topographic positions. The suitability of plant species to the topographic factors should be considered in the restoration of matorrals in the study area. The results of this study will be useful for selecting the appropriate species and the potential sites for seeding to improving damaged matorral ecosystems in this area. However, additional investigations on soils, water availability and microclimate are required to clarify the mechanism of distribution of plant species in these ecosystems.

© 2019 Ecological Society of China. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Vegetation is an important component of global ecosystems and plays important roles in the interception of rainfall, alleviation of runoff, prevention of desertification, and soil and water conservation in arid ecological systems [51]. Particularly, mountain forests are important storehouses of biological diversity, home to endangered species and an essential part of the global ecosystem, they can be centers of biological diversity and endemism, as suggested by factors such as habitat heterogeneity and difficulty of access for humans [22].

However, since the 19th century, forest cover has substantially increased in several mountain ranges of the world [23], they are undergoing major changes driven by factors related to logging, land-use change,

and natural disturbances [42]. As in the Mediterranean region, which presents an exceptional diversity of plant species, the landscape has been also modified during centuries by humans activities [1], and by the enlarged aridity, affecting composition and diversity [8].

To minimize this reduction in plant diversity, an ecological understanding of plant communities is essential [14]. Understanding the relationships between the environmental conditions and vegetation is a key issue in ecology and biodiversity conservation and may help to develop scientific knowledge to enhance restoration projects [48].

While climate is considered to be one of the main large-scale abiotic factors controlling the distribution of organisms and community composition, the importance of habitat properties is expected to increase at regional and particularly local scales [35]. At these scales, which are most relevant for management, forest biodiversity and habitats are strongly associated with forest structure and composition [49].

Natural disturbances play a major role in determining the structure and functioning of ecosystems, shaping forest and landscape dynamics

* Corresponding author at: Protection of Arid and Semiarid Ecosystems Laboratory, Kasdi Merbah University, Ouargla 30000, Algeria
E-mail address: akemassi@yahoo.fr (A. Kemassi).

[6]. They strongly affect species composition, structural properties, nutrient cycling, carbon storage, biodiversity and other ecosystem services [41].

There is a continuing debate on the ecological processes responsible for vegetation spatial patterns [27]. Moreover, the distribution of vegetation under specific climatic conditions is commonly controlled by one or two topographic factors [12], due to their influence on the water distribution, which could indirectly controls the vegetation patterns at different scales [21,40].

For example, topography influences climatic conditions [16], soil formation, infiltration, runoff, erosion, seed migration [18] and development of roots [3], all of which contribute to the distribution of vegetation.

This distribution is mainly constrained by topographic position and landform [44], rock and crevice microtopography [37], aspect [47], surface curvature, slope gradient [28,45], but it's constrained by elevation on regional and local scales (de [9]). Aspect affects the direction of flows, insolation, and the intensity of evaporation [5], surface curvature influences water migration and accumulation in landscapes by gravity (Florinsky and Kuryakova, 1996), gradient controls the velocity of surface flows [29], and elevation determines the altitudinal zonation of soil [43]. Combinations of these topographic factors determine the conditions for the growth and thus the distribution of plants.

These factors are usually used to quantify the effects of topography on the distribution of plants [24]. Many studies have quantified various aspects of the relationship between topography and distribution, such as coverage (Florinsky and Kuryakova, 1996), forest productivity [24], and plant species [40].

The main topographic factors influencing distribution vary widely amongst regions: some studies identified one main factor, for example, slope was a principal constrained factor in the hot and dry Jinsha River valley in China [28]; elevation was the main factor in the Oide River watershed in Japan [33]. Other studies detected two or more topographic factors most affecting distribution. A topographic wetness index and aspect were more highly correlated than slope with plant species composition in a dry warm river valley, in southwestern China [47]. Elevation and slope have significantly affected the pattern of vegetation in a *Pinus massoniana* forests in southern China [45]. Elevation and aspect were closely associated with shrub richness in a deciduous broad-leaved forest in China [12]. Elevation, slope gradient and rockiness were strongly correlated with vegetation patterns in Pakistan Desert [10].

Studies along topographical gradients can be particularly insightful because such gradients occur across smaller spatial scales, making field studies more feasible, and because mountains allow for the independent replication of these studies [34].

The spatial structure of matorrals on the rocky mountains of Djebel Amour's region is not understood, it has not been studied in detail before; these semiarid ecological systems presents a good case study of vegetation patterns and an interesting synthesis on natural forest ecosystems in mountainous region. Therefore, there is a great need for detailed investigations of structural attributes to increase our understanding for the dynamics of these natural matorrals and facilitate the development of strategies for restoring degraded ones. This study is the first comprehensive one for the entire plants community, since few studies have been carried out on the vegetation of Djebel Amour but focused on the recording of individual plant species [17,19].

In this study, our aim was to contribute to the knowledge and understanding of the structural attributes in mountainous matorral in southern Algeria by presenting new data focused on the spatial variations of landcover and diversity along topographic gradients for the entire vegetal community from valley-bottoms to summits.

More specifically, we asked the following research questions for the matorrals of Djebel Amour's region: (i) what was the size of spatial variation in landcover and diversity of species according to the topographic position at the mountainous landscape? and (ii) what were the most important topographic factors which affecting more, elevation, slope or rockiness?

Specifically, we hypothesized that in this semiarid mountainous landscape: (i) Changes in total plant cover, species diversity and distribution will be principally determined by factors associated to the topographic position. (ii) Changes in woody plant distribution will be mainly determined by factors related to elevation and slope gradients, whereas changes in herbaceous plant will be primarily determined by factors related to the rock cover then by total plant cover. We expect that topographic factors strongly act on the distribution of plant communities ([9]).

2. Materials and methods

2.1. Study area

Study area is in a rocky mountainous area in Djebel Amour's region, near Madna village (34°04'28"N, 02°19'42"E), municipality of Oued M'Zi, Laghouat Province, Algeria (Fig. 1).

[19], reports that soils in this area are less humiferous, on hard limestones more or less dolomitic or on siliceous sandstone, and are permeable with coarse texture. The average elevation is 1134 m at the valley-bottom and 1244 m on the summit. According to the meteorological data of the period (1995–2015), the bioclimatic stage is a typical semi-arid and cold with a mean annual precipitation of 286.4 mm which falls mainly during autumn and winter. The mean annual temperature is 12.4 °C with a dry season of six months from late April to mid-October. The coldest month is January with an average temperature of –4.2 °C, and the hottest one is July with 34.1 °C average.

Sampling (Fig. 2) were established in the north facing of a vast sandstone mountain surrounded by steep-slopes hardly accessible covered with heterogeneous matorral of *Juniperus phoenicea* L., *Pinus halepensis* Mill., *Quercus ilex* L. and *Pistacia atlantica* Desf. [19]. In a typical area of 0.42 km² (34°07'12.80"–34°06'38.22"N, 02°21'04.33"–02°21'37.69"E), at elevation of 1122–1255 m, slope gradient of 0–46° and rock cover of 0–83.1%. The matorral is a natural vegetal formation protected by the Forest Service, this allowed plants a natural growth and distribution far from anthropozoic pressures.

2.2. Sampling design and data collection

Field investigations were conducted during March–May 2016. Six transects were selected in the north facing of the mountain for their topographic conditions and vegetation physiognomies, each transect had five positions of valley-bottom, downslope, mesoslope, upslope and summit (Table 1), in order to crossing all the present physiognomies of vegetation. Six plots (20 × 20 m² × 6) were established at each topographic position for a total of 30 plots. Data for trees and large shrubs were collected from each plot, data for shrubs were collected from the four 10 × 10 m² quadrats within the plot, and data for herbs were collected from the four 5 × 5 m² quadrats of each shrub quadrat. The 30 plots contained 120 shrub quadrats and 480 herb quadrats, in a total of 120 areas carefully investigated.

The average coverage, height and number of trees per plot were 6.36%, 6.8 m, and 7.9; those of large shrubs were respectively 19.61%, 2.3 m, and 9.3. The coverage of the understory vegetation (shrubs and herbs) ranged from 11.64 to 51.27%, with a mean of 29%. The number of species varied from 37 to 73 between plots, with an average richness of 56.53. The plots contained a total of 123 plant species: 3, 2, 10, and 108 species of respectively trees, large shrubs, shrubs and herbs, belonging to 95 genera and 31 families. The most represented are Asteraceae, Poaceae and Fabaceae, with respectively 36, 13 and 11 species.

2.3. Calculated plant species variables

In addition to the field data, some parameters for plants were calculated based on the collected field data. Indices of species richness,

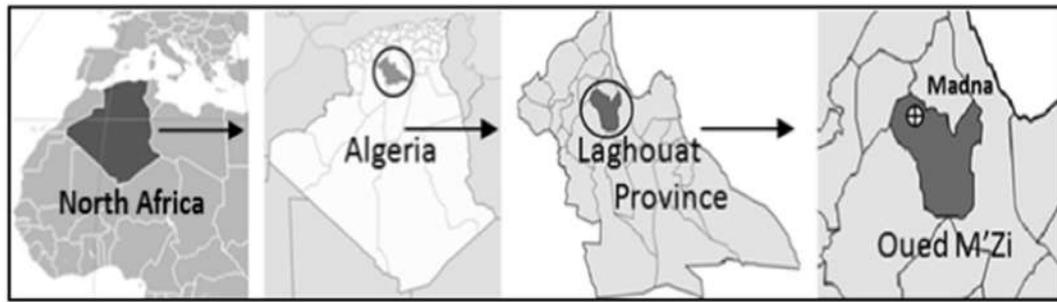


Fig. 1. Location of the study region.

diversity, evenness and dominance in each plot were obtained as described by Marques [32]:

The Margalef index for richness was calculated as

$$D_M = \frac{(S-1)}{\log_2 N} \quad (1)$$

The Shannon–Weiner index for diversity was calculated as

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i, P_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

The Pielou evenness index for was calculated as

$$I' = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

The Simpson index for dominance was calculated as

$$D_s = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (4)$$

The indices for evaluation of similarity between the topographic positions were obtained as described by Magurran [31]:

$$J = \frac{c}{a+b+c} \text{ (The Jaccard index)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{2c}{a+b} \text{ (The } \beta \text{ index of S rensen)} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\gamma_2 / \alpha_2}{\text{Total number of habitats}} \text{ (The } \beta \text{ index of Whittaker)} \quad (7)$$

where S is the number of species, N is the total number of individuals, and P_i is the proportion of individuals belonging to species i in the sample, n_i is the number of individuals of the species i , a and b are the numbers of unique species for respectively *habitat-1* and *habitat-2*, c is the number of communes species between the two habitats, γ_2 is the total number of species listed in all the habitats and α_2 is the average number of species per habitat. Descriptions of the selected variables for plants are provided in Table 2.

2.4. Topographic variables

The topographic variables for each plot were, slope gradient (*Slp*), elevation (*Ele*), rock cover (*Rck*) and topographic position index (*TPI*)

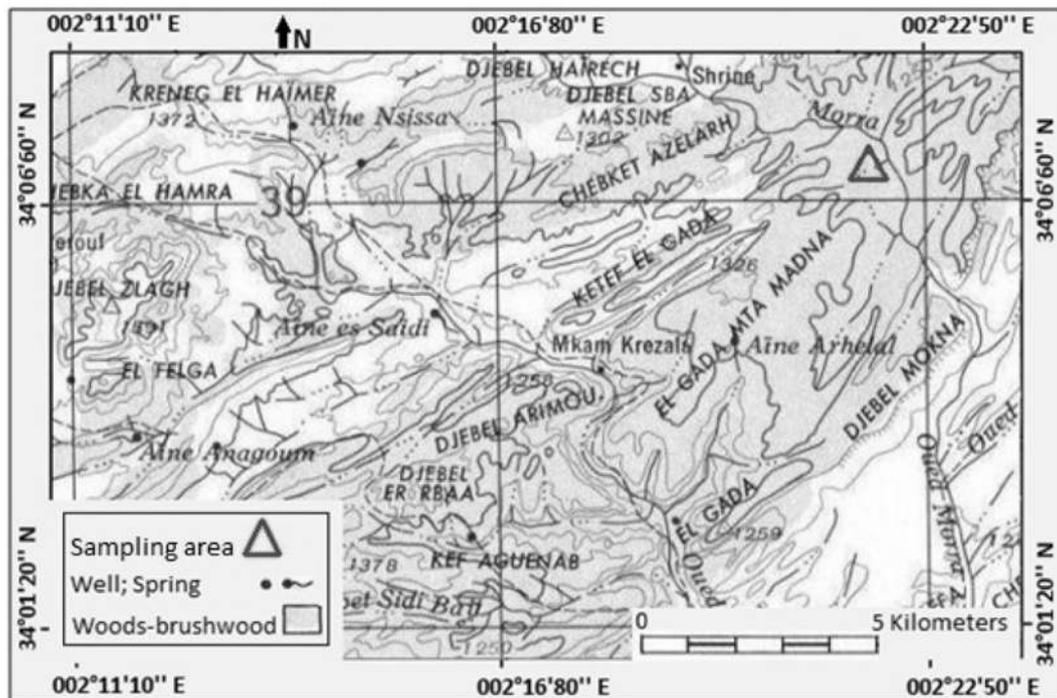


Fig. 2. Location of study area. http://www.lib.utexas.edu/maps/north_africa/txu-oclc-6949452-ni31-6.jpg.

Table 1
Characteristics of the sample plots.

Topographic position	Plot number	Elevation (m)	Slope (deg)	Rock cover (%)	Number of species	Vegetation coverage (%)		
						Global	trees, large shrubs	Unders-tory
Valley-bottom	1	1122	1	0	69	47.49	0	47.48
	6	1126	4	0	69	43.42	1.60	41.82
	11	1131	12	0	67	43.07	0	43.07
	16	1137	11	9	55	45.59	5.36	40.23
	21	1142	14	14.5	54	38.81	4.93	33.87
	26	1146	22	19.6	51	36.10	5.53	30.56
Downslope	2	1148	16	31.1	72	86.84	35.57	51.27
	7	1154	21	36	73	74.96	30.81	44.15
	12	1159	19	33.6	70	78.67	33.82	44.84
	17	1164	23	36.9	62	73.27	30.32	42.95
	22	1168	26	39.4	62	61.82	25.56	36.25
	27	1172	31	37.2	56	55.22	27.23	27.97
Mesoslope	3	1176	27	66.5	72	47.02	16.04	30.97
	8	1182	33	70.5	68	40.76	11.40	29.35
	13	1185	32	69.5	72	43.68	14.15	29.53
	18	1192	35	71.2	67	36.76	12.68	24.08
	23	1197	37	76.5	57	34.39	9.09	25.30
	28	1199	39	78.5	53	33.74	8.53	25.20
Upslope	4	1202	34	72.4	60	38.27	11.99	26.28
	9	1207	41	78.4	50	32.57	9.25	23.32
	14	1214	40	75.1	58	35.03	9.79	25.23
	19	1217	42	77.4	55	35.38	12.81	22.58
	24	1224	44	82.4	43	33.21	12.87	20.33
	29	1225	46	83.1	43	32.97	9.57	23.40
Summit	5	1233	17	64.8	38	72.45	59.81	12.64
	10	1237	22.5	71.4	37	67.39	55.75	11.64
	15	1242	21.5	70.8	37	65.85	53.72	12.12
	20	1245	24.5	72.3	38	65.93	52.43	13.50
	25	1251	27.5	75.6	43	65.90	51.03	14.87
	30	1255	28	79.2	45	67.57	52.15	15.42

Table 2
List of plant variables.

Variable	Description	Reference
Coverage (Co)	GCo Global coverage of vegetation	
Richness (Ri)	GRi Total number of plant species	
Coverage rate (Co):	TCo For tree species	
	LCo For large shrub species	
	SCo For shrub species	
	PCo For perennial herb species	
Richness (Ri): The Margalef index	ACo For annual herb species	
	TRi For tree species	Marques [32]
	LRi For large shrub species	
	SRi For shrub species	
	PRi For perennial herb species	
Diversity (Di): The Shannon–Weiner index	ARDi For annual herb species	
	TRDi For tree species	Marques [32]
	LDi For large shrub species	
	SDi For shrub species	
	PDi For perennial herb species	
Homogeneity (Ho): The Pielou index	ADi For annual herb species	
	THo For tree species	Marques [32]
	LHo For large shrub species	
	SHo For shrub species	
	PHo For perennial herb species	
Dominance (Do): The Simpson index	AHo For annual herb species	
	TDo For tree species	Marques [32]
	LDo For large shrub species	
	SDo For shrub species	
	PDo For perennial herb species	
Similarity (J, β): The Jaccard index	ADo For annual herb species	
	J	For comparison of two habitats
The Sørensen index	β _S	As complement of (J) Magurran [31]
The Whittaker index	β _W	For comparison of several habitats

(Table 3). *Slp*, *Ele* were measured using a GPS, and *Rck* was estimated during the field investigation. The topographic position index (*TPI*) applied by Laamrani et al. [24] was calculated as follows:

$$TPI_{jk}(X) = 1 - \frac{X_{jk} - X_{j \min}}{X_{j \max} - X_{j \min}} \quad (8)$$

where $X_{j \max}$ is the elevation of the top j transect (m); $X_{j \min}$ is the elevation of the bottom j transect (m); j (1, 2, 3, ...) is the sequence number of a transect; and k (1, 2, 3, ...) is the sequence number of the quadrats for transect j .

2.5. Data analysis

To identify the relationships between topography and the distribution of matorral plant species, we applied a four-staged analysis. Starting with a principal component analysis (PCA) in order to define non-correlated plant indices, and eliminate any redundancy amongst the variables. The PCA used a correlation coefficient matrix so that each factor (principal component) only has a few variables with large loadings, which facilitates interpretation. A variable was deemed significantly correlated with the principal component at correlations > 0.55. A principal component was deemed significant at eigenvalues > 1 [47].

Table 3
List of topographic variables.

Variable	Description	Reference
Elevation (<i>Ele</i>)	The height above the sea level measured by Garmin <i>Dakota</i> GPS in each plot (m).	
Slope gradient (<i>Slp</i>)	The gradient in the direction of maximum slope measured by GPS in each plot (°)	
Rock cover (<i>Rck</i>)	Field estimation of percent rock cover (%)	
Topographic position index (<i>TPI</i>)	The <i>TPI</i> classified the landscape into discrete topographic classes. <i>TPI</i> values tended towards hilltops (0) and depressions (1) using Eq. (8).	Laamrani et al. [24]

Secondly, Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) with Ward's method identified the groups for plant species characteristics distributed in the various topographies. Then, a Tukey's one-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare the difference for each variable amongst the groups identified by AHC.

Thirdly, a canonical correlation analysis (CCA) allowed us to detect the main topographic factors influencing the distribution of plant species. This technique consists of finding several linear combinations of X variables and the same number of linear combinations of Y variables in two data sets. Linear combinations are the canonical variables, and the correlations between corresponding pairs of canonical variables are canonical correlations. Each pair of canonical variables represents an independent dimension between the two sets of variables [47]. At the fourth stage, a multiple linear stepwise regression analysis was applied for each species variable selected by above analyses, enabled us to determine the influence of the specific topographic factors on the distribution of the matorral plant species.

In order to detect which species are specialists in every topography, we carried out a second AHC whose variables to be clustered are densities and frequencies data. Densities were prepared so that each species would have density values ranging from 0 to 1 by the ratio of the number of individuals of the species i in the topography to the maximal number of individuals recorded of this species i in all topographies (ni/ni_{max}), this allows to have a maximal value of density (equal to 1) of the species i in the most colonized topography by this species, this values were multiplied by the frequency values, frequency is the ratio of the number of times the species i is present in the topography to the total number of plots in this topography, this also allows to have a maximal value of frequency (equal to 1) of the species i in the most colonized topography by this species.

All analyses were conducted in XLSTAT 5.3 Pearson Edition (Addinsoft XLSTAT v.2014.5.3, NY: USA), the multiple linear stepwise regression analysis was conducted in SPSS 20.0 (IBM Corp. SPSS v.20.0, Armonk, NY: USA).

3. Results

3.1. Characteristics of plant species and the topographies

The first five principal components (eigenvalues > 1) identified by the PCA explained 94.75% of the total variance, with the first two accounting of 79.75% (Table 4). The loadings indicated that each principal component was associated with specific indices (>0.55):

The first component was associated with three topographic indices *Ele*, *TPI* and *Rck*, and twenty plant species indices *GRI*, *ADo*, *TDo*, *LDo*, *SDo*, *ADi*, *PDi*, *TDi*, *LDi*, *SDi*, *ACo*, *TCo*, *SCo*, *PRi*, *SRi*, *AHo*, *PHo*, *THo*, *LHo*, and *SHo* (see Tables 2 and 3 for definitions of the abbreviations); the second component was associated with one topographic factor *Slp*, and twelve plant species indices *GCo*, *TDo*, *LDo*, *PDi*, *LDi*, *PCo*, *LCo*, *SCo*, *ARi*, *TRi*, *PHo* and *LHo*; the last three components were associated with a single plant species indice each, were respectively: *PDo*, *PRi*, and *LRi*. Some species indices were not closely related to the topographic ones. This analysis stage enabled us to eliminate redundancy information, and the most important indices related to topography would be identified by the next analysis stage.

3.2. Topographical distribution

The AHC based on the indices selected by the PCA clustered the plots into five groups at Ward distances of 10–15 (Fig. 3). The five groups belonged to four topographic positions, two groups on summits: plots 10, 25, 30, and plots 5, 15, 20; one group on the steep-slopes: plots 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18, 19, 23, 24, 28, 29; one group in downslopes: plots 2, 7, 12, 17, 22, 27; and the last group: plots 1, 6, 11, 16, 21, 26 in the valley-bottoms. The features of plant species for each group are shown in Table 5.

Table 4

Factor loading, eigenvalues, and cumulative percentages of principal component analysis.

Factor	Principal component				
	1	2	3	4	5
<i>Ele</i>	-0,9667	0,0020	0,2222	0,0172	-0,0107
<i>TPI</i>	0,9527	-0,0390	-0,2239	-0,1227	0,0722
<i>Slp</i>	-0,5489	-0,6834	0,2555	0,0972	0,1908
<i>Rck</i>	-0,8392	-0,3582	0,3080	0,2184	0,0975
<i>GCo</i>	0,0225	0,8534	0,3803	0,1992	0,0885
<i>GRI</i>	0,8219	-0,2157	0,1853	0,4671	-0,0521
<i>ADo</i>	0,8471	0,4415	-0,0567	0,1423	-0,0217
<i>PDo</i>	-0,4049	0,2557	0,6066	-0,5111	-0,2293
<i>TDo</i>	-0,6282	0,6153	-0,3709	0,2088	0,0696
<i>LDo</i>	-0,6223	0,6232	-0,3761	0,2276	0,0815
<i>SDo</i>	-0,8574	0,1404	-0,4045	0,1804	0,0017
<i>ADi</i>	0,9400	0,2317	-0,0183	0,2016	0,1094
<i>PDi</i>	-0,6520	-0,7251	-0,1697	0,0320	0,0079
<i>TDi</i>	-0,8295	0,5080	-0,1278	0,0785	-0,0495
<i>LDi</i>	-0,7760	0,6026	-0,0761	0,0941	0,0375
<i>SDi</i>	-0,9370	-0,2310	-0,1263	0,1680	-0,0706
<i>ACo</i>	0,9579	0,1783	0,0077	0,1830	-0,0241
<i>PCo</i>	0,5344	-0,5813	-0,4955	-0,2927	-0,1396
<i>TCo</i>	-0,8736	0,0996	0,0881	-0,1490	-0,2127
<i>LCo</i>	-0,5230	0,6524	0,4092	0,1685	0,2641
<i>SCo</i>	-0,5668	-0,7766	0,0109	0,1392	-0,0747
<i>ARi</i>	-0,0892	-0,7873	0,2089	0,4310	-0,2443
<i>PRi</i>	0,7798	-0,1892	0,0604	0,5549	-0,0499
<i>TRi</i>	-0,3787	-0,7407	0,0786	0,3237	0,0533
<i>LRi</i>	0,1391	-0,5431	-0,0713	-0,2090	0,7256
<i>SRi</i>	0,7947	0,2041	-0,1156	0,0834	-0,3387
<i>AHo</i>	0,9353	0,2531	-0,0467	0,1719	0,1362
<i>PHo</i>	-0,7408	-0,6301	-0,1947	-0,0276	0,0058
<i>THo</i>	-0,8209	0,5234	-0,1385	0,0731	-0,0466
<i>LHo</i>	-0,7736	0,6058	-0,0949	0,0840	0,0306
<i>SHo</i>	-0,9498	-0,1688	-0,1462	0,1457	-0,0731
Eigenvalue	16,9694	77,533	19,023	17,271	10,213
Of variance (%)	54,7401	25,0106	61,365	55,713	32,945
Cumulative (%)	54,7401	79,7507	85,8873	91,4586	94,7531

Notes: See Tables 2 and 3 for definitions of the abbreviations. Close relationships (>0.55) between a variable and a principal component are in bold type.

The ANOVA indicated that plant species characteristics differed significantly between any two groups. The indices were generally highest for downslopes and valley-bottoms, and lowest for summits and steep-slopes. The results of similarity indices obtained between the topographies selected by the AHC are shown in Table 6. The low values of β and β_s , are obtained where the number of similar species is lower, unlike β_w , the low values are obtained when similar species are numerous [31].

The comparison of diversity between topographies shows that whatever the index used, similarity is higher when interbreeding the topographies which succeed one another in the mountainous landscape (*VB*. vs. *DS*.), indicating a presence of characteristic species in smaller proportion compared to generalist species; and thus, similarity is lower when interbreeding the topographies far from one another (*S*. vs. *VB*.), indicating that topographies have different environmental conditions and determine a turnover of important species (de Bello et al., 2007).

3.3. The key topographic factors influencing distribution

Table 7 shows the three canonical correlation coefficients of the CCA derived from floristic and topographic variables selected by the PCA. Only the first and second canonical correlation coefficients were statistically significant ($p < .05$). Correlations between initial variables and canonical variables for plant species and topography are shown in Table 8.

The variables with loading coefficient > 0.55 were: *GCo*, *GRI*, *ADo*, *TDo*, *LDo*, *SDo*, *ADi*, *PDi*, *SDi*, *TCo*, *SCo*, *ARi*, *PRi*, *TRi*, *LRi*, and *SRi* for plant species, and *Ele*, *Rck*, and *Slp* for topography; *PDo*, *PCo*, *LCo* were with low loading coefficients. *Ele* was the only topographic variable influencing the distribution in *GRI*, *PCo*, *LCo* and *PRi*; *Ele* and *Rck* were the main topographic variables influencing the distribution in *SDo* and *TCo*; *Ele*,

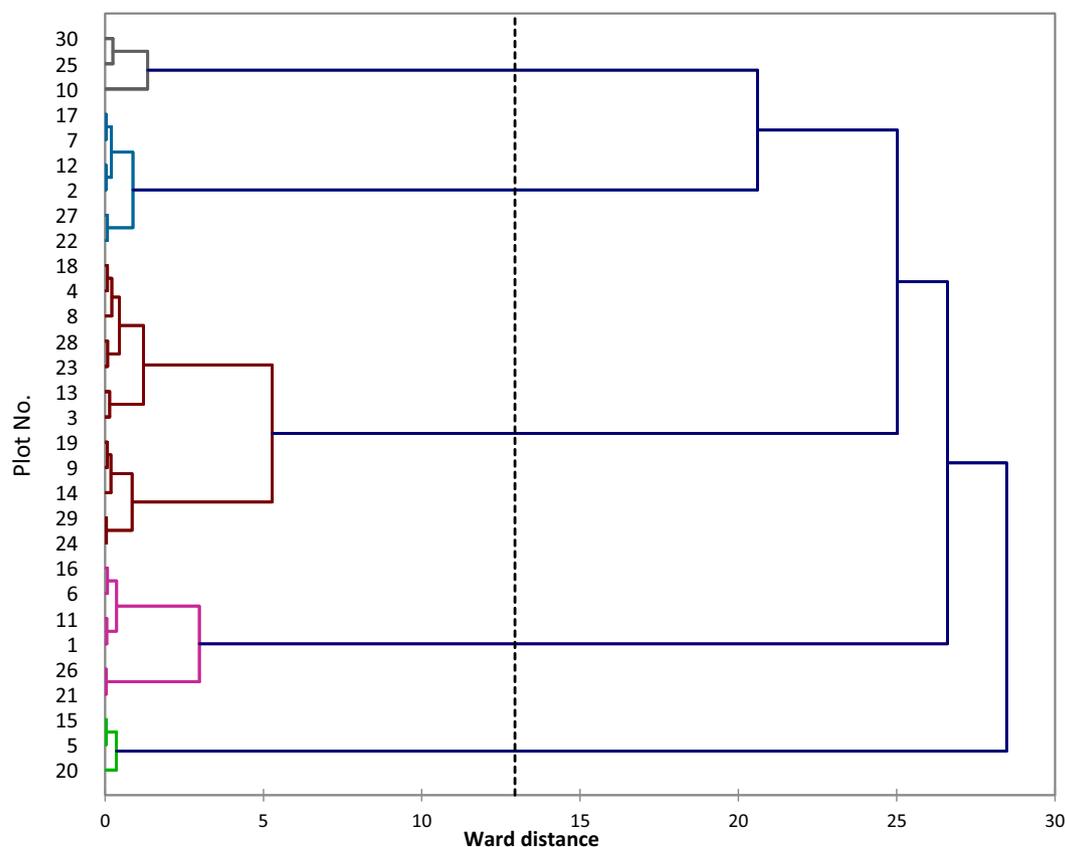


Fig. 3. Dendrogram of the AH Clustering of 30 plots using Ward's method.

Rck and *Slp* were the main topographic variables influencing the distribution in *ADo*, *ADi*, *PDi*, *SDi*, *SCo* and *SRI*; *Slp* and *Rck* were thus the main topographic variables influencing the distribution in *TRi*; however, *Slp* was the only topographic variable influencing the distribution in *ARi*.

The selected floristic indices in the PCA and the CCA were treated by multiple linear stepwise regression analysis to determine how the specific topographic factors affected the distribution of plant species (Table 9).

Twenty-two linear models were built for fifteen floristic variables ($p < .05$). *Ele*, *Slp*, and *Rck* were taken part in the multiple linear stepwise regression analysis of the selected floristic indices, and they entered the models, with coefficients of determination (R^2) of 0.26–0.83. *Ele* entered sixteen models of nine floristic variables, *Rck* entered seven models of five floristic variables and *Slp* entered nine models of nine floristic variables. These results implied that the relationship between topography and distribution could be quantified by a linear model. *Ele*,

Table 5
Mean \pm standard deviation of plant species indices of the four topographies.

Variable	ANOVA F	Valley-bottoms	Downslopes	Steep-slopes	Summits
<i>GCo</i>	70.308*	42.414 \pm 4.246	71.800 \pm 11.492	36.985 \pm 4.621	67.517 \pm 2.541
<i>GRi</i>	27.255*	60.833 \pm 8.352	65.833 \pm 6.824	58.167 \pm 10.116	39.667 \pm 3.445
<i>ADo</i>	32.667*	0.053 \pm 0.0210	0.062 \pm 0.013	0.011 \pm 0.012	0.010 \pm 0.007
<i>PDo</i>	29.851*	0.023 \pm 0.010	0.026 \pm 0.003	0.030 \pm 0.005	0.138 \pm 0.130
<i>TDo</i>	63.359*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.0003 \pm 0.0002
<i>LDo</i>	119.104*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.0006 \pm 0.0005
<i>SDo</i>	44.207*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	0.002 \pm 0.001	0.004 \pm 0.003
<i>ADi</i>	49.150*	2.550 \pm 0.327	2.790 \pm 0.200	1.255 \pm 0.692	0.655 \pm 0.184
<i>PDi</i>	40.246*	1.845 \pm 0.346	1.485 \pm 0.301	3.173 \pm 0.494	2.382 \pm 0.301
<i>SDi</i>	72.468*	0.025 \pm 0.019	0.047 \pm 0.024	0.567 \pm 0.177	0.678 \pm 0.199
<i>PCo</i>	99.503*	62.804 \pm 3.408	25.081 \pm 2.066	41.983 \pm 5.511	11.276 \pm 1.256
<i>TCo</i>	23.014*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	8.672 \pm 7.530	19.259 \pm 2.075
<i>LCo</i>	79.947*	7.252 \pm 6.835	42.854 \pm 3.256	22.364 \pm 5.726	60.907 \pm 4.141
<i>SCo</i>	40.304*	0.839 \pm 0.492	1.380 \pm 0.421	15.012 \pm 4.372	5.760 \pm 1.199
<i>ARi</i>	12.307*	5.741 \pm 0.526	5.748 \pm 0.391	6.990 \pm 0.401	5.628 \pm 0.470
<i>PRi</i>	20.346*	6.093 \pm 0.796	6.341 \pm 0.556	5.841 \pm 0.979	4.271 \pm 0.332
<i>TRi</i>	17.726*	0.000 \pm 0.000	0.000 \pm 0.000	35.480 \pm 13.633	9.566 \pm 0.951
<i>LRi</i>	3.926*	22.693 \pm 25.027	17.577 \pm 1.335	27.050 \pm 3.271	8.867 \pm 0.836
<i>SRI</i>	8.602*	18.203 \pm 9.832	15.767 \pm 2.374	8.249 \pm 1.843	5.778 \pm 0.382

Notes: See Table 2 for definitions of the abbreviations.

* $p < .01$.

Table 6
Similarity indices between the topographies.

	VB. vs DS.	DS. vs SS.	SS. vs S.	VB. vs SS.	S. vs DS.	S. vs VB.
J	0.72	0.61	0.52	0.40	0.25	0.09
β_s	0.83	0.76	0.68	0.57	0.40	0.17
	VB.	DS.	SS.	S.		
β_w	0.50	0.47	0.53	0.77		

Topographies: VB.: Valley-bottoms, DS.: Downslopes, SS.: Steep-slopes, S.: Upslopes, S.: Summits.

Rck, and Slp were the key topographic factors affecting distribution, but Ele was more important than Rck and Slp.

The second AHC based on the prepared values of densities and frequencies of species in the selected topographies clustered the species into four groups at Ward distances of 10–15. The features of the AHC and the groups of specialist species corresponding to the topographies are shown in Table 10.

4. Discussion

The distribution of the matorral plant species differed significantly amongst the topographies. The AHC clustered the distributions for the four topographies (valley-bottoms, downslopes, steep-slopes and summits), indicating that they have different environmental conditions and determine a turnover of important species. Most of the indices of plant species were highest for downslopes, followed by valley-bottoms, and lowest for summits and steep-slopes. [10,20,45], and [2] reported similar results respectively in Pakistan, Ethiopia, China, and in Saudi Arabia.

The canonical correlation and multiple linear stepwise regression analyses identified elevation followed by rock cover and slope as important topographic factors, influencing distribution of plants in agreement with the results of previous studies [12,20,25,36,46].

The total number of species at the valley-bottoms was 80 with an average per plot of 60.83, the average coverage of vegetation was 42.41% mainly dominated by perennial herbs 62.80%, followed by annuals 29.10%; the group of specialist plants computed 41 species essentially composed of perennial 60.97% and annual 36.58% herbs. This dominance of perennial herbs is due to the low coverage of global vegetation especially of higher plants [15].

The total number of species in the downslopes was 95 with an average per plot of 65.83 and the average coverage of vegetation was 71.80% dominated by large shrubs 42.85% and annual herbs 30.68%; the group of specialist plants computed 37 species largely composed of annual herbs 86.48%, with few perennials 10.81% and shrubs 2.70%. The dominance of annual herbs in the downslopes is due to the high coverage of global vegetation [15] especially of *Juniperus phoenicea* large shrubs that have a positive interaction by facilitation processes [7]. Downslopes presented the highest total number of species because most of listed species in all topographies grow here but with more or less important abundance, [4] reported that, the interception of flow of runoff water by upslopes diggings affect plant diversity, density and biomass production. The low number of specialist plants is due to the low densities and frequencies of the species which are more abundant in other topographies that constitute their original habitats.

The understory vegetation in the valley-bottoms and downslopes is mostly composed of typical steppic species that forms the usual cortège of the North African *Artemisia herba-alba*, *Macrochloa tenacissima* and *Lygeum spartum* steppes like: *Alyssum scutigerum*, *Avena sterilis*,

Table 7
Statistical parameters of the canonical correlation analysis.

No.	Correlation coefficient	Wilks' λ	χ^2	Df	P
1	0.998	0.0000	17.643	57	<0.0001
2	0.986	0.0046	6.8580	36	<0.0001
3	0.909	0.1723	2.8255	17	0.05

Table 8
Correlations between initial variables and canonical variables for plants and topography.

Factor	Principal component	
	1	2
GCo	-0,0998	-0,5639
GRI	-0,5793	0,5820
ADo	-0,8615	-0,0211
PDo	0,3695	-0,4904
TDo	0,3388	-0,6956
LDo	0,3270	-0,6983
SDo	0,6571	-0,3796
ADi	-0,8728	0,2216
PDi	0,7270	0,3488
SDi	0,8938	-0,1242
PCo	-0,5405	0,4616
TCo	0,7714	-0,4736
LCo	0,4615	-0,5448
SCo	0,7367	0,4891
ARi	0,3697	0,6555
PRi	-0,5696	0,5490
TRi	0,5958	0,5880
LRi	0,0059	0,5611
SRI	-0,7962	0,0588
Ele	0,9472	-0,3142
Slp	0,7919	0,5298
Rck	0,9874	0,1456

Bombycilaena discolor, *Eruca vesicaria*, *Erodium cicutarium*, *Filago desertorum*, *Helianthemum lippii*, *Onopordum acanthium*, *Onopordum acaulon*, *Plantago albicans*, *Plantago ovata*, *Thymelaea microphylla* and *Tribulus terrestris* [26].

It is worth mentioning that densities of *Juniperus phoenicea* and *Macrochloa tenacissima* varies little across topographies and are the most widespread species in the matorrals of Djebel Amour, [19,26] reported that are typical species in the matorrals of the Saharan Atlas.

The total number of species at steep-slopes was 92 with an average per plot of 58.17 and the average coverage of vegetation was only 36.98%, mainly dominated by perennial herbs 41.98% and large shrubs 22.36%, this low coverage was due to rockiness and slope that were

Table 9
Linear models of the relationship between topographic factors and floristic indices by stepwise regression analysis.

Variable	Number of model	Equation	R ²	p
GCo	1	GCo = (-1.1) Slp + (0.219) Ele - 179.689	0.38	0.002
GRI	1	GRI = (-0.223) Ele + 321.236	0.56	<0.001
	2	GRI = (0.393) Rck + (-0.465) Ele + 587.815	0.74	<0.001
	3	GRI = (-0.45) Slp + (0.66) Rck + (-0.55) Ele + 686.67	0.78	<0.001
ADo	1	ADo = (-0.001) Rck + 0.073	0.71	<0.001
TDo	1	TDo = (1.93) ⁻⁶ Ele - 0.002	0.27	0.003
	2	TDo = (-9.42) ⁻⁶ Slp + (3.57) ⁻⁶ Ele - 0.004	0.62	<0.001
LDo	1	LDo = (3.8) ⁻⁶ Ele - 0.004	0.26	0.004
	2	LDo = (-1.92) ⁻⁵ Slp + (7.15) ⁻⁶ Ele - 0.008	0.62	<0.001
SDo	1	SDo = (4.4) ⁻⁵ Ele - 0.051	0.55	<0.001
ADi	1	ADi = (-0.022) Ele + 27.280	0.82	<0.001
PDi	1	PDi = (0.056) Slp + 0.946	0.67	<0.001
SDi	1	SDi = (0.007) Ele - 7.928	0.78	<0.001
TCo	1	TCo = (0.190) Ele - 218.807	0.78	<0.001
	2	TCo = (-0.145) Rck + (0.280) Ele - 317.429	0.83	<0.001
SCo	1	SCo = (0.522) Slp - 6.168	0.76	<0.001
ARi	1	ARi = (0.038) Slp + 5.229	0.33	0.001
PRi	1	PRi = (-0.019) Ele + 28.328	0.54	<0.001
	2	PRi = (0.033) Rck + (-0.039) Ele + 50.789	0.71	<0.001
	3	PRi = (-0.049) Slp + (0.062) Rck + (-0.049) Ele + 61.585	0.77	<0.001
TRi	1	TRi = (1.121) Slp - 13.444	0.50	<0.001
SRI	1	SRI = (-0.182) Rck + 20.934	0.60	<0.001

Table 10
Features of the AHC and groups of specialist plant species of the topographies.

Class 1: Valley-bottoms					
Objects	Sum of weights	Within-class variance	Minimum distance to the centroid	Mean distance to the centroid	Maximum distance to the centroid
41	41	0.175	0.160	0.371	1.002
- <i>Allium paniculatum</i> L.		- <i>Helianthemum lippii</i> (L.) Dum.Cours.		- <i>Paronychia argentea</i> Lam.	
- <i>Aristida pungens</i> Desf.		- <i>Hypochaeris radicata</i> L.		- <i>Peganum harmala</i> L.	
- <i>Artemisia campestris</i> L. ssp. <i>eu-campestris</i> Briq. et Cav.		- <i>Launaea nudicaulis</i> (L.) Hook. f.		- <i>Picris hispanica</i> (Willd.) P.D.Sell	
- <i>Artemisia herba-alba</i> Asso		- <i>Launaea fragilis</i> (Asso) Pau		- <i>Plantago albicans</i> L.	
- <i>Carduus chevallieri</i> Barratte		- <i>Leontodon tuberosus</i> L.		- <i>Plantago ovata</i> Forssk.	
- <i>Carduus nutans</i> L. ssp. <i>macrocephalus</i> (Desf.) Gugler		- <i>Lygeum spartum</i> L.		- <i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC.	
- <i>Crypsis aculeata</i> (L.) Aiton		- <i>Macrochloa tenacissima</i> (L.) Kunth		- <i>Scolymus grandiflorus</i> Desf.	
- <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.		- <i>Neatostema apulum</i> (L.) I.M.Johnst.		- <i>Scorzonera undulata</i> subsp. <i>undulata</i> Vahl	
- <i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf.		- <i>Muscari comosum</i> (L.) Mill.		- <i>Stipa parviflora</i> Desf.	
- <i>Echinops spinosus</i> L.		- <i>Myosotis pusilla</i> Loisel.		- <i>Thapsia garganica</i> L.	
- <i>Erodium laciniatum</i> (Cav.) Willd.		- <i>Ononis natrix</i> L.		- <i>Thymelaea microphylla</i> Coss et Dur.	
- <i>Euphorbia falcata</i> L.		- <i>Onopordum acanthium</i> L.		- <i>Tribulus terrestris</i> L.	
- <i>Ferula communis</i> L.		- <i>Onopordum acaulon</i> L.		- <i>Trifolium glomeratum</i> L.	
- <i>Genista raetam</i> Forssk.		- <i>Paronychia arabica</i> subsp. <i>cossoniana</i> (J.Gay ex Batt.) Batt.			
Class 2: Downslopes					
Objects	Sum of weights	Within-class variance	Minimum distance to the centroid	Mean distance to the centroid	Maximum distance to the centroid
37	37	0.099	0.086	0.281	0.591
- <i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb.		- <i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P.Beauv.		- <i>Lavatera cretica</i> L.	
- <i>Alyssum scutigerum</i> Durieu		- <i>Calendula arvensis</i> L.		- <i>Lomelosia stellata</i> (L.) Raf.	
- <i>Anacyclus valentinus</i> L.		- <i>Crepis claryi</i> Batt.		- <i>Malva aegyptia</i> L.	
- <i>Androsace maxima</i> L.		- <i>Crepis pulchra</i> L.		- <i>Medicago minima</i> (L.) L.	
- <i>Andryala integrifolia</i> L.		- <i>Diplotaxis harra</i> (Forssk.) Boiss.		- <i>Narcissus cantabricus</i> subsp. <i>monophyllus</i> (Durieu) A.Fern.	
- <i>Anisantha rubens</i> (L.) Nevski		- <i>Diplotaxis virgata</i> (Cav.) DC.		- <i>Pallenis cuspidata</i> Pomel	
- <i>Aristida adscensionis</i> L.		- <i>Ephedra fragilis</i> Desf.		- <i>Pallenis hierichuntica</i> (Michon) Greuter	
- <i>Astragalus peregrinus</i> subsp. <i>warionis</i> (Gand.) Maire		- <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'H		- <i>Salvia verbenaca</i> subsp. <i>clandestina</i> (L.) Batt.	
- <i>Astragalus hamosus</i> L.		- <i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav.		- <i>Scolymus hispanicus</i> L.	
- <i>Atractylis cancellata</i> L.		- <i>Filago desertorum</i> Pomel		- <i>Trigonella polyceratia</i> L.	
- <i>Atractylis humilis</i> L.		- <i>Herniaria hirsuta</i> L.		- <i>Vicia monantha</i> subsp. <i>calcarata</i> (Desf.) Romero Zarco	
- <i>Avena sterilis</i> L.		- <i>Hippocrepis ciliata</i> Willd.			
- <i>Bombycilaena discolor</i> (Pers.) M.La		- <i>Hordeum murinum</i> L.			
Class 3: Steep-slopes					
Objects	Sum of weights	Within-class variance	Minimum distance to the centroid	Mean distance to the centroid	Maximum distance to the centroid
30	30	0.066	0.070	0.228	0.574
- <i>Alyssum montanum</i> L.		- <i>Globularia alypum</i> L.		- <i>Ranunculus spicatus</i> subsp. <i>rupestris</i> (Guss.) Maire	
- <i>Arenaria aggregata</i> (L.) Loisel.		- <i>Helianthemum apenninum</i> subsp. <i>croceum</i> (Desf.) G.López		- <i>Rhamnus lycioides</i> L.	
- <i>Artemisia atlantica</i> Coss.		- <i>Inula montana</i> L.		- <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	
- <i>Asparagus acutifolius</i> L.		- <i>Launaea lanifera</i> Pau		- <i>Salvia verbenaca</i> L.	
- <i>Asplenium ruta-muraria</i> L.		- <i>Leontodon balansae</i> Boiss.		- <i>Sedum album</i> L.	
- <i>Bupleurum spinosum</i> Gouan		- <i>Paronychia chlorothyrsa</i> var. <i>chlorothyrsa</i> Murb.		- <i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau	
- <i>Cistus creticus</i> L.		- <i>Phagnalon saxatile</i> (L.) Cass.		- <i>Teucrium polium</i> subsp. <i>thymoides</i> (Pomel) Batt.	
- <i>Ephedra major</i> Host		- <i>Pimpinella tragi</i> Vill.		- <i>Thymus algeriensis</i> Boiss. & Reut.	
- <i>Euphorbia bivonae</i> Steud.		- <i>Poa flaccidula</i> Boiss. & Reut.		- <i>Umbilicus horizontalis</i> (Guss.) DC.	
- <i>Fumana ericoides</i> subsp. <i>montana</i> (Pomel) G.		- <i>Polycnemum fontanesii</i> Durieu & Moq.			
- <i>Geranium lucidum</i> L.					
Class 4: Summits					
Objects	Sum of weights	Within-class variance	Minimum distance to the centroid	Mean distance to the centroid	Maximum distance to the centroid
15	15	0.120	0.102	0.301	0.581
- <i>Carthamus pinnatus</i> Desf.		- <i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench		- <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	
- <i>Catananche caerulea</i> L.		- <i>Juniperus oxycedrus</i> subsp. <i>oxycedrus</i> L.		- <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp.	
- <i>Cistus libanotis</i> L.		- <i>Juniperus phoenicea</i> L.		- <i>Rosa montana</i> Chaix	
- <i>Galium aparine</i> L. ssp. <i>spurium</i> (L.) Hartm		- <i>Lotus glinoides</i> Delile		- <i>Taraxacum atlanticum</i> Pomel	
- <i>Geranium pyrenaicum</i> Burm.f.		- <i>Medicago laciniata</i> (L.) Mill.			
		- <i>Pinus halepensis</i> Mill.			

highest 66.5–83.1%, 27–46°; the group of specialist plants computed 30 species largely composed of adapted perennial species 73.33% of herbs and 20% of shrubs that prefers steep rocky lands ([26,38]) like: *Artemisia atlantica*, *Bupleurum spinosum*, *Cistus creticus*, *Globularia alypum*, *Inula montana*, *Paronychia chlorothyrsa* var. *chlorothyrsa*, *Rosmarinus*

officinalis, *Sedum album*, *Sedum sediforme*, *Teucrium polium* subsp. *thymoides*, *Thymus algeriensis*, and *Umbilicus horizontalis*.

According to [37], the vegetation of the slopes was consisted of scattered shrubs with an average cover of 30–50% in a Negev Desert watershed. [10], reported that rocky slopes vegetation contains a relatively

low species richness and vegetation cover in Pakistan Desert. The high number of total species recorded here is due to the high number of plots (12) compared to other groups (6), as the number of species increases with sample area [31].

The average coverage of vegetation on the summits was 67.52% essentially dominated by large shrubs 60.91% and trees 19.26%, the total number of species was 49 with a low average per plot of 39.67 due to elevation, to the competition effect of trees [39] and especially to the negative effects of *Pinus halepensis* [30]; the group of specialist plants contained 15 mountainous species [38] including primarily adapted perennial herbs like *Carthamus pinnatus*, *Catananche caerulea*, *Helichrysum stoechas*, some adapted annuals as *Galium aparine* ssp. *spurium* and *Medicago laciniata*, large shrubs of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, and trees of *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* subsp. *ballota* and *Pistacia atlantica*.

The relationship between topography and the distribution of plant species could be quantified by a linear regression model [45]. Seventeen linear models (Table 8) were built for eleven floristic variables and three topographic factors, altitude, rock cover and slope gradient explained 26–83% of the variance in distribution. But other factors may also influence the distribution, such as water [47], soil and climate [21].

The restoration of ecosystems and management of semiarid matorrals in this region should thus consider the relationship between topography and the distribution of plant species. The adaptation of plants to topographies could strengthen the resilience of ecosystems. Plants could directly improve soil environments by enhancing nutrient availability or capture [11]. Plants could also protect soil quality by reducing soil loss [50]. Conversely, remodeled topographies could facilitate the recruitment and establishment of plants [13]. This feedback loop could thus drive ecosystems into higher levels of succession [28].

5. Conclusions

We combined several multivariate statistical approaches in a four-staged procedure to quantitatively assess the extent and nature of the topographic influence on the distribution of matorral plant species in a semiarid region of Algerian Saharan Atlas. The distributions of plants differed significantly amongst the topographies, indicating different environmental conditions and determine a turnover of important species. Downslopes are colonized by the most present species, but only few species persist to steep-slopes and summits. The low coverage of vegetation (36.98%) on the steep-slopes was due to the serious soil erosion and rockiness 66.5–83.1%. The low average richness in summits (39.67) was due to elevation and the competitive effect of trees. Elevation followed by rockiness then slope were respectively the main topographic factors affecting distribution. The relationship between topography and distribution could be described by a linear model. Seventeen linear models were built for eleven floristic variables and three topographic factors, elevation, rock cover and slope gradient explained 26–83% of the variance in distribution, also four groups of plant species were listed according to topographic positions. The suitability of plant species to the topography should be considered for the restoration of semiarid matorrals in the study area. The results of this study will be helpful for selecting the appropriate species and the potential sites for seeding to restore vegetation and improve the ecosystems in Djebel Amour. Further investigations on soils, water availability and microclimate are needed to clarify the mechanism of the distribution of plants in these semiarid matorrals.

References

- [1] C.L. Alados, J. Puigdefábregas, J. Martínez-Fernández, Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain, *J. Arid Environ.* 75 (2011) 1368–1376.
- [2] A. Al-Aklabi, A.W. Al-Khulaidi, A. Hussain, N. Al-Sagheer, Main vegetation types and plant species diversity along an altitudinal gradient of Al Baha region, Saudi Arabia, *Saudi J. Biol. Sci.* (2016) <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.007>.
- [3] J.G. Alday, R.H. Marrs, C. Martínez-Ruiz, The importance of topography and climate on short-term revegetation of coal wastes in Spain, *Ecol. Eng.* 36 (2010) 579–585.
- [4] B. Boeken, C. Lipchin, Y. Gutterman, N. van Rooyen, Annual plant community responses to density of small-scale soil disturbances in the Negev Desert of Israel, *Oecologia* 114 (1998) 106.
- [5] J. Böhner, O. Antonic, Land surface parameters specific to topo-climatology, in: A.E. Hartemink, A.B. McBratney (Eds.), *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*, Elsevier, Amsterdam 2009, pp. 195–226.
- [6] J.B. Bradford, N.R. Jensen, G.M. Domke, A.W. D'Amato, Potential increases in natural disturbance rates could offset forest management impacts on ecosystem carbon stocks, *For. Ecol. Manag.* 308 (2013) 178–187.
- [7] R.W. Brooker, F.T. Maestre, R.M. Callaway, C.J. Lortie, L.A. Cavieres, G. Kunstler, P. Liancourt, K. Tielbörger, J.M.J. Travis, F. Anthelme, C. Armas, L. Coll, E. Corcket, S. Delzon, E. Forey, Z. Kikvidze, J. Olofsson, F.I. Pugnaire, C.L. Quiroz, P. Saccone, K. Schifffers, M. Seifan, B. Touzard, R. Michalet, Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future, *J. Ecol.* 96 (2008) 18–34.
- [8] J.J. Camarero, R.D. Manzanedo, R. Sanchez-Salguero, R.M. Navarro-Cerrillo, Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests, *Ann. For. Sci.* 70 (8) (2013) 769, <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0321-9>.
- [9] F. de Bello, S. Lavorel, S. Laverigne, C.H. Albert, I. Boulangeat, F. Mazel, W. Thuiller, Hierarchical effects of environmental filters on the functional structure of plant communities: a case study in the French Alps, *Ecography* 36 (2013) 393–402.
- [10] N.J. Enright, B.P. Miller, R. Akhtar, Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar national park, Sindh, Pakistan, *J. Arid Environ.* 61 (2005) 397–418.
- [11] A. Erktan, F. Rey, Linking sediment trapping efficiency with morphological traits of *Salix* tiller barriers on marly gully floors under ecological rehabilitation, *Ecol. Eng.* 51 (2013) 212–220.
- [12] B. Fu, S. Liu, K. Ma, Y. Zhu, Relationships between soil characteristics, topography and plant diversity in a heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing, China, *Plant Soil* 261 (1) (2004) 47–54.
- [13] X. Gao, P. Wu, X. Zhao, Y. Shi, J. Wang, B. Zhang, Soil moisture variability along transects over a well-developed gully in the Loess Plateau, China, *Catena* 87 (3) (2011) 357–367.
- [14] H. Gondard, S. Jauffret, J. Aronson, et al., Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands, *Appl. Veg. Sci.* 6 (2003) 223–234.
- [15] M. Grouzis, L.E. Akpo, The influence of tree cover on herbaceous above and below-ground phytomass in the Sahelian zone of Senegal, *J. Arid Environ.* 35 (1997) 285–296.
- [16] A. Grzył, M. Kiedrzyński, K.M. Zielińska, A. Rewicz, The relationship between climatic conditions and generative reproduction of a lowland population of *Pulsatilla vernalis*: the last breath of a relict plant or a fluctuating cycle of regeneration? *Plant Ecol.* 215 (4) (2014) 457–466.
- [17] A. Ihaddaden, E. Velázquez, J.M. Rey-Benayas, H. Kadi-Hanifi, Climate and vegetation structure determine plant diversity in *Quercus ilex* woodlands along an aridity and human-use gradient in Northern Algeria, *Flora* 208 (2013) 268–284.
- [18] J. Jiao, H. Zou, Y. Jia, N. Wang, Research progress on the effects of soil erosion on vegetation, *Acta Ecol. Sin.* 29 (2) (2009) 85–91.
- [19] B. Kadik, Contribution for Aleppo pine study (*Pinus halepensis* Mill.), Algeria: Ecology, Dendrology, and Morphology, OPU, Algiers, 1983, (581 pp.).
- [20] M. Kebede, M. Kanninen, E. Yirdaw, M. Lemenih, Vegetation structural characteristics and topographic factors in the remnant moist Afromontane forest of Wondo Genet, south central Ethiopia, *J. For. Res.* 24 (2013) 419–430.
- [21] J.B. Kirkpatrick, K. Green, K.L. Bridle, S.E. Venn, Patterns of variation in Australian alpine soils and their relationships to parent material, vegetation formation, climate and topography, *Catena* 121 (2014) 186–194.
- [22] C. Körner, Mountain Biodiversity, Its Causes and Function. *Ambio*, 11e17. Special Rep. 2004 13.
- [23] J. Kozak, Forest cover change in the Western Carpathians in the past 180 years, *Mountain Res. Develop.* 23 (2003) 369–375.
- [24] A. Laamrani, O. Valeria, Y. Bergeron, N. Fenton, L.Z. Cheng, K. Anyomi, Effects of topography and thickness of organic layer on productivity of black spruce boreal forests of the Canadian Clay Belt region, *For. Ecol. Manag.* 330 (2014) 144–157.
- [25] G. Lan, Y. Hu, M. Cao, H. Zhu, Topography related spatial distribution of dominant tree species in a tropical seasonal rain forest in China, *For. Ecol. Manag.* 262 (8) (2011) 1507–1513.
- [26] H.N. Le Houérou, Bioclimatology and biogeography of arid steppes in North Africa, Mediterranean Options, Ciheam, Montpellier, 1995, (408 pp.).
- [27] B.L. Li, Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics, *Ecol. Model.* 33 (2000) 33–50.
- [28] Y. Lin, P. Cui, Y. Ge, C. Chen, D. Wang, The succession characteristic of soil erosion during different vegetation succession stages in dry-hot river valley of Jinsha River upper reaches of Yangtze River, *Ecol. Eng.* 62 (2014) 13–26.
- [29] Q. Liu, J. An, L. Wang, Y. Wu, H. Zhang, Influence of ridge height, row grade, and field slope on soil erosion in contour ridging systems under seepage conditions, *Soil Tillage Res.* 147 (2015) 50–59.
- [30] F.T. Maestre, J. Cortina, S. Bautista, J. Bellot, Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs under semi-arid climate? *For. Ecol. Manag.* 176 (2003) 147–160.
- [31] A.E. Magurran, *Measuring Biological Diversity*, Blackwell Publishing Company, Malden, 2004 (215 pp.).
- [32] J.C. Marques, *Ecological Indicators, Coastal and Estuarine Environments*. Encyclopedia of Ecology, Vol.1, Elsevier B.V., 2008 619–630 (3834 pp.).
- [33] T. Matsuura, W. Suzuki, Analysis of topography and vegetation distribution using a digital elevation model: case study of a snowy mountain basin in northeastern Japan, *Landsc. Ecol. Eng.* 9 (1) (2013) 143–155.

- [34] C.M. McCain, Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats, *Glob. Ecol. Biogeogr.* 16 (2007) 1e13.
- [35] B.J. McGill, Matters of scale, *Science* 328 (2010) 575–576.
- [36] E. Nevo, O. Fragman, A. Dafni, A. Beiles, Biodiversity and interslope divergence of vascular plants caused by microclimatic differences at “Evolution Canyon” lower nahal Oren, Mount Carmel, Israel, *Israel J. Plant Sci.* 47 (1999) 49–59.
- [37] L. Olsvig-Whittaker, M. Shachak, A. Yair, Vegetation patterns related to environmental factors in a Negev Desert watershed, Israel, *Vegetatio* 54 (1983) 153–165.
- [38] P. Quezel, S. Santa, *New Flora of Algeria and Southern Desert Region*. Paris, 1962–1963 (Ed. C.N.R.S. Vol. 2, 1170 pp.).
- [39] J. Sardans, F. Rodà, J. Peñuelas, Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils, *Plant Ecol.* 174 (2) (2004) 305–317.
- [40] M.T. Sebastiá, Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales, *Basic Appl. Ecol.* 5 (4) (2004) 331–346.
- [41] D. Thom, R. Seidl, Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests, *Biol. Rev.* (2015) <https://doi.org/10.1111/brv.12193>.
- [42] D. Tsegaye, M. Haile, S.R. Moe, The effect of land use on the recruitment and population structure of the important food and fodder plant, *Dobera glabra* (Forssk.) Poir., in northern Afar, Ethiopia, *J. Arid Environ.* 74 (2010) 1074e1082.
- [43] C.C. Tsui, C.C. Tsai, Z. Chen, Soil organic carbon stocks in relation to elevation gradients in volcanic ash soils of Taiwan, *Geoderma* 209–210 (2013) 119–127.
- [44] O.R. Vetaas, Spatial and temporal vegetation changes along moisture gradient in northeastern Sudan, *Biotropica* 25 (1993) 164–175.
- [45] B. Wang, G. Zhang, J. Duan, Relationship between topography and the distribution of understory vegetation in a *Pinus massoniana* forest in Southern China, *Int. Soil Water Conserv. Res.* 3 (2015) 291–304.
- [46] S.K. Wisser, R.P. Buxton, Montane outcrop vegetation of Banks Peninsula, South Island, New Zealand, *N Z J. Ecol.* 33 (2) (2009) 164–176.
- [47] X. Xu, K. Ma, B. Fu, C. Song, L. Wen, Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China, *Catena* 75 (2) (2008) 138–145.
- [48] F. Zellweger, V. Braunisch, F. Morsdorf, A. Baltensweiler, A. Abegg, T. Roth, H. Bugmann, K. Bollmann, Disentangling the effects of climate, topography, soil and vegetation on stand-scale species richness in temperate forests, *For. Ecol. Manag.* (2015) 0378–1127.
- [49] Z. Zhang, F.V. Coillie, E.M. Clercq, X. Ou, R. Wulf, Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China, *Ecol. Indic.* 31 (2013) 49–58.
- [50] G. Zhang, G. Liu, P. Zhang, L. Yi, Influence of vegetation parameters on runoff and sediment characteristics in patterned *Artemisia capillaris* plots, *J. Arid Land* 6 (3) (2014) 352–360.
- [51] L.Q. Zhu, W.B. Zhu, Research on effects of land use/cover change on soil erosion, in: C.S. Zhang (Ed.), *Materials Science and Information Technology, Advanced Materials Research*, 2012, pp. 1038–1043, Pts 1–8.