

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOuat**

**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

EN : SCIENCES DE LA NATURE

Spécialité : Ecologie Végétale

Option : Dynamique Des Ecosystèmes et Environnement

Par : BENMEBAREK Hadjira

Thème :

Ecologie, diversité floristique et structuration des communautés végétales de la région d'El Ghicha (Laghouat)

Soutenu publiquement, le 17/12/2014, devant le jury composé de :

Mr **OUINTEN M.**, Maître de Conférence A à l'UATL

Président

Mme **KADIK L.**, Professeur à l'USTHB

Rapporteur

Mr **PRINZING A.**, Professeur à RENNES 1

Corapporteur

Mme **BENHOUHOU S.**, Professeur à l'ENSA

Examinatrice

Mr **SAIGHI O.**, Professeur à l'USTHB

Examineur

Promotion : 2011/2012

Remerciements

Il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue et qui ont contribué à la réalisation de ce travail,

En premier lieu, je voudrais remercier Madame **Kadik Lila**, professeur et responsable de recherche à l'USTHB, pour m'avoir proposé ce travail, l'avoir dirigé et suivi son déroulement ainsi que pour son entière disponibilité malgré ses nombreuses charges scientifiques et familiales. Ses orientations et ses conseils m'ont été d'un grand apport.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur **Prinzing Andreas**, Professeur à l'université Rennes1, qui a accepté de diriger la partie « structuration des communautés » et qui m'a accueillie au sein de son laboratoire et m'a permis de vivre une expérience très enrichissante.

J'exprime également mes remerciements à Monsieur **Ouinten Mohamed**, maître de conférences à l'Université de Laghouat, de m'avoir honoré en acceptant de juger ce travail et de présider le jury.

Ma reconnaissance et mes vifs remerciements vont également à Madame **Benhouhou Salima** professeur à l'ENSA, d'avoir accepté d'examiner ce travail, et de m'avoir toujours proposé son aimable aide.

Je tiens aussi à remercier vivement, Monsieur **Saighi Omar**, Professeur à l'USTHB, d'avoir accepté de faire partie de ce jury et de contribuer à l'évaluation de mon travail.

Je remercie très vivement également Messieurs **Aidoud Ahmed** et **Jung Vincent**, chercheurs à l'université Rennes1, de m'avoir donné de leur temps si précieux, pour leurs conseils, leurs orientations et la documentation qu'ils ont mis à ma disposition.

Je ne remercierai jamais assez, mon mari, Maman, bonne Maman, Père, Beau Père, mon frère, mes sœurs, ma belle sœur, mon beau frère, mes deux grand-mères et ma petite chérie Doha. Que toutes ces personnes ainsi que toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Résumé

A l'instar des régions arides et semi-arides du Sud de l'Algérie, la région centrale de Djebel Amour, au cœur de l'Atlas saharien, est considérée comme généralement dégradée, la dynamique de la végétation étant affectée par des perturbations liées à l'action anthropique, ou des stress liés aux conditions climatiques sévères. Dans ce contexte les objectifs de cette étude étaient d'identifier les effets des changements à l'échelle des communautés et des espèces afin de fournir des informations pour une gestion de ces écosystèmes.

En nous intéressons spécifiquement à la région d'El Ghicha située entre la partie haute de Djebel Amour et le piémont saharien et qui révèle une biodiversité importante, L'étude porte sur 1) la description de la végétation et les facteurs qui régissent sa distribution, l'étude de la diversité floristique, de la diversité biologique et phytogéographique 2) analyse des mécanismes de structuration des communautés, par l'étude des interactions, notamment les facilitations, entre les espèces, et les variations de ces interactions le long de gradient de sévérité de milieu lié à l'altitude, à l'aridité ou à la perturbation par le pâturage.

Les groupements de végétations identifiés correspondent à (i) des formations forestières (ii) des formations de dégradation, matorral, steppe arborée et steppe et (ii) des formations de végétation caractéristiques des lits d'Oueds. Les facteurs qui contrôlent la distribution de ces formations végétales sont essentiellement, la géomorphologie de la région caractérisée par ces montagnes, ses dépressions et ses nombreux oueds et l'aridité liée à l'influence saharienne. L'ensemble des formations a été caractérisé par une thérophytisation qui témoigne la dégradation de ces milieux, les spectres réels ont révélé la dominance des phanérophytes dans les forêts et les oueds et la codominance des phanérophytes et des géophytes dans les matorrals, et steppes arborées. L'élément méditerranéen domine les trois groupements et sur le plan richesse spécifique les matorrals, steppes arborées et steppes avaient la valeur la plus élevée du fait de développement des espèces résistantes à la fois au stress climatique et à la perturbation anthropique.

L'analyse de la structuration des communautés a révélé des patrons de distribution d'associations positives liées aux microhabitats fournis par les arbres, *Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* et les touffes de *Stipa tenacissima* le long de gradient de stress abiotique dû à l'élévation en altitude ou la diminution du taux de l'humidité de sol. La richesse spécifique augmente sous le couvert de ces plantes en réponse au stress. 81% et 85% des espèces recensées étaient associées à l'arbre en haute altitude et en conditions d'aridité, respectivement. Ainsi que 60% et 51% des espèces ont été retrouvées sous la touffe à des altitudes élevées et des conditions de sécheresse. Cependant, en présence de pâturage ces interactions sont affectées et c'est les associations négatives qui dominent. Les résultats, ont toutefois démontré, que l'identité et les caractéristiques des espèces sont particulièrement, importantes dans l'efficacité des interactions.

Mots clés : changements globaux, biodiversité, structuration des communautés, stress abiotique, perturbation biotique, facilitations, traits fonctionnels, microsites.

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
I. Les facteurs environnementaux	4
I.1. Les filtres environnementaux	5
I.1.1. Le filtre biogéographique	5
I.1.2. Le filtre abiotique	5
I.1.3. Le filtre biotique	6
I.2. La niche des espèces	7
II. La réponse des espèces à leur environnement	9
II.1. Les stratégies	9
II.2. Les Traits fonctionnels	11
II.3. Plasticité phénotypique et génétique	15
III. Rôle de la Facilitation dans la structuration des communautés végétales	17
IV. Rôle du pâturage	22
V. El-Ghicha comme modèle d'étude	25
Chapitre-I- Description de la région d'étude	
I. Cadre physique	27
I.1. Situation géographique	27
I.2. Géologie et Géomorphologie	29
I.3. Hydrogéologie	39
I.4. Pédologie	41
I.5. Caractéristiques climatiques	41
I.5.1. Le Climat	41
I.5.2. Source de données	45
I.5.3. Les précipitations	45
I.5.4. Les températures	50
II. Synthèse climatique	54
II.1. Digramme ombrothèrmique de Bagnouls et Gaussien	54
II.2. Indice climatique d'Emberger	55
III. Flore et végétation	58
Chapitre-II- Méthodologie	
I. Echantillonnage	61
I.1. Les relevés phytoécologiques par l'aire minimale	61
I.2. Les relevés linéaires	63
I.3. Les relevés par microsites	63
II. Traitements de données	70
II.1. Analyse de l'organisation des communautés végétales	70
II.2. Caractérisation biologique et phytogéographique des groupements végétaux	71
II.2.1. Diversité taxonomique	71
II.2.2. Détermination des spectres biologiques	72
II.2.3. Détermination des spectres phytogéographiques	74

II.2.4. Evaluation quantitative de la biodiversité des groupements végétaux	74
II.3. Structuration des communautés végétales	76
II.3.1. méthodes statistiques utilisées	76
3.1.1. Les graphiques catégorisés	76
3.1.2. Les modèles généraux de régression	78
3.1.3. L'analyse de variance ANOVA	80
II.3.2. Effet du gradient abiotique	80
II.3.3. Effet du gradient biotique	82
Chapitre-III- Résultats et discussions	
I. Ecologie et diversité floristique de la région d'El-Ghicha	85
I.1. Identification des groupements végétaux	85
I.2. Signification écologiques des axes factoriels	89
II. Evaluation qualitative et quantitative de la biodiversité	103
II.1. Compositions systématique	103
II.2. Evaluation qualitative de la diversité floristique	107
II.2.1. Spectres biologique bruts	107
II.2.2. Spectres biologiques réels	110
II.2.3. Spectres biogéographiques	112
II.3. Evaluation quantitative	114
III. Structuration des communautés végétales de la région d'El-Ghicha	116
III.1. à l'échelle de la communauté	116
III.2. à l'échelle spécifique	131
Conclusion générale et perspectives	181
Références bibliographiques	188
Annexes	201

Figure -1- Facteurs et processus déterminant la composition et la structure des communautés végétales	4
Figure -2- Illustration des notions d'optimum et de tolérance permettant de caractériser plus finement la performance d'une espèce	8
Figure -3- Concept de la niche potentielle et de la niche réalisée d'une espèce, illustré avec un gradient altitudinal	9
Figure -4- Illustration des différentes stratégies primaires	10
Figure -5- Exemples de différentes fonctions de la plante, et de quelques traits qui peuvent être associés à ces fonctions.	12
Figure -6- Schéma conceptuel reliant les changements environnementaux à la structure des communautés et au fonctionnement des écosystèmes	13
Figure -7- Schéma conceptuel reliant les règles d'assemblage déterminant la structure et la composition de communautés végétales	14
Figure -8- Les interactions entre les chênes et les herbes sous leur couvert	16
Figure -9- schéma conceptuel de la variation de la proportion des interactions positives et négatives	18
Figure -10- Photos de microsites	21
Figure -11- Situation géographique et topographique de la région d'étude – El Ghicha -	28
Figure -12- Extrait de la carte géologique de la région d'étude	35
Figure -13- images satellitaire des principales structures de la région d'étude	38
Figure -14- Carte : Pentas et réseaux hydrographiques de la région	40
Figure -15- Carte : Topographie de la région,	44
Figure -16- Carte : pluviométrie de la région de Laghouat	46
Figure-17 - Précipitations moyennes mensuelles de la station de Laghouat	48
Figure -18- Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Aflou	48
Figure -19- Représentation graphique du régime saisonnier	50
Figure -20- Températures moyennes mensuelles de la station de Laghouat	53
Figure -21- Températures moyennes mensuelles de la station d'Aflou	53
Figure-22- Diagramme Ombrothèrmique de Bagnouls et Gaussens de la station de Laghouat	54
Figure -23- Diagramme Ombrothèrmique de Bagnouls et Gaussens de la station d'Aflou	55
Figure -24- Situation de la région de Laghouat et Aflou sur le Climagramme d'Emberger	57
Figure -25- Aperçu des principales formations végétales présentes dans la région d'El Ghicha	58
Figure -26 - Extrait de la carte d'occupation des sols de la wilaya de Laghouat	60
Figure -27 - photos de microsites	67
Figure -28- Plan de l'échantillonnage, sites prospectés, emplacement des transects et	69
Figure - 29- carte factorielle microsites x espèces selon l'axe 1 et l'axe 2	81
Figure -30- Carte factorielle espèces x relevés selon l'axe 1 et l'axe 2	86
Figure -31 – Résultat de la classification ascendante hiérarchique-CAH-	87
Figure -32 - carte factorielle des espèces qui ont les plus fortes contributions relatives à l'axe1	92
Figure -33- carte factorielle des espèces aux fortes contributions relatives à l'axe 2	98
Figure -34- Répartition des espèces au niveau des familles	106
Figure -35- : Spectres biologiques bruts des différents groupements	108
Figure –36- Spectres biologiques réels des différents groupements	111
Figure -37- Spectres biogéographiques des différents groupements	114
Figure -38- Nuages de points de scores des relevés en fonction de l'altitude catégorisés par microsite	117
Figure -39 - Nuages de points de scores des relevés en fonction de l'humidité de sol catégorisés par microsite	118
Figure -40- Effet de perturbation par le pâturage le long de gradient d'altitude	125
Figure - 41 - Effet de perturbation par le pâturage le long de gradient d'humidité	126
Figure - 42 - Effet du microsite sur la composition spécifique	127
Figure -43 - Effet de la perturbation sur la composition spécifique	127
Figure - 44 - Effet de la perturbation sur la richesse spécifique	128
Figure - 45 - Effets de : microsite*broutage; microsite*excréments et microsite*piétinement, sur la composition spécifique.	129

Figure -46- Effets de : microsite*broutage ; microsite*excréments, et microsite*piétinement, sur la composition spécifique	130
Figure - 47 - Abondance de <i>Stipa tenacissima</i> en fonction de l'humidité de sol au niveau du microsite arbre	139
Figure -48- Réponse des espèces cibles à la perturbation par broutage	143
Figure -49 - Nuages de points de <i>Hyoseris radiata</i> en fonction de l'altitude catégorisés par	147
Figure -50 - Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces, Espèces ayant une réponse similaire à la perturbation dans le microsite arbre.	166
Figure - 51- Effet de microsite*perturbation sur <i>Plantago albicans</i> , <i>Helianthemum croceum</i> et <i>Scabiosa stellata</i>	167
Figure -52- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces. Espèces ayant des réponses similaires à la perturbation dans le microsite touffe.	168
Figure -53 - Effet de microsite*broutage sur <i>Rosmarinus officinalis</i>	169
Figure -54 - Effet de microsite*broutage sur les espèces <i>Astragalus sinaicus</i> et <i>Scorzonera laciniata</i>	169
Figure -55 - Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces Espèces ayant des réponses similaires à la perturbation dans le microsite ouvert.	170
Figure -56- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces <i>Atractylis humilis</i> , <i>Calendula aegyptiaca</i> , <i>Polycnemum fontanesii</i> , <i>Stipa retorta</i> , <i>Launaea glomerata</i>	172
Figure -57- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces <i>Hippocrepis multisiliquosa</i> , <i>Schismus barbatus</i> , <i>Hyoseris radiata</i> , <i>Sedum album</i> .	172
Figure -58 - Effet de microsite*broutage sur l'espèce <i>Ammochloa pungens</i> .	173
Figure - 59- Réponse de <i>Centaurea parviflora</i> et <i>Asparagus acutifolius</i> sous le microsite arbre	173

Tableau-1- Précipitations moyennes mensuelles et annuelles.	47
Tableau -2- Régime saisonnier pour Laghouat et Aflou.	49
Tableau-3- Les températures moyennes mensuelles.	51
Tableau -4- Quotient pluviothermique et étage bioclimatique de Laghouat et Aflou.	56
Tableau -5- Codification du coefficient d'abondance dominance	73
Tableau -6-: Valeurs propres et taux d'inertie pour les axes 1.2.3.4 et 5	86
Tableau-7- : Les différents groupements individualisés et leurs relevés correspondants	88
Tableau -8- Caractérisation physionomique des relevés à forte contribution relative à l'axe1 et leur appartenance aux groupements végétaux identifiés.	90
Tableau -9 - Résumé bibliographique de l'autoécologie des espèces à forte contribution à l'axe 1	93
Tableau -10- Caractérisation physionomique des relevés à forte contribution relative à l'axe2 et leur appartenance aux groupements végétaux identifiés.	96
Tableau -11 - Résumé bibliographique de l'autoécologie des espèces à forte contribution à l'axe 2.	99
Tableau-12 - Ordination des familles en fonction du nombre de taxons et genres.	104
Tableau -13- Comparaison des groupes systématiques de la flore d'Algérie et celle du présent travail	105
Tableau -14- Classement des familles selon différents auteurs	106
Tableau -15- Résultats quantitatifs de la diversité floristique des trois groupements.	115
Tableau -16 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'altitude, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la composition spécifique.	119
Tableau - 17 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la composition spécifique.	119
Tableau -18 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'altitude, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la richesse spécifique.	121
Tableau -19 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la richesse spécifique.	123
Tableau -20 - Résumé des réponses des espèces cibles au gradient altitudinal	135
Tableau - 21- Résumé des réponses des espèces cibles au gradient d'humidité de sol	140
Tableau -22 - Résumé des relations significatives entre (abondance, taille, largeur) des espèces et l'altitude en fonction du microsite.	144
Tableau -23- Présence des espèces dans les microsites touffe, ouvert et arbre aux altitudes élevées (hauts des pentes) et altitudes basses (bas des pentes).	148
Tableau -24 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets significatifs de l'altitude, et de microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions significatives sur la taille, largeur ou état phénologique	150
Tableau -25 - Résumé des relations significatives entre (abondance, taille, largeur) des espèces et l'humidité de sol en fonction du microsite.	154
Tableau - 26 - Présence des espèces dans les microsites touffe, ouvert et arbre le long de gradient d'humidité.	156
Tableau - 27- Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, et de microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions significatives sur la taille, largeur ou état phénologique	158
Tableau - 28- Synthèse des interactions de microsite touffe et arbre avec les différentes espèces inventoriées dans le site le long des gradients des trois facteurs étudiés (altitude, humidité de sol, pâturage).	177

Introduction générale



...un sacré patrimoine à préserver

Les changements globaux de l'environnement sont des modifications plus ou moins profondes des paramètres environnementaux à l'échelle de la planète et qui peuvent affecter la plupart des espèces animales et végétales. Plusieurs grandes conférences mondiales (Stockholm, 1972 ; Rio, 1992 ; Kyoto, 1997 et Johannesburg, 2002) ont tiré la sonnette d'alarme sur l'importance de ces changements et leurs conséquences sur la biodiversité et donc indirectement sur l'Homme et son bien être, et ont fait appel à la prise de conscience collective sur la part de responsabilité de l'Homme et son influence sur son environnement. Les activités anthropiques représentent la principale menace actuelle sur la biodiversité, en particulier via le changement d'utilisation des terres, la fragmentation des habitats des espèces et la surexploitation des ressources naturelles (Millenium Ecosystem Assesment, Sala et *al.*, 2000).

Prédire les conséquences des changements globaux sur la biodiversité est devenu l'une des préoccupations majeures des scientifiques. 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).

Parmi les systèmes écologiques les plus vulnérables à ces changements, les écosystèmes arides de part leur fragilité liée à la sévérité des conditions climatiques et à l'action anthropique marquée surtout par le surpâturage. Les écosystèmes arides sont caractérisés par des conditions spécifiques climatiques qui se manifestent par une longue saison de sécheresse (9 à 10 mois), 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). Généralement, lorsque l'équilibre est rompu, c'est la régression qui prédomine (Floret et Pontanier, 1982).

Ces écosystèmes occupent, pour autant, une grande partie de notre territoire et recèlent une biodiversité importante et 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.

La flore constitue la composante vivante la plus affectée de ces écosystèmes, en effet, ces 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). Il est donc important de connaître les conséquences et les risques pour la diversité floristique liée à ces différents changements.

Afin de répondre à cette problématique, les recherches en écologie aideront 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), l'étude de la structuration des communautés végétales et les règles d'assemblage de ces communautés permettra de connaître l'histoire évolutive de ces milieux et prédire leur avenir.

Ce travail s'inscrit dans cette logique et porte spécifiquement sur la diversité floristique et la structuration des communautés végétales de la région d'**El Ghicha** située au niveau des pentes de Djebel Amour, centre de l'Atlas saharien. Les formations végétales sont particulières et résistent à la pression anthropique et les conditions climatiques : en particulier la présence de Genévrier rouge en densité relativement plus importante qu'ailleurs avec l'Alfa, la présence de chêne vert et de pin d'Alep et aussi le Pistachier de l'Atlas, ainsi qu'une végétation caractéristique de nombreux oueds qui parcourent la région.

Des travaux dans ce sens n'ont jamais été abordés dans la région qui, en plus de ses formations végétales, renferme des sites naturels extraordinaires (sources d'eau limpides, cascades, moulin à eau...etc.) et des stations de gravures rupestres constituant un patrimoine archéologique important. L'U.N.I.C.E.F a adopté en 1986, la gravure d'une mère éléphant

défendant son petit contre un prédateur, comme symbole mondial de la protection de l'enfance.

Pour répondre à notre problématique une étude phytoécologique permettra de décrire la végétation, les facteurs écologiques qui régissent sa distribution ainsi que définir le nombre et la dispersion des taxons présents, leur définition biologique et phytogéographique. Par la suite une étude plus détaillée en s'intéressant aux principales espèces, les plus dominantes, et leur voisinage direct en définissant quelques traits essentiels tout en prenant en compte les reliefs de la région, nous permettra de tester l'hypothèse que dans des conditions de milieux sévères comme le cas de notre zone d'étude des interactions positives, facilitations, entre les plantes seront plus importantes que des interactions de compétition et permettront l'assemblage des communautés. Ces interactions positives varient selon les facteurs environnementaux, en devenant plus importantes en conditions de milieu plus rigoureuses.

Ces changements dans les conditions de milieu peuvent être pris en compte en considérant (i) plusieurs niveaux d'altitude, puisqu'à des altitudes élevées la sévérité du milieu est accentuée du fait de la diminution de la température, l'exposition au vent, le niveau d'ensoleillement ou l'instabilité du sol (Callaway et *al.*, 2002 ; Choler et *al.* 2001) et qui peuvent limiter la croissance des plantes, (ii) plusieurs niveaux d'aridité liée à l'humidité de sol, puisque en milieu aride, caractérisé par un déficit hydrique, l'eau constitue le facteur prépondérant qui détermine les conditions extrêmes qui influent sur la structure, le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes (Aidoud, 1998 ; Le Houérou, 1984) et (iii) plusieurs niveaux de perturbation liée à la présence ou l'absence de pâturage, qui constitue le principal facteur limitant de la production des écosystèmes (Le Houérou, 1969 ; Le Houérou et *al.*, 1981 ; Dahmani, 1997).

Ce chapitre introductif a pour vocation de présenter le cadre conceptuel et la problématique générale de notre étude, il sera suivi par la présentation de la zone d'étude, en abordant l'aspect géologique, géomorphologique, hydrologique et climatique. L'approche méthodologique est exposée, par la suite, de l'échantillonnage au traitement de données, puis l'étude des résultats de notre étude leur interprétation et leur discussion, et enfin ce travail se terminera par une conclusion générale et perspectives.

I. Les facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux regroupent l'ensemble des paramètres physicochimiques qui expliquent la répartition des espèces. L'une des approches les plus pertinentes pour appréhender l'organisation des communautés végétales consiste à reconnaître l'existence de **filtres environnementaux**. Cette approche prédit que l'assemblage des espèces est contraint par plusieurs filtres successifs agissant à différentes échelles spatiales. Le terme de « **règles d'assemblage** » (Diamond, 1975 ; Keddy, 1992) s'applique ainsi à l'ensemble des procédés de filtrage agissant sur un pool total d'espèces pour conduire à une communauté établie.

En fonction des processus et de l'échelle où ils s'appliquent, on peut distinguer trois filtres permettant d'identifier les différents mécanismes responsables de la structuration des communautés (Figure -1-).

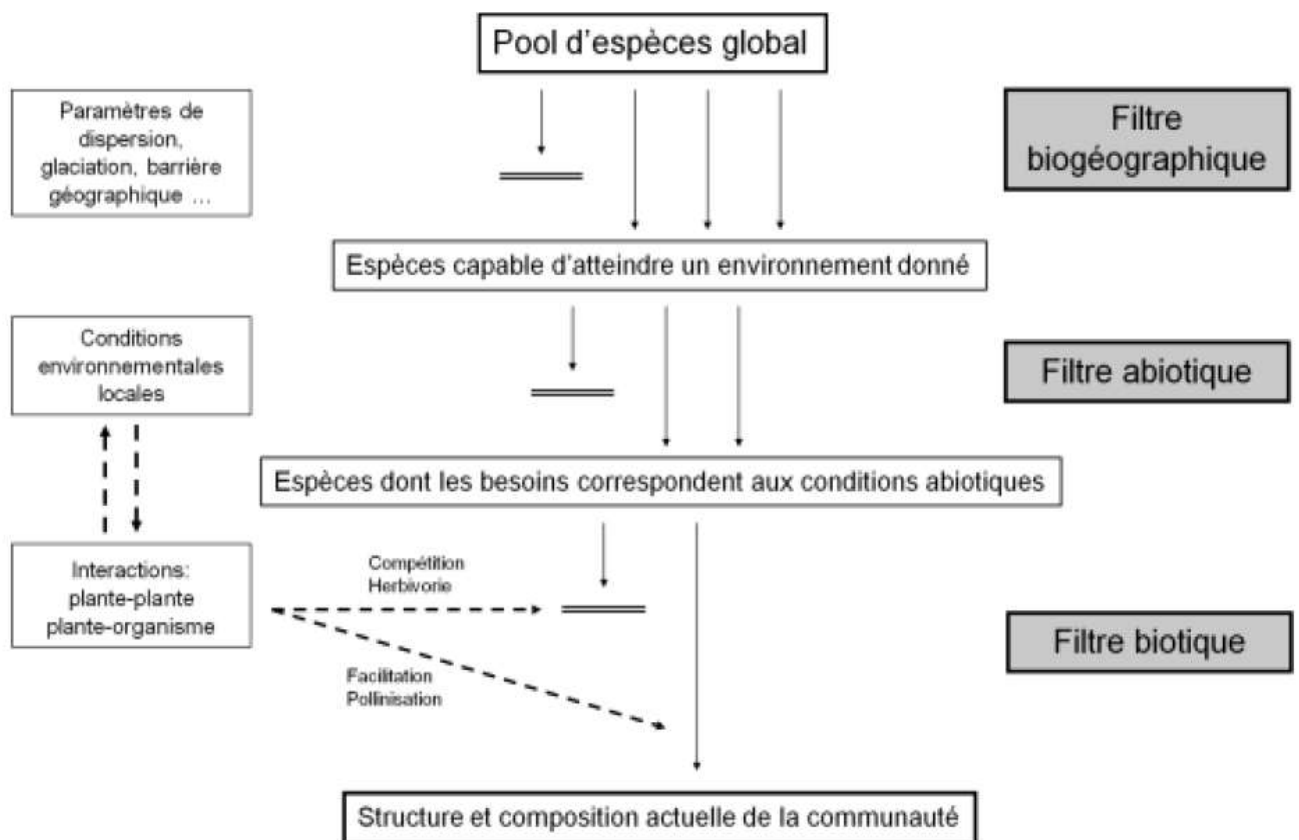


Figure - 1 - Facteurs et processus déterminant la composition et la structure des communautés végétales (d'après Lortie et *al.*, 2004).

I.1. Les filtres environnementaux

1.1. Le filtre biogéographique

Le filtre biogéographique ou historique, appliqué à l'échelle de la planète, des continents ou des grands biomes détermine la diversité spécifique observable à l'échelle d'une région biogéographique, ou **diversité gamma** (γ) (Cody, 1975). Il sélectionne les espèces végétales au sein du pool total selon leurs capacités de dispersion par divers agents tels que le vent (anémochorie), l'eau (hydrochorie) ou les animaux (zoochorie) (Jung, 2009). Les mécanismes déterminant ce filtre sont donc liés à la capacité des espèces à disséminer sur de grandes distances, faisant en sorte que des espèces différentes mais avec les mêmes exigences environnementales occupent des milieux similaires dans des lieux géographiques différents (notion de vicariance). Afin de pouvoir participer au pool régional, les espèces doivent alors traverser un certain nombre de **barrières géographiques** (montagnes, océans etc.). La constitution du pool régional d'espèces par le filtre historique dépend largement de processus stochastiques (Hubbell, 2001 ; Lortie et *al.*, 2004a).

1.2. Le filtre abiotique

Le filtre abiotique regroupe l'ensemble des facteurs simples ou complexes décrivant les caractéristiques physico-chimiques (température, salinité, luminosité, humidité etc.) de l'environnement local d'une communauté végétale. Il sélectionne les espèces au sein du pool régional selon leur affinité ou leur tolérance vis-à-vis de ces facteurs: seules les espèces capables de tolérer les contraintes de l'habitat sont susceptibles de constituer une communauté. La variation de composition floristique inter-communautés (entre différents habitats) est alors qualifiée de **diversité beta** (β) (Cody, 1975).

Selon (Austin, 1976 ; Austin et Smith, 1989) on peut distinguer trois grands types de facteurs abiotiques :

- *Les facteurs complexes décomposables* en plusieurs facteurs directs, telle que l'altitude.
- *Les facteurs directs* qui vont modifier l'acquisition des ressources par les organismes, tels que la température, l'exposition au vent ou le niveau d'ensoleillement.

- *Les facteurs de ressources* qui correspondent aux éléments nécessaires à la plante et qui permettent de définir la niche des espèces, tels que l'eau et les nutriments.

1.3. Le filtre biotique

Le filtre biotique correspond aux interactions entre les différents organismes composant la communauté, et comprennent les interactions plante-plante (compétition/facilitation) ainsi que les interactions plantes-organismes au sens large (prédation, parasitisme, pollinisation, mycorhizes...). Ce filtre est décrit comme fortement déterministe (Lortie *et al.*, 2004, McGill *et al.*, 2006) il détermine les espèces qui co existent au sein d'une même communauté et contrôle ainsi la diversité spécifique intra-communauté, ou **diversité alpha** (α) (Cody, 1975).

Les interactions plante-plante peuvent être soit *positives* (Facilitations) et qui élargissent l'aire de répartition géographique des espèces (Michalet *et al.*, 2006), *négatives* (Compétitions) qui excluent les espèces dans les habitats appropriés et ainsi réduisent leur aire de répartition; ou bien *neutres*, n'ayant pas d'effet sur la distribution des espèces (Callaway, 2007). Les deux interactions couramment étudiés en écologie des communautés végétales sont la compétition et la facilitation décrivant les effets négatifs et positifs liés à la présence de voisins sur la performance (évaluée par son abondance et sa fitness) d'une espèce donnée.

La facilitation est reconnue par de nombreux auteurs comme un facteur déterminant dans l'organisation et la diversité des communautés de plantes (Bertness & Callaway, 1994; Brooker *et al.*, 2005; Pugnaire *et al.* 2011) et joue un rôle important dans la structuration des communautés végétales en particulier dans les **environnements sévères** où les contraintes abiotiques sont importantes (Michalet, 2006). Toutefois, **la compétition** est reconnue aussi comme un facteur biotique qui influence fortement la structuration des communautés végétales (MacArthur & Levins 1967, Grime 1977, Tilman 1982, Grace 1990). Les phénomènes de compétition interviennent lorsqu'au moins deux espèces partageant une ressource commune exercent un effet négatif réciproque (Connell, 1990) et selon Grime (1979), la compétition serait importante uniquement dans les **milieux productifs**, c'est-à-dire dans les milieux à faibles contraintes abiotiques.

Parmi les interactions plante-organisme caractérisant ce filtre, les interactions plante-animal en particulier, l'**herbivorie** joue un rôle déterminant dans la composition floristique de certaines communautés (Furbish & Albano 1994, Rand 2002).

L'ensemble de ces interactions peuvent modifier les conditions abiotiques d'un milieu, et il existe donc des interactions entre ce filtre et le précédent. Ce filtre biotique va donc modifier aussi la **niche potentielle** des espèces pour former ce que l'on appelle la **niche réalisée**.

I.2. La niche des espèces

La niche écologique d'une espèce peut se définir, comme les conditions abiotiques et les interactions biotiques qui permettent sa survie, caractérisée par un taux de croissance positif de ses populations, et conditionnent sa répartition (Holt, 2009).

La réponse d'une espèce à la variation des facteurs abiotiques de l'environnement définit sa **niche potentielle**. Ainsi, la niche potentielle d'une espèce est un hypervolume à n dimensions dont chaque point correspond à un ensemble de conditions environnementales permettant à une espèce d'exister indéfiniment (Hutchinson, 1957). Toutefois, il faut signaler que tous les facteurs abiotiques n'ont pas la même importance sur la sélection des espèces, de ce fait, le filtre abiotique doit être caractérisé par sa composante la plus pertinente, c'est-à-dire la variable abiotique selon laquelle les communautés présentes sont le mieux discriminées (Jung, 2009).

Ainsi de nombreuses études portent sur l'analyse de la distribution des espèces et/ou des communautés le long de **gradients environnementaux** (ex. Pickett et Bazzaz, 1978 ; Alard et Poudevigne, 2000 ; Choler et *al.*, 2001 ; Penning et *al.*, 2005). Et comme pour les facteurs abiotiques il existe selon Austin (1980) trois types de gradients :

- *Les gradients de ressource*, qui s'appliquent uniquement aux ressources utilisées pour la croissance, telles que la lumière, l'eau et les nutriments.
- *Les gradients directs* : ils représentent les variables environnementales qui ont un impact physiologique direct sur la croissance mais qui ne sont pas consommées ; il s'agit, par exemple, de la température ou du pH.

- *Les gradients indirects* : ils affectent la croissance végétale de manière indirecte, en influençant un ou plusieurs gradients directs. Par exemple, l'altitude agit sur la croissance *via* son influence sur la température, les précipitations etc.

Il existe, alors, des **facteurs limitants** qui expliquent performance (estimée par son abondance, reproduction ou survie) et/ou présence de l'espèce. La variation de la performance d'une espèce le long d'un gradient environnemental correspond à sa **réponse physiologique** (Austin, 1980). Cette notion est accompagnée de concepts permettant de caractériser l'affinité des espèces vis-à-vis des facteurs environnementaux. On peut ainsi définir des niveaux de tolérance et des niveaux optimaux pour chaque espèce vis-à-vis d'un facteur (Figure - 2-). Ces comportements pouvant différer entre les espèces, on peut expliquer ainsi comment plusieurs espèces peuvent se partager un même milieu en ayant des exigences différentes (Grassein, 2009).

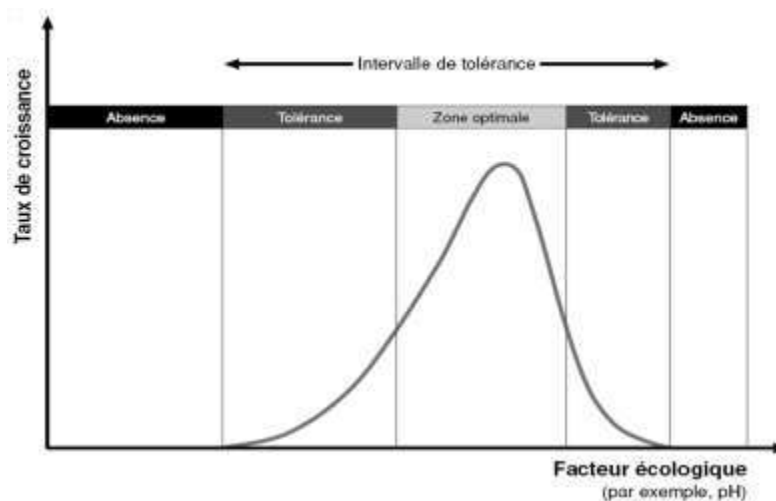


Figure - 2 - Illustration des notions d'optimum et de tolérance permettant de caractériser plus finement la performance d'une espèce (d'après Grassein, 2009).

Toutefois l'ensemble des lieux favorables du point de vue abiotique n'est pas forcément occupé par l'espèce, d'une part à cause de facteurs plus ou moins déterministes limitant la capacité des espèces à se disperser et à coloniser ces milieux (barrières géographiques, courants contraires...), et d'autre part du fait de la présence dans ce milieu d'autres plantes qui peuvent empêcher/promouvoir la présence d'une autre espèce (Grassein, 2009). Ces interactions sont regroupées sous le terme de relations biotiques dont les principales sont, comme cité précédemment, la compétition et la facilitation. Ces interactions

modifient la niche potentielle d'une espèce en **une niche réalisée** tenant compte de ces interactions biotiques (Figure -3 -).

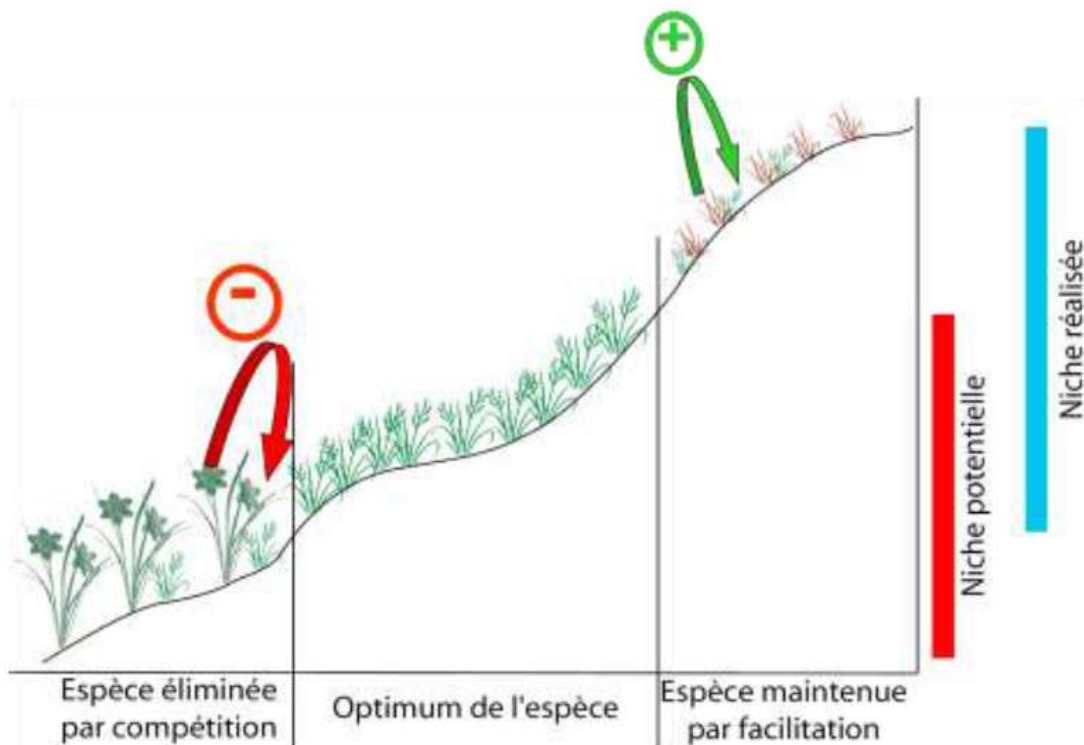


Figure -3 - Concept de la niche potentielle et de la niche réalisée d'une espèce, illustré avec un gradient altitudinal (d'après Grassein, 2009).

II. La réponse des espèces à leur environnement

II.1. Les stratégies

Grime (1979) considère qu'il existe trois stratégies végétales principales (Figure -4-) en réponse à différents facteurs environnementaux (biotiques ou abiotiques) : la compétition, la perturbation et le stress. Ces stratégies sont la stratégie compétitive (C), tolérante au stress (S) et rudérale (R).

Les *espèces compétitrices* (C) à forte stature, à croissance rapide et aux capacités d'acquisition des ressources élevées. Cette stratégie domine dans les milieux productifs (perturbation et stress faibles). Les *espèces tolérantes au stress* (S), de faible stature avec une croissance lente et une reproduction assez faible, capables de supporter des conditions

difficiles. Cette stratégie domine dans les milieux physiquement contraints (perturbation faible et stress fort), *Les espèces rudérales* (R) de faible stature mais à croissance rapide et avec une forte allocation pour la reproduction, dominant les milieux perturbés (perturbation forte et stress faible).

- La **compétition** est définie par Grime comme la tendance des plantes voisines à utiliser la même quantité de lumière, le même nutriment minéral ionique, la même quantité d'eau, ou le même volume de l'espace.
- Il définit le **stress** comme les contraintes externes qui limitent le taux de production de matière sèche d'une partie de la végétation ou de la végétation tout entière, il définit ainsi le stress à l'échelle de la communauté. Cette définition est différente de celle de Lortie et *al.* (2004) qui considère le stress comme la réduction des performances physiologiques d'un individu lorsque les conditions abiotiques s'écartent de son optimum physiologique. Ce qui implique que le stress est dépendant de l'espèce considérée, autrement dit qu'un milieu stressant pour une espèce ne l'est pas nécessairement pour une autre.
- La **perturbation** est définie par Grime comme les mécanismes qui limitent la biomasse végétale en causant sa destruction (exemple : La Prédation).

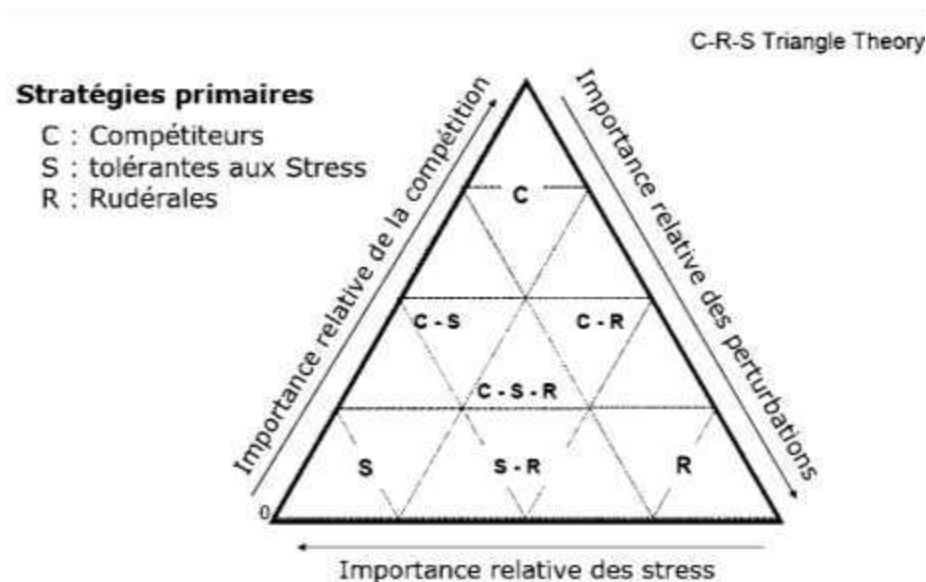


Figure -4- Illustration des différentes stratégies primaires (Grime, 1977).

II.2. les Traits fonctionnels

La nécessité de comprendre et de prédire les changements des écosystèmes liés aux changements environnementaux tels que le climat, la composition atmosphérique, l'utilisation des terres et les échanges biotiques, ont donné une impulsion à l'étude des caractéristiques de la plante (traits) qui reflètent les stratégies écologiques des espèces et déterminent comment les plantes réagissent aux facteurs environnementaux, affectant d'autres niveaux trophiques et propriétés de l'écosystème (Kattge et *al.*, 2011).

L'étude de la variabilité de ces traits au sein d'une communauté végétale présente alors un intérêt fondamental, car cela permet de comprendre la réponse de la végétation à la variation de l'environnement (biotique et abiotique) et l'effet de la végétation sur l'écosystème et son fonctionnement et par conséquent sur l'environnement à grande échelle.

Des études corrélatives ainsi qu'empiriques ont permis de mettre en évidence le lien entre des traits et des fonctions intrinsèques de la plante (Westoby, 1998 ; Weiher et *al.*, 1999) (Figure -5-). Cette approche fonctionnelle s'est considérablement développée au cours de ces trois dernières décennies (Grime, 1974 ; Woodward et Diament, 1991 ; Chapin et *al.*, 1993 ; Díaz et *al.*, 1998 ; Lavorel et Garnier, 2002 ; Ackerly et Cornwell, 2007), pour s'imposer comme l'une des plus pertinentes pour décrire et comprendre l'organisation des communautés (McGill et *al.*, 2006).

L'approche fonctionnelle est basée sur l'utilisation de **traits fonctionnels**. Ce terme regroupe tous les caractères morphologiques, physiologiques ou phénologiques affectant la fitness d'un individu de manière indirecte via leur influence sur ses performances (biomasse, reproduction ou survie) (Noble et Slatyer, 1980 ; Violle et *al.*, 2007). Deux types de traits : **les traits de réponse**, permettant aux espèces de s'adapter à une variation des conditions environnementales, et **les traits d'effet**, ayant un impact sur le fonctionnement écosystémique (Lavorel et Garnier, 2002, figure -6-) et permettant d'en prédire les processus tel que le cycle biogéochimique.

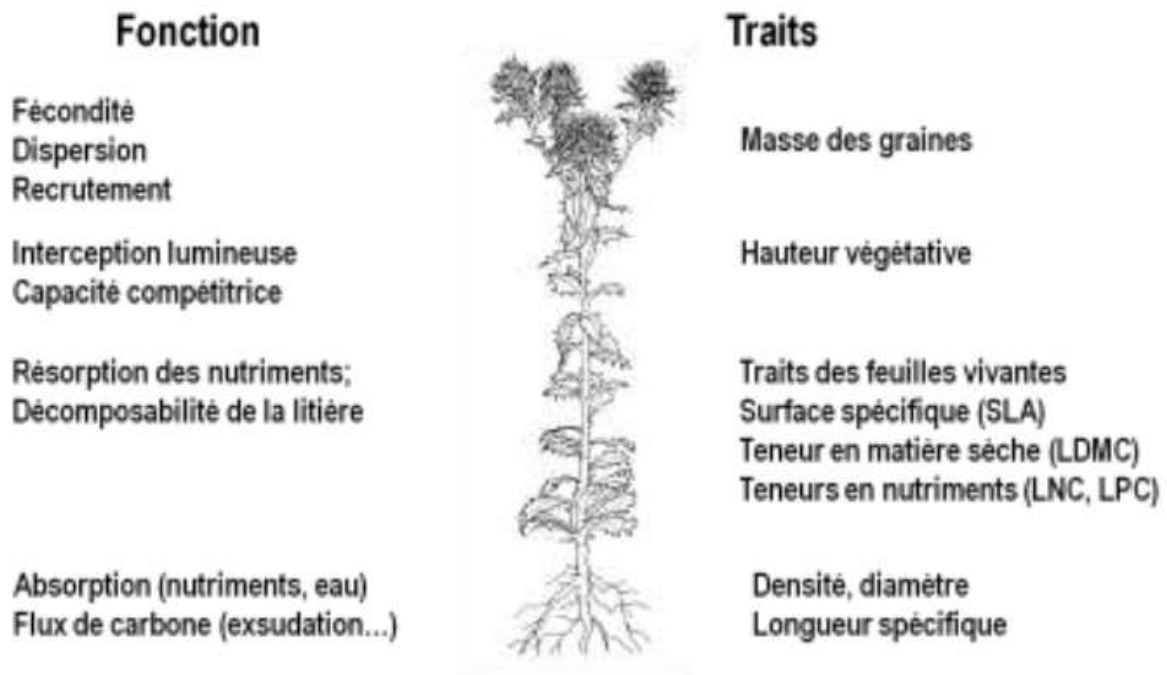


Figure - 5- Exemples de différentes fonctions de la plante, et de quelques traits qui peuvent être associés à ces fonctions.

Ainsi l'étude des traits fonctionnels permet une **classification fonctionnelle** des espèces végétales en **types fonctionnels**, où le type fonctionnel est défini comme un groupe d'espèces partageant des fonctions similaires au niveau de l'organisme, des réponses similaires aux facteurs de l'environnement et/ou Rôle (effet) similaire dans (sur) l'écosystème, ce qui implique que ce groupe d'espèce partagent un ensemble de traits fonctionnels clés indicateurs de fonctions responsables de réponse « **traits de Réponse** » ou d'effet « **traits d'effets** » de l'espèce. Par exemple, la forme et le poids des graines informe sur la persistance des semences, des graines petites et rondes survivent plus longtemps dans le sol (Cornelissen et *al.*, 2003).

Le concept des filtres environnementaux abordé précédemment peut donc être défini comme les conditions abiotiques et biotiques de l'environnement qui effectuent un tri écologique en sélectionnant les espèces portant certains traits de réponse à ces conditions (Figure -7-). Ce qui rend possible la prédiction du pool de traits de la communauté des plantes en combinant les connaissances de la nature et puissance des différents filtres avec la nature des traits de réponse pour chacun de ces filtres. Des groupes fonctionnels d'effet regroupant des espèces végétales de la communauté établie vont présenter des traits d'effets

particuliers influençant le fonctionnement de l'écosystème et la production des services écologiques (Lavorel & Garnier 2002).

Cette **diversité fonctionnelle**, qui peut se définir comme « l'étendue et la valeur associées aux traits des espèces/organismes qui influencent la fonctionnalité d'un écosystème » (Tilman, 2001) en influençant la résistance et la résilience des écosystèmes (Walker et al., 1999), contribue à leur stabilité face à des perturbations environnementales telles que la sécheresse (Grime et al., 2000), le gel ou le feu (MacGillivray et Grime, 1995). Par ailleurs, Leniere et Houle (2009) ont mis en évidence des interactions positives entre différents groupes fonctionnels pouvant augmenter la résistance des écosystèmes et leur capacité à conserver ou rétablir leurs fonctions essentielles après une perturbation.

Les traits fonctionnels peuvent donc être mis à profit pour comparer les espèces végétales mais également pour décrire, comprendre et prévoir l'assemblage des communautés végétales selon une approche mécanistique (Keddy, 1992 ; Zobel, 1997 ; Diaz et al., 1998).

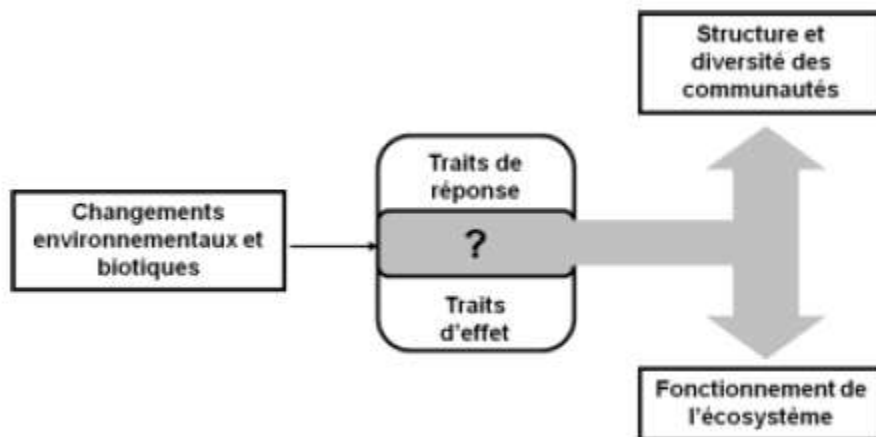


Figure - 6- Schéma conceptuel reliant les changements environnementaux à la structure des communautés et au fonctionnement des écosystèmes (d'après Lavorel et Garnier 2002).

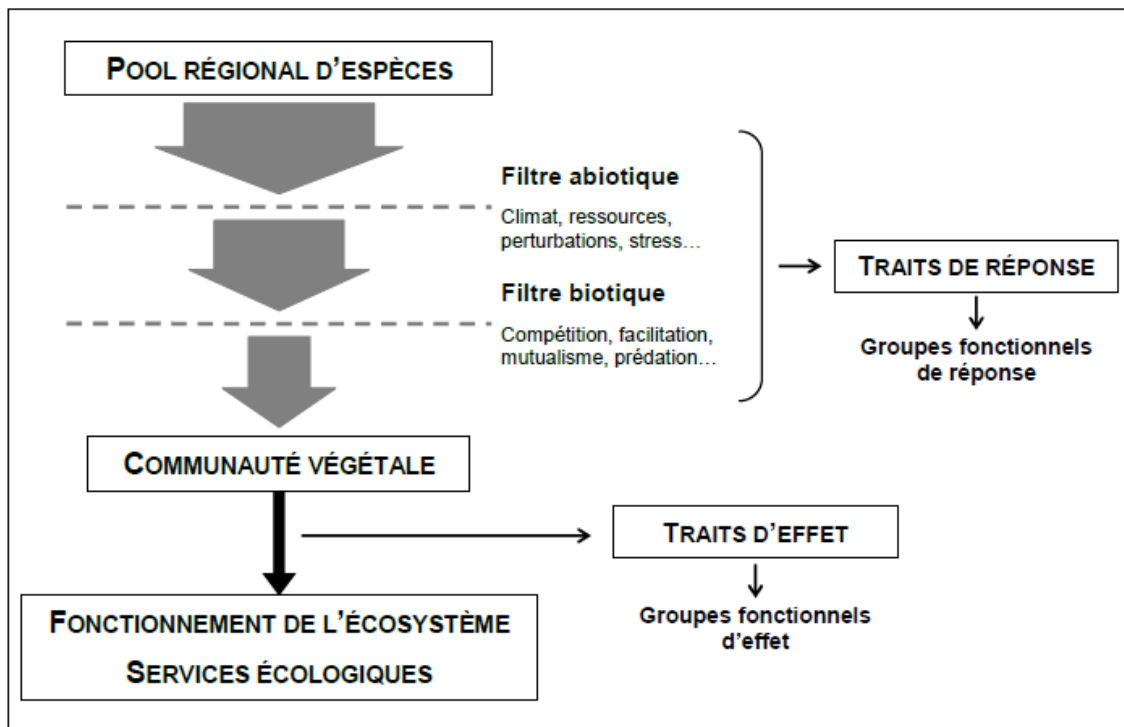


Figure -7- Schéma conceptuel reliant les règles d'assemblage déterminant la structure et la composition de communautés végétales et le rôle de ces dernières dans le fonctionnement des écosystèmes et la production de services écologiques (d'après Lavorel & Garnier, 2002).

De nombreuses études ont permis d'identifier des traits de réponse pertinents face à divers facteurs environnementaux, comme le pâturage (ex. Diaz et *al.*, 2001), les ressources du sol (ex. Craine et *al.*, 2001 ; Ryser, 2006). Des études ont été jusqu'à la construction de groupes fonctionnels (ex. Lavorel et *al.*, 1999 ; Louault et *al.*, 2005).

De nombreuses études ont notamment porté sur l'effet des traits sur la productivité primaire (Pontes et *al.*, 2007), les cycles azotés (Craine et *al.*, 2002) ou la décomposition de la litière (Cornwell et *al.*, 2008), processus largement documentés en écologie. Le concept investit peu à peu le champ de l'écologie de la restauration où il apparaît comme un outil prometteur, pour la restauration des écosystèmes (Kyle et Leishman, 2009 ; Mahaney, 2010).

Selon Lavorel et Garnier (2002) l'ensemble de traits fonctionnels essentiels sont ceux qui (i) peuvent représenter les réponses/effets de la végétation dans/sur l'écosystème, le paysage, le biome ou à plus grande échelle le continent (ii) peuvent être utilisés pour élaborer

une classification fonctionnelle comme outil de modélisation (*iii*) peuvent aider à répondre aux questions : conservation de la nature, gestion des terres...etc. (*iv*) faciles et peu coûteux.

De ce fait, il y a une distinction entre « soft traits » faciles et rapides à quantifier et « hard traits » qui ne peuvent pas être quantifiés pour un grand nombre d'espèces :

- Les *soft traits* permettant l'analyse de nombreuses espèces simultanément et à moindre coût (Cornelissen *et al.*, 2003). Il s'agit la plupart du temps de **traits foliaires** ou de **traits morphologiques**. Certains traits tels que la SLA (Specific Leaf Area : surface d'une feuille exprimée par unité de masse sèche), la hauteur de la plante et la masse des graines sont considérés comme essentiels « core traits » pour refléter la stratégie écologique des espèces, en particulier vis-à-vis de l'utilisation des ressources (Westoby *et al.*, 2002, Wright *et al.*, 2004).
- Les *hard traits* sont par exemple, les traits biochimiques tels que le **protéome** qui correspond à l'ensemble des protéines exprimées par le génome, dont l'analyse fournit un aperçu de l'ensemble du phénotype, et permet l'étude de la plasticité phénotypique puisque un même génome fournit une multitude de protéomes sous l'effet des facteurs environnementaux ainsi qu'elle permet de tracer l'histoire évolutive des espèces (Jung, 2009).

II.3. Plasticité phénotypique et génétique

Les plantes, sont particulièrement sensibles aux changements environnementaux et elles répondent à l'ensemble des conditions de leur voisinage abiotique et biotique, imprimant sur leurs traits des caractéristiques en lien avec celui-ci (Diaz *et al.*, 1999). Sous des conditions environnementales données, une certaine valeur de trait pour une plante-cible est donc attendue. Cette réponse peut avoir lieu au niveau de l'individu par plasticité, *i.e.* par la capacité d'un génotype à produire différents phénotypes en fonction des conditions environnementales (Sultan, 1995 ; Pigliucci, 2006), mais également au niveau d'une population par sélection naturelle des phénotypes les plus adaptés à un environnement (Heschel *et al.*, 2002), ou par tri écologique dans la communauté, avec persistance des espèces les mieux adaptées (Kooijman & Bakker, 1995).

Par ailleurs des études (ex. Callaway *et al.*, 2003) ont montré que la plasticité, en réponse à un facteur de l'environnement (par exemple, la disponibilité en eau, Figure -8-) a

des conséquences importantes sur l'interaction entre les plantes au point de passer d'une interaction de compétition à une interaction de facilitation.

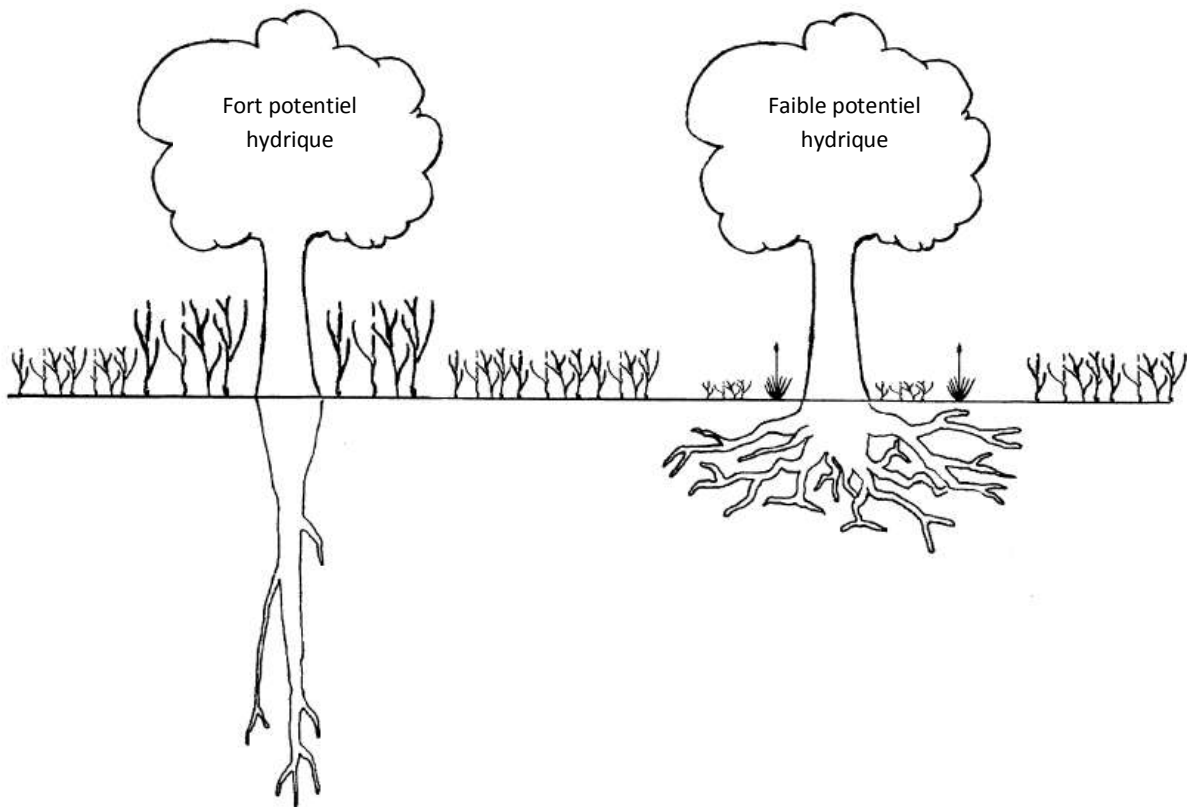


Figure -8- Les interactions entre les chênes et les herbes sous leur couvert varient en fonction des réponses plastique des chênes au déficit hydrique, les chênes avec un fort potentiel hydrique ont peu de racines superficielles et facilitent les herbes sous leur canopée, les chênes ayant un potentiel hydrique faible, ont beaucoup de racines superficielles et concurrencent avec les herbes, mais elle favorisent le développement de graminées cespiteuses (Callaway et *al.*, 2003).

III. Rôle de la Facilitation dans la structuration des communautés végétales

Les interactions de facilitations sont l'ensemble des processus menant à une amélioration de la performance (abondance, reproduction ou survie) d'un individu en présence d'autres organismes. Ces interactions se produisent en présence des espèces dites « **plantes nurses** », ces espèces vont améliorer l'environnement abiotique des autres espèces et facilitent leur établissement sous leurs canopées (Callaway et Walker, 1997).

On distingue (i) des **effets directs** qui vont permettre une amélioration des conditions de ressources telles que le niveau hydrique du sol (Liancourt et *al.* 2005a, Gross et *al.* 2009) ou l'intensité lumineuse (Callaway et *al.*, 2002) et (ii) des **effets indirects** passent par une modification de l'habitat par exemple l'effet d'abri de la végétation contre le vent (Choler et *al.* 2001) la protection contre les herbivores (Callaway & Pugnaire, 1999) ou bien une meilleure régulation de la température (ex. Cavieres et *al.* 2006, par la forme de vie en coussin).

Les interactions de facilitations ont été reconnues depuis longtemps comme un processus crucial dans la communauté végétale (Clements et *al.*, 1926 ; Allee et *al.*, 1949) mais ont largement été ignorées jusqu'à la fin des années 1980 (ex. Bertness et Leonard, 1989). Depuis le début des années 1990, la facilitation est de plus en plus reconnue comme une force motrice majeure de la coexistence des espèces dans les communautés végétales, en particulier dans les environnements difficiles. Un certain nombre d'auteurs (Bertness et Callaway, 1994; Brooker et *al.*, 2005) ont même proposé que la facilitation devient plus importante lorsque le stress environnemental augmente; ce modèle a été testé par plusieurs auteurs (ex. Callaway et *al.*, 2002).

Il ya eu un regain d'intérêt particulier pour les interactions positives et non-trophiques qui se produisent entre les plantes physiologiquement indépendantes et qui sont médiées par des changements dans l'environnement abiotique ou par d'autres organismes (animaux et végétaux) (le Hunter & Aarssen 1988 ; Callaway 1995 ; Bruno et *al.* 2003 ; Flores et Jurado 2003). D'importantes recherches ont examiné ces interactions, exploré en détail les mécanismes par lesquels elles se déroulent (Holzapfel et Mahall 1999 ; Maestre et *al.*, 2003a)., La façon dont elles contrôlent la structure et la fonction des communautés (Tirado et Pugnaire 2003 ; Kikvidze et *al.* 2005), et leurs implications dans la théorie écologique classique (Bruno et *al.* 2003; Lortie et *al.* 2004).

Récemment une thématique particulière a reçu une attention considérable de la part des scientifiques : **la relation entre les interactions plante-plante et la sévérité de l'environnement.**

Dans ce sens, les écologistes s'accordent à émettre « *The stress gradient hypothesis* », **SGH**, qui Prédit que : la facilitation et la compétition varient inversement à travers des gradients de stress abiotique, la facilitation étant l'interaction dominante dans des conditions stressantes (Bertness & Callaway 1994, figure -9-).

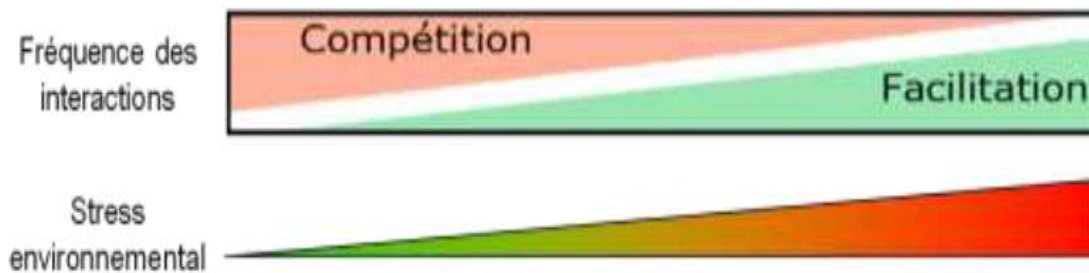


Figure -9- schéma conceptuel de la variation de la proportion des interactions positives (facilitation) et négatives (compétition) le long d'un gradient de stress dû aux conditions environnementales, d'après Bertness et Callaway (1994).

Bertness et Callaway (1994) rapportent que les interactions positives devraient être particulièrement importantes dans les communautés soumises à un stress physique élevé et une pression élevée des consommateurs. Par l'amélioration par le voisinage de l'environnement face au stress physique et les associations de défense contre la pression des consommateurs. Plusieurs auteurs (par exemple, Bertness & Callaway 1994; Callaway & Walker, 1997; Brooker & Callaghan, 1998) ont proposé que les effets positifs entre les espèces sont plus susceptibles d'être rencontrés dans des environnements perturbés ou stressants.

De nombreuses études récentes ont tenté de tester la SGH, et ont adopté une approche « haut vs bas » (Brooker *et al.*, 2008) , c'est à dire qu'ils tiennent compte de deux ou trois niveaux de sévérité de l'environnement (perturbation et / ou stress), et ont souvent constaté qu'avec l'augmentation de la gravité, l'effet positif du voisinage augmente (ex. Greenlee et Callaway, 1996 ; Pugnaire et Luque, 2001; Maestre *et al.*, 2003a ; Gómez-Aparicio *et al.*, 2004 ; Brooker *et al.*, 2006 ; Kikvidze *et al.*, 2006b ; Callaway, 2007).

Toutefois, ces études se concentrent souvent sur les interactions qui sont clairement de facilitation, et examinent un appariement d'espèces en particulier (Brooker et al., 2008). D'autres études ont adopté une approche plus large, Cavieres et al., (2002, 2006) pour des études au niveau de la communauté, Colère et al. (2001) qui ont examiné les tendances de tous les gradients et ont constaté que l'élévation en altitude a été associée à une fréquence accrue des interactions de facilitation. Ils ont également constaté que la facilitation dépend de l'identité de l'espèce, les espèces facilitées étaient souvent aux extrémités de leur tolérance de l'environnement. L'effet positif de leur voisinage leur permet de dépasser cette limite (la théorie de niche réalisée cf. I.2.).

Callaway et al. (2002) ont trouvé que la compétition domine, en général, à basse altitude où les conditions sont moins stressantes. En revanche, à des altitudes élevées où le stress abiotique est élevé, les interactions entre les plantes sont majoritairement positives. Holzapfel et al. (2006) ont constaté un changement progressif et cohérent des effets positifs ou neutres à des effets négatifs des arbustes du désert sur les espèces annuelles avec l'augmentation de la disponibilité en eau.

En revanche, mais dans une étude menée sur une seule paire d'espèces, Maestre et Cortina (2004) ont trouvé un interrupteur de la compétition à la facilitation et retour à la compétition le long d'un gradient de la baisse des précipitations dans un système de steppe semi-aride. De même, Tielbörger et Kadmon (2000a) ont constaté que l'effet d'arbustes du désert sur des annuelles est passé de négatif à neutre ou neutre à positif (selon les espèces) avec l'augmentation de la pluviométrie annuelle.

Habituellement, dans les écosystèmes arides, la végétation est distribuée de façon hétérogène, avec des espèces végétales associées souvent en patchs. Ces patchs de végétation sont composés d'arbres, d'arbustes ou de touffes qui peuvent agir comme un abri contre les conditions environnementales difficiles. Ces plantes sont considérées comme des plantes nurses car elles semblent offrir des microhabitats (figure -10-) qui améliorent la survie d'autres espèces de plantes. Les modèles théoriques basés sur des études empiriques suggèrent que ces interactions positives entre les espèces végétales sont l'un des principaux moteurs de la formation de ces associations.

Une meilleure compréhension des processus de facilitation a un intérêt fondamental pour le développement d'outils pour la restauration des écosystèmes, et d'améliorer notre compréhension de la réponse des espèces et des communautés végétales aux facteurs de changement de l'environnement. De ce fait, la recherche de la facilitation entre les plantes a des liens importants avec les enjeux écologiques actuels, y compris la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, et les impacts du changement global (Hooper et *al.*, 2005 ; Brooker, 2006).



Figure -10- exemples de mécanismes de facilitation par la création de microhabitats dans la région d'El-Ghicha (a) interaction entre deux jeunes individus de *Stipa tenacissima* et *Rosmarinus officinalis* (b) protection de la touffe de *Stipa tenacissima* d'un plantule de *Juniperus phoenicea* (c) facilitation entre *Juniperus phoenicea* et *Pistacia atlantica* contre la sécheresse (d) une touffe de *Stipa tenacissima* pousse sous un jeune individu de *Juniperus phoenicea* (e) protection de la touffe de *Stipa tenacissima* des plantes annuelles de la sécheresse et du pâturage (Photographies : Benmebarek, 2014)



IV. Rôle du pâturage

La pratique d'un pâturage intensif sur des surfaces limitées a conduit à une réduction importante de la diversité floristique et à la perte d'espèces patrimoniales (Van Wieren, 1995).

Le pâturage est l'un des facteurs biotiques les plus importants qui façonnent les communautés végétales. La consommation de biomasse par les herbivores affecte à la fois la composition des espèces végétales et la structure spatiale des communautés (Belsky, 1986 ; Olf et Ritchie, 1998). Dans les écosystèmes arides et semi-arides, le pâturage réduit le couvert végétal total, augmente l'abondance de certaines formes de vie telles que les plantes annuelles, et modifie l'identité des espèces dominantes (Bisigato et Bertiller, 1997).

Après le feu, le pâturage est la perturbation la plus importante de la végétation en termes de perte de superficie et de biomasse de la végétation (Huntly, 1991). Le pâturage est à la fois dépendant et affecte la morphologie et les caractères fonctionnels de la plante. Cette codépendance peut générer de puissants cycles de rétroaction entre la structure et la biochimie de la végétation et le cycle et le stockage des nutriments (Huntly, 1991; Wardle & Bardgett, 2004). Pour ces raisons, les changements dans la densité de pâturage en réponse au climat et / ou changement d'utilisation des terres sont de plus en plus considérés comme un élément important du changement global (Wardle et Bardgett, 2004).

Les modèles de la dynamique globale de la végétation (Dynamic global vegetation models, DGVMs) cherchent à représenter la dynamique de la végétation afin de projeter les effets du changement environnemental global sur la répartition des types de végétation et sur les cycles biogéochimiques clés à l'échelle continentale (Cramer et al., 2001). Une avancée importante dans la réalisation de cet objectif, a été la simplification de la composition de la végétation en utilisant des groupes fonctionnels de plantes (Lavorel et al., 2007).

Le premier modèle de la réponse des traits de la plante au pâturage est le modèle aire-succession (Dyksterhuis, 1949; Arnold, 1955) qui prévoit avec le pâturage, une augmentation de la couverture des plantes annuelles et une diminution de plantes vivaces, le remplacement des plantes appétibles par des plantes non appétibles, et le remplacement des grandes et moyennes plantes par des plantes courtes, des sous-arbrisseaux, et des plantes herbacées non

graminéennes vivaces. Ce modèle suppose que ces dynamiques sont universelles et ne sont pas affectées par les différences des caractéristiques des différentes régions.

En revanche, le modèle généralisé de Milchunas et al. (1988) est focalisé sur l'idée que les précipitations (permettant la productivité) et l'histoire de pâturage de la région influence la réponse de la communauté de plantes. Ce modèle prévoit que l'aridité et le pâturage sélectionnent les mêmes attributs de plantes. Cependant, dans les habitats humides, la compétition aérienne et le pâturage sélectionnent des attributs opposés. En conséquence, les changements prévus par le pâturage devraient être maximaux dans les systèmes humides avec une courte histoire de pâturage. Et avec une longue histoire de pâturage, la réponse devrait être minimale dans les systèmes arides pour quelques traits (par exemple, du cycle de vie), mais au maximum dans les systèmes humides pour d'autres traits (par exemple, la hauteur).

Un troisième groupe de modèles sont basés sur l'idée de stratégies de plantes comme un important régulateur de caractères de la plante (c'est-à-dire, une adaptation générale pour l'approvisionnement en ressource, son utilisation et son rejet, et reconnaissent la perturbation, dont le pâturage est un cas particulier, au sein de leur contexte de perturbation comme simplement une élimination de biomasse). L'autre facteur important est le stress, qui limite la production de biomasse. Les principaux exemples de cette approche sont les modèles de Grime (1977, 1990, 2001) et Westoby (1998, 1999). Le modèle CSR de Grime, décrit précédemment, distingue trois principales stratégies végétales : compétitrice, stress-tolérante et rudérale. Le pâturage sélectionne des plantes ayant une stratégie rudérale (courte durée de vie, de petite taille et à croissance rapide). Cependant, dans les systèmes arides les plantes stress-tolérantes (petites, prostrées, vivaces) sont également favorisées. De même, le pâturage doit conduire à des plantes plus courtes, en particulier dans les systèmes secs. L'appétence devrait augmenter en réponse au pâturage dans les systèmes humides (*tolérance au pâturage*, impliquant la repousse rapide des tissus de haute qualité avec une très faible défense structurelle), et devrait diminuer dans les systèmes arides (*évitement de pâturage*, portant sur des tissus à croissance lente, riche en défense structurelle).

Le modèle de Westoby's (1998) LHS (pour *leaf-height-seed*, feuille-hauteur-graine) est sur des considérations similaires que le modèle CSR de Grime, mais ne comprend que trois traits, la foliaires spécifique, la hauteur de la canopée et la masse des graines. Westoboy (1999) adapte ce modèle à la réponse au pâturage en examinant les attributs de plantes favorisés par différentes intensités de pâturage. Selon ce modèle, un pâturage sélectif modéré

favorise les plantes non palatables, alors que, un pâturage intense non sélectif favorise les plantes palatables.

Les modèles incluant la disponibilité des ressources (Coley et al., 1985 ; Herms et Mattson, 1992) comprennent des effets interactifs de la productivité et l'herbivorie, et sont basés sur un compromis entre l'allocation de ressource pour produire de nouveaux tissus photosynthétiques et la défense contre l'herbivorie. Comme le modèle CSR, ce modèle prévoit que le pâturage sélectionne une stratégie d'évitement dans les systèmes arides (moins productive) et une stratégie de tolérance à travers une croissance accrue dans les systèmes humides. Herms & Mattson (1992) suggère que plus l'impact historique du pâturage est fort, et plus les plantes investissent dans des stratégies d'évitements.

En outre, le pâturage peut conduire à une augmentation des interactions positives entre les plantes en raison de la défense associative; par exemple, certaines espèces de plantes se protègent des herbivores en associant spatialement avec des plantes refusées (Graff et al., 2007). Des travaux ont testé la SGH dans des écosystèmes soumis à une perturbation par le pâturage ont trouvé une augmentation dans l'importance des interactions positives aux niveaux de pâturage faibles, mais pas à des niveaux élevés de pâturage où les interactions négatives prédominent (Smit et al., 2009). De même Saiz et Alados (2012) ont évalué les interactions de facilitations le long d'un gradient de pâturage et ont trouvé que des interactions positives sont importantes surtout à des niveaux de pâturage moyens, mais ces interactions disparaissent à des niveaux élevés de pâturage.

L'évaluation des effets du pâturage sur les interactions de plante fournit des informations précieuses pour la gestion des écosystèmes (par exemple les espèces qui agissent comme refuge pour les espèces sensible au pâturage; espèces qui ont besoin d'un refuge pour survivre). Les changements dans la structure de la communauté forment un principal outil pour détecter le moment où un écosystème est surpâturé (Milchunas et Lauenroth, 1993).

V. El-Ghicha comme modèle d'étude

Les écosystèmes arides et semi-arides sont des lieux privilégiés pour aborder les effets des interactions des plantes sur la structure et la dynamique des communautés végétales et l'influence du milieu sur ces interactions étant donné que les conditions environnementales sont exigeantes et peuvent changer rapidement, en modifiant de façon significative l'équilibre entre les effets positifs et négatifs des plantes voisines.

La plupart des théories sur la facilitation entre les espèces végétales en tant que processus primordial dans la structuration et la dynamique des communautés et sa variation en fonction des gradients environnementaux, particulièrement, le stress abiotique et la perturbation biotique ont été fondées sur l'étude des communautés des écosystèmes arides et semi-arides notamment méditerranéen (Michalet, 1991 ; Verdu et Garcia-Fayos, 1996 ; Maestre et *al.*, 2003 ; Pausas et *al.* 2006 ; Noumi et *al.*, 2010 ; Abdallah et *al.*, 2012) et qui a eu un regain d'intérêt sans précédent au cours des deux dernières décennies.

Ces écosystèmes sont caractérisés par des ressources limitées et très variables (eau et nutriments) dans l'espace et dans le temps, et par des conditions climatiques générales difficiles. Dans ces environnements, les plantes pérennes dominantes provoquent des changements à l'échelle du micro-climat et des propriétés du sol sous-jacent conduisant à la formation de ce qu'on appelle des « îlots fertiles » sous leur couvert végétal. Ces **microsites** particuliers (cf. Chapitre-II-, § I.2.) sont des lieux de forte activité biologique et qui concentrent une part importante de la flore et la faune locales (Gutiérrez et *al.*, 1993 ; Maestre et Cortina, 2005 ; Pugnaire et *al.*, 1996b ; Pugnaire et Lázaro, 2000 ; Vetaas 1992).

La région d'El Ghicha au sud de l'Algérie au cœur de l'Atlas Saharien à sa limite sud à la bordure du piémont saharien se situe sous l'étage bioclimatique semi aride au Nord et aride au Sud. Elle se caractérise en général par un climat méditerranéen sec et chaud, avec des précipitations entre 200 et 400 mm à la partie Nord et entre 100 et 300 mm à la partie Sud et des températures extrêmes estivales allant jusqu'à 45 °C. En plus de ces conditions la zone est caractérisée par une diversité géomorphologique importante comprenant montagnes, collines, plateaux, oueds...etc. les parties élevées se situent au nord de la région dépassant les 1400 m d'altitudes et les parties plus basses (1000 à 1200m) et les dépressions au sud de la région.

Les conditions climatiques limitent la croissance des plantes et la mise en place de forêts, qui sont limitées à la partie supérieure de la montagne qui est la zone la plus arrosée de la région et distribuées en mosaïque de microsites dans le reste de la région. A cela s'ajoute le facteur anthropique qui conditionne fortement l'installation et la structuration de la végétation qui est défini dans la région d'El Ghicha essentiellement par le pâturage. En effet, El-Ghicha fait partie des parcours steppiques sud-algérois, et dont la pression anthropozoïque n'est plus à démontrer.

Tous ces facteurs font d'El Ghicha un modèle idéal pour l'étude de la structuration des communautés végétales, qui est contrôlée par des interactions de facilitation entre les plantes, et la variation de ces interactions selon les facteurs environnementaux essentiellement le stress abiotique, que constitue la sécheresse et la perturbation par prédation, le pâturage. Le chapitre suivant se penche sur la description plus détaillée de la région d'El-Ghicha.

Chapitre-I- Description de la région d'étude

I. Cadre physique

I.1. Situation géographique

Au cœur de la chaîne montagneuse des Amours, centre de l'Atlas Saharien, se situe la région d'**El-Ghicha** (figure -11-), au Nord-Ouest de la wilaya de Laghouat à près de 400 km au sud d'Alger, d'une superficie de 730 km², elle est délimitée au nord, par les communes d'Aflou et de Sebgag ; à l'est, par les communes d'Oued Morra et d'Oued M'zi; au sud, par les communes d'Ain Madhi et de Tadjrouna ; à l'ouest, par la commune de Taouyala.

Pour décrire les conditions générales caractérisant notre 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.

- ▣ **Les hautes plaines steppiques** : se situent entre 1100 et 1300 mètres au sud-ouest et 900 à 1000 mètres d'altitude au nord-est.
- ▣ **Les 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, ses roches gréseuses, son climat froid en hiver, ses sources, et ses forêts.
- ▣ **La 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.
- ▣ **Le 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.

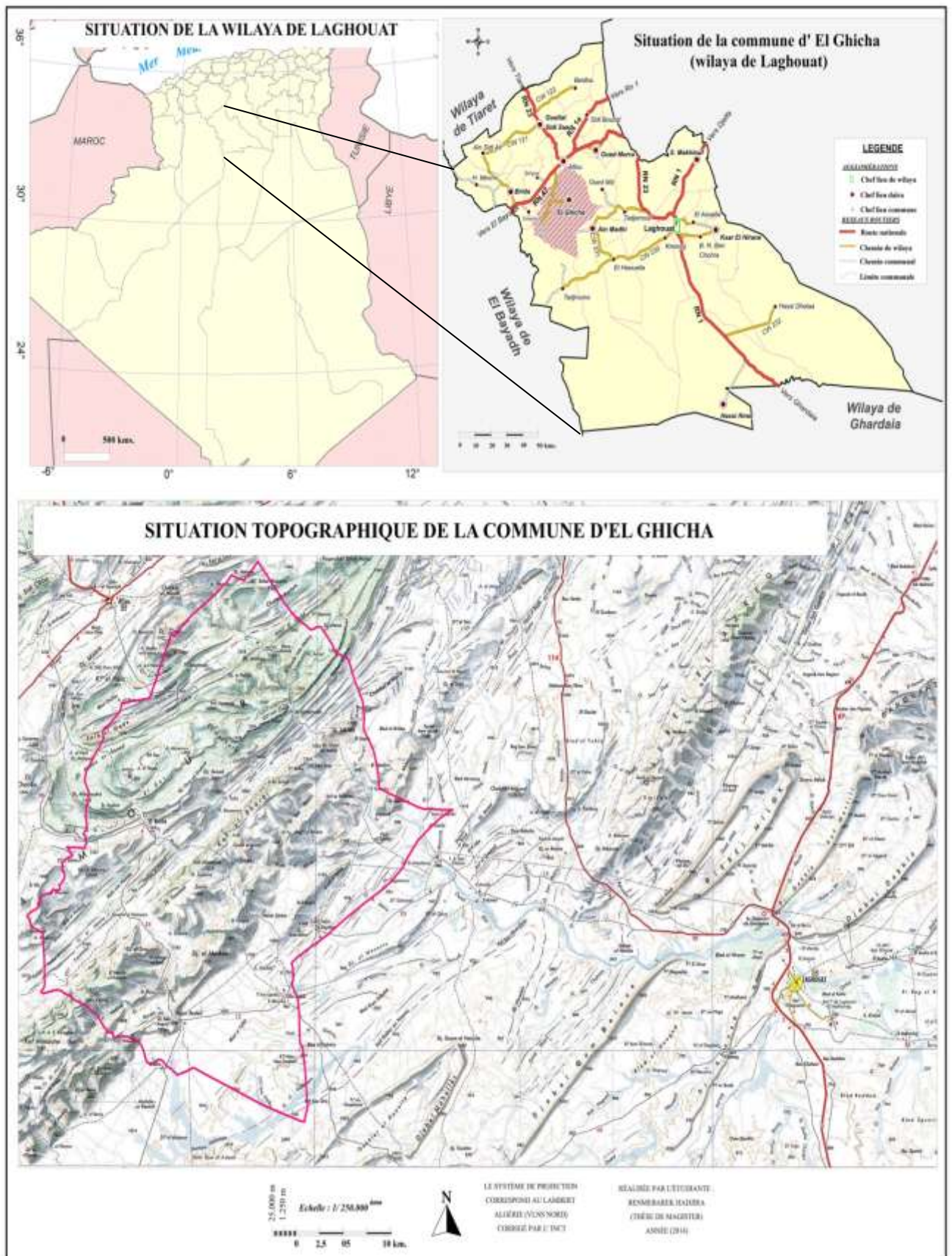


Figure -11 - Situation géographique et topographique de la région d'étude – El Ghicha -

I.2. Géologie et Géomorphologie

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 (Stambouli, 2004).

D'ouest en Est, l'Atlas saharien peut être subdivisé en : Monts des Ksour, Massif du Djebel Amour, Monts des Ouled Nail.

Nous nous intéressons plus spécialement ici au Massif du Djebel Amour. Cette montagne aux formes massives où prévaut le paysage de plateau est caractérisée par deux grands ensembles géologiques importants (Voir Carte, Figure -12-), le jurassique (calcaire et marno-calcaire) et le crétacé (grés).

Du 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 coeur érodé. Les structures sont allongées suivant une direction NE-SW dans la partie occidentale et E-W dans la partie Est du domaine (Bettathar, 2009).

La synthèse qui va suivre est inspirée de la carte géologique de Laghouat au 1/200.000, des travaux de Abed (1982), Stambouli (2004), et Bettahar (2009).

2.1. Lithostratigraphie

A. Le Trias

Dans la région, le Trias affleure sous forme de diapirs. Il est constitué d'argiles, de marnes, parfois de grés, brunâtres, violines ou versicolores plus ou moins gypseuses ou salifères emballant des roches magmatiques de couleur verte (essentiellement des ophites à textures doléritiques) et des calcaires dolomitiques.

Dans le Djebel Amour, l'affleurement le plus important est présent dans le Kef El Mallah au nord de Tadjrouna, et au sud d'Aflou, des affleurements moins conséquents sont à signaler à Chouabir et au Djebel Zlagh.

B. Le jurassique

Les affleurements les plus anciens (en position normale) de l'Atlas saharien central sont d'âge Jurassique supérieur et sont en général situés au cœur des anticlinaux très allongés. La série la plus complète du Jurassique supérieur affleure dans le Djebel Mimouna, Sud Ouest d'Aflou.

B.1. Le Dogger

- **Le Bathonien-Callovien** : composé d'argiles silteuses grises à vertes avec des intercalations de bancs de calcaires (à El-Aouidja-Djebel Mimouna), de bancs schisteux et marno-calcaires avec quelques dalles calcaires (à El-Bayadh), une alternance d'argiles, de grès fins et de calcaires (à Kerkada), ou des argiles silteuses à stratifications de grès quartzitiques (plus loin à Laghouat, Djebel Azreg).
- **Le Callovo-Oxfordien** : représenté par la formation dite *Zone de Passage* (à El Bayadh) constituée de combes argilo-silteuses où s'intercalent des bancs gréseux décimétriques; elle est délimitée à la base et au sommet par des barres gréseuses massives, ou la formation des Grès et Dolomies de Kerakda (Grès Inférieurs) correspond à une formation de grès massifs à intercalations argileuses.
- **L'Oxfordien** : c'est une alternance de grès et de dolomie avec des passées argileuses, et vers les sommets affleurent des marnes qui évoluent vers des calcaires.

B.2. Le Malm

- **Le Kimméridgien : Le Kimméridgien inférieur** : affleure en particulier le long de l'axe anticlinal de Mimouna jusqu'au Djebel Azreg de Laghouat. Cette formation se divise en deux ensembles lithologiques (i) Formation marno calcaire basale, ce sont des calcaires à polypiers (ii) la formation intermédiaire, constitue une zone de transition entre un ensemble carbonaté à la base et un

ensemble gréseux au sommet, elle est constituée par une alternance de marnes, de grés et des bancs de calcaires. **Le Kimméridgien supérieur** : il comporte deux ensembles lithologiques, (i) les grés massifs et (ii) un ensemble argilo-gréseux

- **Le Portlandien** : cette série comporte essentiellement deux ensembles : l'un marneux calcaire très épais à la base et l'autre gréseux au sommet. Le portlandien détermine les plaines qui séparent les grands reliefs. On distingue, **Portlandien inférieur** : constitué de bas en haut par, des marnes et calcaires lumachelliques (disposés en bancs massifs décamétriques), des marnes à gypses (affleure à l'ouest au niveau du synclinal d'El-Byadh, plus au sud au Djebel Slim, au centre au niveau de Djebel Zlagh, Djebel Seklfa, et à l'est au niveau de Djebel Azreg) et des calcaires massifs (affleure vers l'ouest, Djebel Rhiar, plus au nord, au Djebel Biod, au centre, Djebel Zlagh et Djebel Seklfa).et **Portlandien inférieur** constitué par deux ensembles bien distincts, marnes et calcaires en plaquettes et Grés rouges à chenaux.
- **Le Berriasien-Néocomien** : comporte deux formations (i) les marnes vertes à gypses (les formes les plus épaisses apparaissent au niveau du secteur central, à Sebgag, El-Ghicha et El-Mezara) et (ii) la corniche calcaire, se sont des calcaires oolithiques, qui se termine vers le toit, par une assise calcaire oolithique formant une corniche nettement visible dans la topographie.

C. Le Crétacé

C.1. Le Barrémien

Il marque une importante phase régressive dans le cycle sédimentaire, il se manifeste avec des faciès continentaux dans tout l'Atlas Saharien, ce sont des « grés à dragées » de quartz de couleur ocre rouge intercalés de minces niveaux argileux ou calcaires dolomitiques vers le sommet. Affleure au niveau du synclinal d'El-Bayadh, Hadj Mechri, à Sebgag, à Aflou, à Oued Morra et à Laghouat.

C.2. L'Aptien

Reconnaisable en raison de la présence d'une corniche principalement constitué de calcaires en bans massifs. Bien visible dans le paysage en longeant la route Aflou-Laghouat,

ce sont des calcaires jaunâtres, parfois en plaquettes intercalées avec des marnes vertes gypseuses.

C.3. L'Albien

L'albien inférieur se présente avec un faciès continental, composé de grès qui renferment souvent des dragées de quartz, bien visible d'une couleur rouge brique au niveau du Djebel Milok à Laghouat. L'albien supérieur, comprend toutes les formations marines, la limite inférieure est marquée par la disparition des grès à dragées et l'apparition d'un faciès carbonaté. C'est une formation supérieure essentiellement marneuse où s'intercalent des bancs calcaires fins.

C.4. Le Cénomanién

Repose dans l'atlas saharién central, sur l'Albien continental, représenté par une alternance de calcaires dolomitiques et de marnes vertes parfois gypseuses avec des interstratifications gréseuses au sommet.

C.5. le Turonien

Un ensemble de faciès métriques essentiellement calcéro-dolomitiques ayant pour origine la mer turonienne qui a recouvert sans discontinuité l'ensemble de l'Atlas Saharién, du fait de sa constitution lithologique et de sa position structurale, le Turonien constituera un élément remarquable de la morphologie dans l'Atlas saharién. Il forme, en effet, la corniche terminale des grands synclinaux perchés qui surplombent en falaise les formations tendres du Cénomanién.

C.6. Le Sénonien

Couvre de faibles surfaces, il affleure surtout à l'Est dans la cuvette du synclinal Dakhla, la cuvette du Milok, et dans la chaîne qui va de Laghouat à Massaad. composé de trois ensembles : un ensemble inférieur qui comprend des calcaires crayeux à silex; un ensemble médian constitué de marnes gypseuses et un ensemble supérieur qui débute par une succession de bancs calcaires bioclastiques puis comprend des niveaux calcaires bréchiqes.

D. Le Tertiaire

Les formations récentes sont le plus souvent conservées dans les cuvettes synclinales alors qu'elles ont été enlevées par l'érosion au niveau des anticlinaux. Le tertiaire est essentiellement continental.

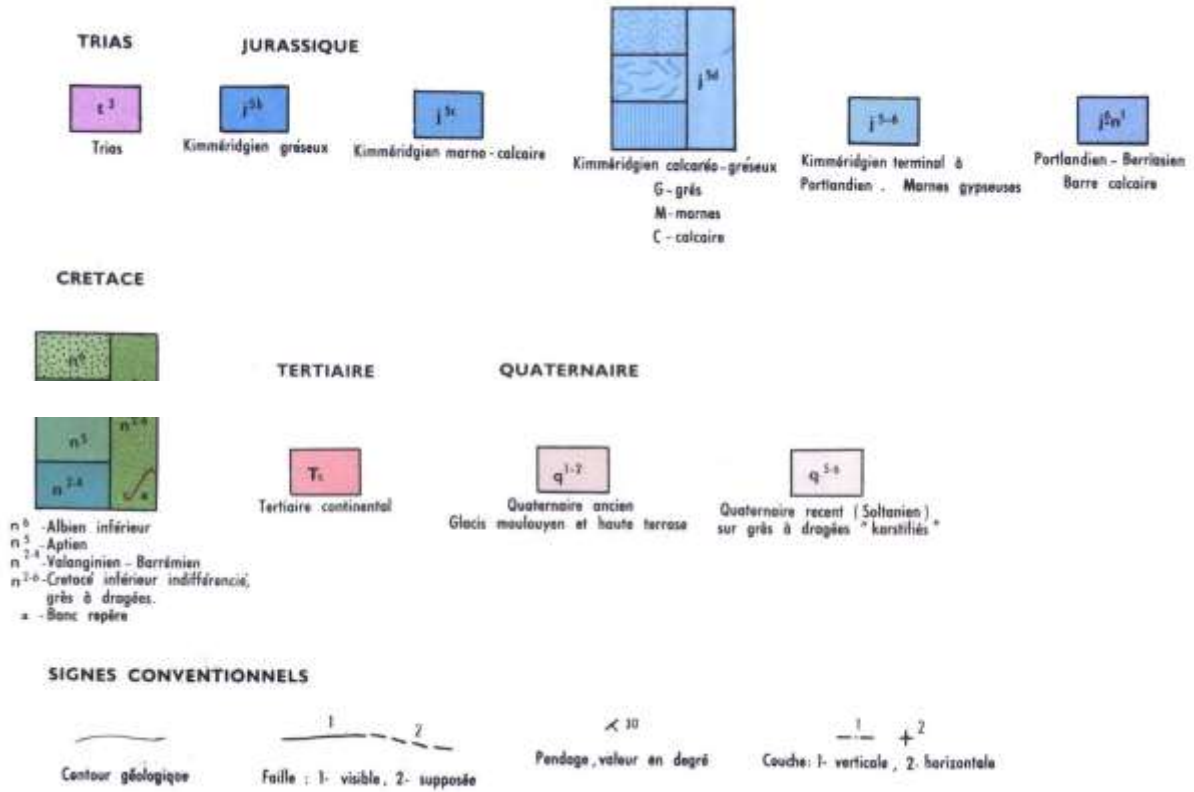
D.1.Le paléogène est formé par des dépotes rouges continentaux représentées par des marnes gypsifères, des grès argileux et des calcaires lacustres.

D.2.Le Miocène est constitué de Poudings, de sables et d'argiles.

D.3.Le Plio-Pléistocène, en discordance sur tous les terrains antérieurs la série est interrompue et ravinée par les cours d'eau actuels, cette formation est masquée le plus souvent par les atterrissements sableux d'âge quaternaire.

E. Le Quaternaire

Il résulte de l'accumulation dans des zones topographiquement basses du matériel sédimentaire arraché à la chaîne par les actions érosives. Les alluvions ainsi formées sont constituées par des sédiments généralement fins. Ce sont des limons de couleurs ocre souvent très chargées en matériel gréseux. Suivant leur limite d'accumulation, les alluvions ont des épaisseurs variables sans oublier que le réseau hydrographique actuel les entaille profondément. Au niveau d'Aflou le Quaternaire est visible dans les dépressions à proximité des thalwegs, les alluvions actuels que l'on rencontre dans les fonds d'oueds comportent des apports grossiers associés à une matrice de sable.



★ Zone d'étude El Ghicha

Figure -12- Extrait de la carte géologique de la région d'étude (Djebel Amour, près d'Aflou) (d'après la carte géologique au 1/200.000 de Laghouat, feuille J-K 9-10).

I.2.2. Géologie et géomorphologie locale

Cette partie est élaborée à partir des travaux de Despois (1957) et Stambouli (2004) et se penche plus spécialement sur la région d'El-Ghicha et ses alentours (figure-13-) qui comporte, tel que nous l'avons cité plus haut, quatre zones (hautes plaines, les parties hautes de la montagne, la partie méridionale et le piémont Saharien) qui se succèdent en allant du nord vers le sud.

Au niveau des Hautes plaines steppiques, le relief est essentiellement constitué par de larges plaines et de molles collines que 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.

Des glacis, grands plans aux formes rigides, inclinés vers les dépressions, ceignent les montagnes et collines et taillent en biseau aussi bien les strates des grès crétacés que les couches épaisses argilo-sableuses rouges du Tertiaire continental. Les glacis sont généralement endurcis 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'infiltrant les eaux de ruissellement, sont particulièrement nombreuses dans la moitié nord du Djebel.

Ensuite 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.

Le premier, qui couvre les deux tiers nord-ouest, est le plus élevé et le plus varié. C'est le 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 cénomaniens qui dressent vers le Nord leur pente la plus forte, souvent coiffée d'une corniche tels que le djebel Oum el Guedoum et djebel Sidi Okba (1707 m), et au nord-est l'anticlinal du djebel Djaïffa, défoncé par un oued Melah, et jusqu'au Kef Sidi Bou Zid (1503 m.).

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 de 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

Au niveau de cette zone se succèdent du sud-ouest au nord-est les collines et petites dépressions, la conque où se forme l'oued Sebgag, la plaine dite El Haoud, 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 Taouyala.

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 Ghicha-Fareg, la Gaada centrale ou d'El Groun que rayent les vallons affluents de l'oued Ouaren, et la Gaada de Madena au-delà des gorges transversales de l'oued Ouaren. Mais il s'agit d'une même unité structurale et morphologique.

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 Seklefa (1277m), la seconde le djebel Merrakeb (1519m). Cette chaîne anticlinale qui borde le Sahara est creusée transversalement, en cluses comme celles du Seklefa, par les oueds Ouaren et Morra qui se réunissent pour former le M'Zi et le Foum Redad qui est plus homogène et forme un anticlinal coffré. L'oued Redad (le vomisseur) et l'oued Melah traversent cet anticlinal.

Au sud-ouest l'ensemble déprimé avec les crêtes, de direction nord-est - sud-ouest, qui s'allongent en vue d'El Ghicha 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 des kef El Teir et El Zeg qui est resté en relief entre les deux dépressions anticlinales de Taouyala et de Kebala. L'oued Kebala les traverse il est l'une des branches de l'oued Melah qui draine une immense cuvette d'érosion colmatée d'alluvions tertiaires: poudingues, sables, argiles et surtout complexe argilo-sableux.

Le large développement des vallées, des vallons et des bassins place la plus grande partie de la montagne méridionale au-dessous de 1250 mètres.

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 Melah et entre Aïn

Mahdi 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 remplir d'eau douce.

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 Haouita et les collines de la région de Tadjemout montrent que le nivellement du piémont est resté incomplet.



Figure -13- Image satellitaire des principales structures de la région d'étude (date de l'image 10/10/2013).

I.3. Hydrogéologie

Dans cette région 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 valeur quantitative de pluies. 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. La carte de la figure -14- donne un aperçu des pentes observables et le réseau hydrographique qui traverse la région. La zone de l'Atlas Saharien est caractérisée par des pentes de **12,5 à 25 %** et La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux Sahariens caractérisée par des pentes de **0 à 3 %**.

Les ressources en eau du secteur seront plus spécialement 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. Il donne naissance à de longs oueds pérennes sur une grande partie de leur cours, les principaux oueds sont les suivants (Stambouli, 2004):

- **L'Oued Sebgag** : a 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 Djbel Amour. Plusieurs émergences contribuent à son alimentation, en particulier les sources de l'Hadj Mecheri 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.

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.

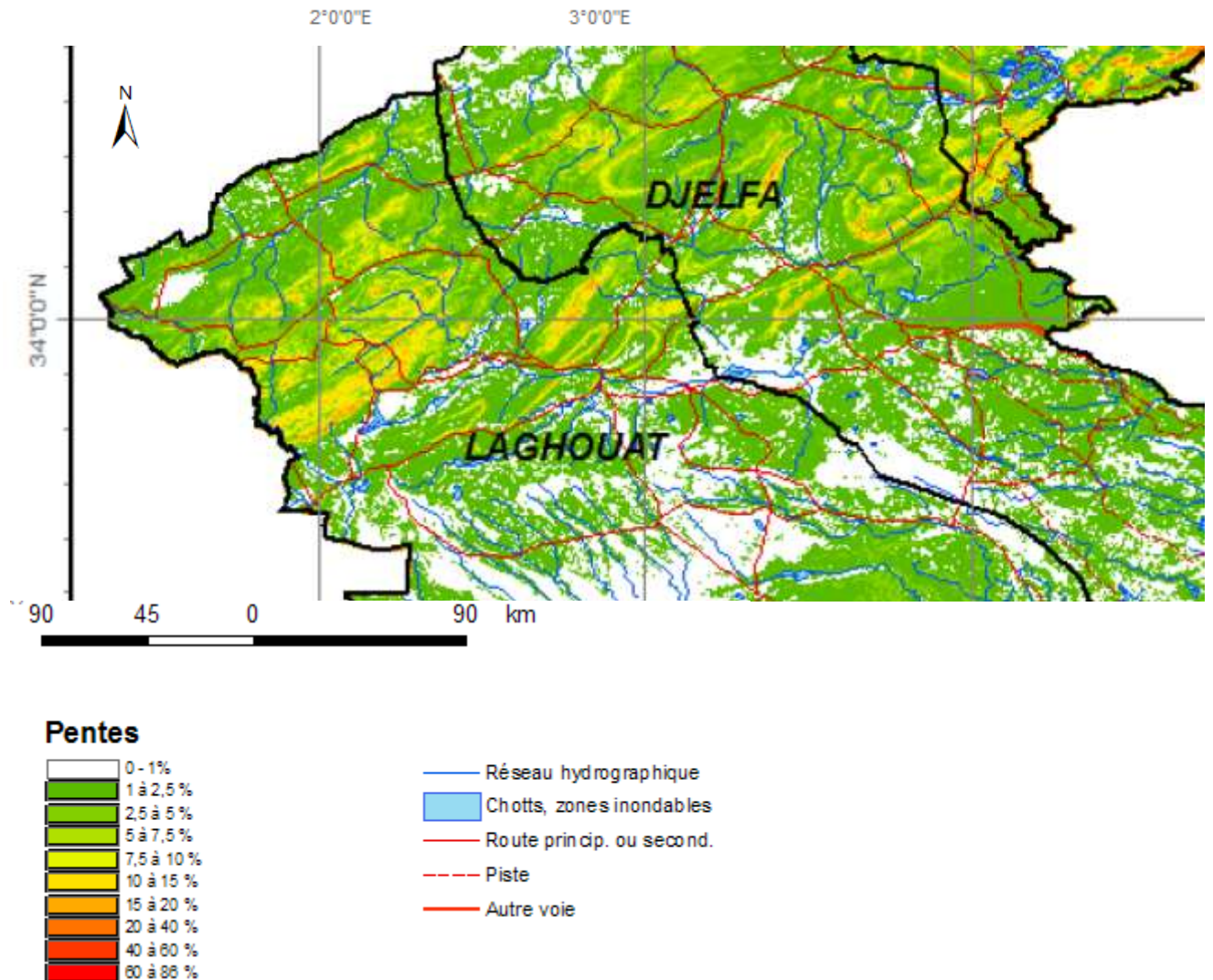


Figure – 14- Carte : Pentés et réseaux hydrographiques de la région (source : SRAT, 2006)

I.4. Pédologie

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 Melah-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 (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 Melah. 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.

I.5. Caractéristiques climatiques

5.1. Le Climat

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

- La situation géographique : disant 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 saharienne 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 200mm, le maximum pourrait atteindre 400mm sur les sommets les plus élevés. La figure -15- porte les altitudes caractérisant la région.
- 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.

Quant aux régions hautes assez variées par leur relief, elles présentent des caractères bioclimatiques communs. Situées à peu près partout au-dessus de 1300m et souvent de 1400m, 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 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 400 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.

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. Selon Despois (1957), 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.

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.

Enfin, 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.

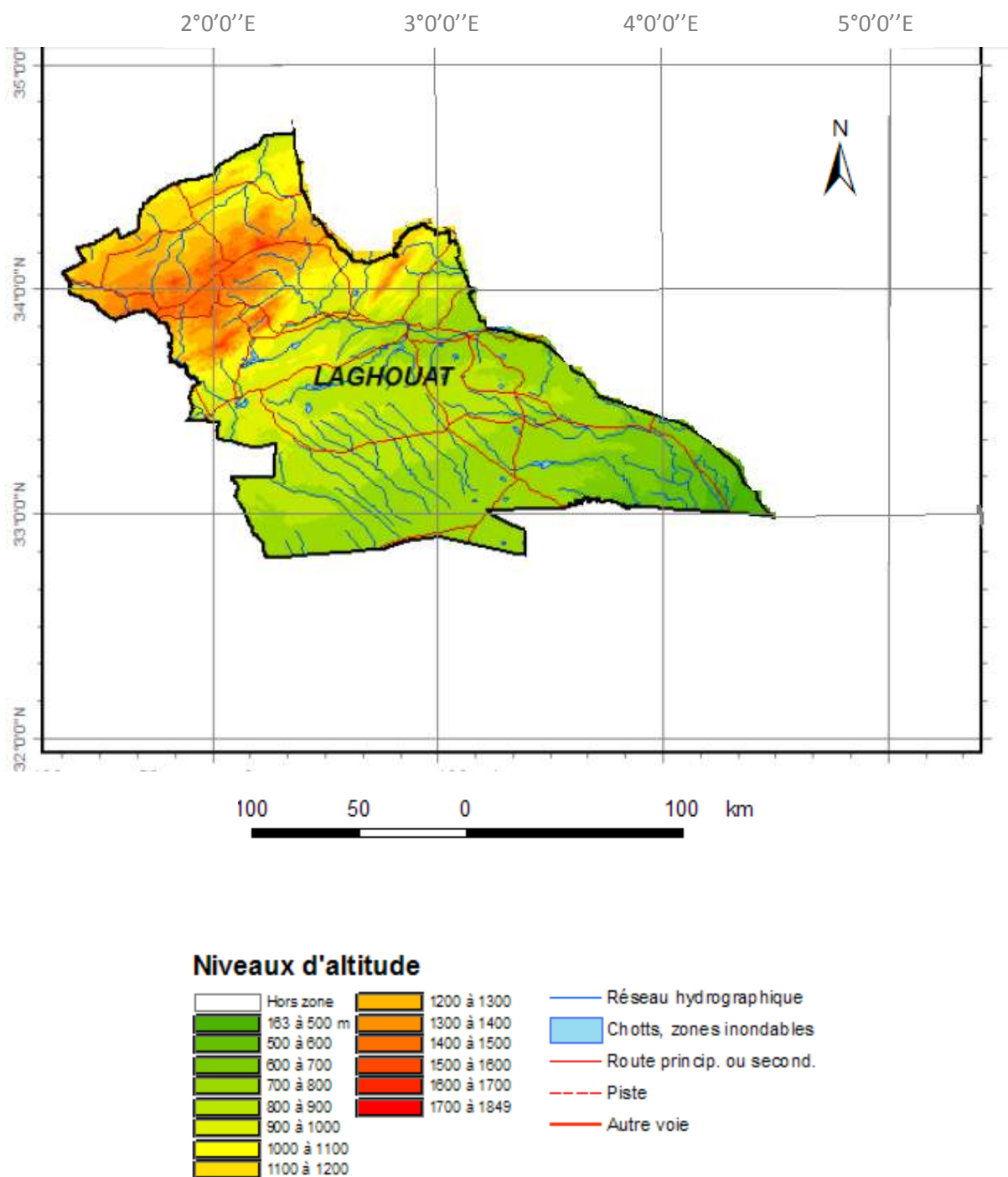


Figure -15 - Carte : Topographie de la région, la zone étudiée se situe entre 1000 et 1400m d'Altitude (Source : SRAT, 2006)

5.2. Source de données

Pour la réalisation de notre étude et la caractérisation climatique de la région étudiée, nous nous sommes référés aux observations, notamment les précipitations et les températures, de la station météorologique d'Aflou qui est la plus proche et située à 1425m d'altitude et la station de Laghouat à 770 m d'Altitude mais à 60 km à l'Est du piémont du Djebel Amour qui est à 1000 m d'altitude en moyenne.

Dans le contexte de changements globaux, liés principalement aux changements climatiques, il serait important d'aborder les caractéristiques climatiques de notre région d'étude, en procédant par une étude comparative entre la période ancienne et la période actuelle. Pour cela, nous avons considéré les données fournies par l'O.N.M pour la période actuelle (de l'année 1993 à l'année 2012 pour Laghouat et de 2001 à 2013 pour Aflou), et les données rapportées par Seltzer (1946), qui s'étalent sur une période de 25ans pour la période ancienne (de 1913 à 1938).

5.3. Les précipitations

Selon Kadik (2005), les précipitations varient selon trois paramètres :

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

Le même auteur signale qu'en Algérie, la hauteur pluviométrique est déterminée aussi par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides du Nord et du Nord-Ouest.

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). La figure -16- donne un aperçu général sur les précipitations de la région de l'année 1980 à l'année 2005.

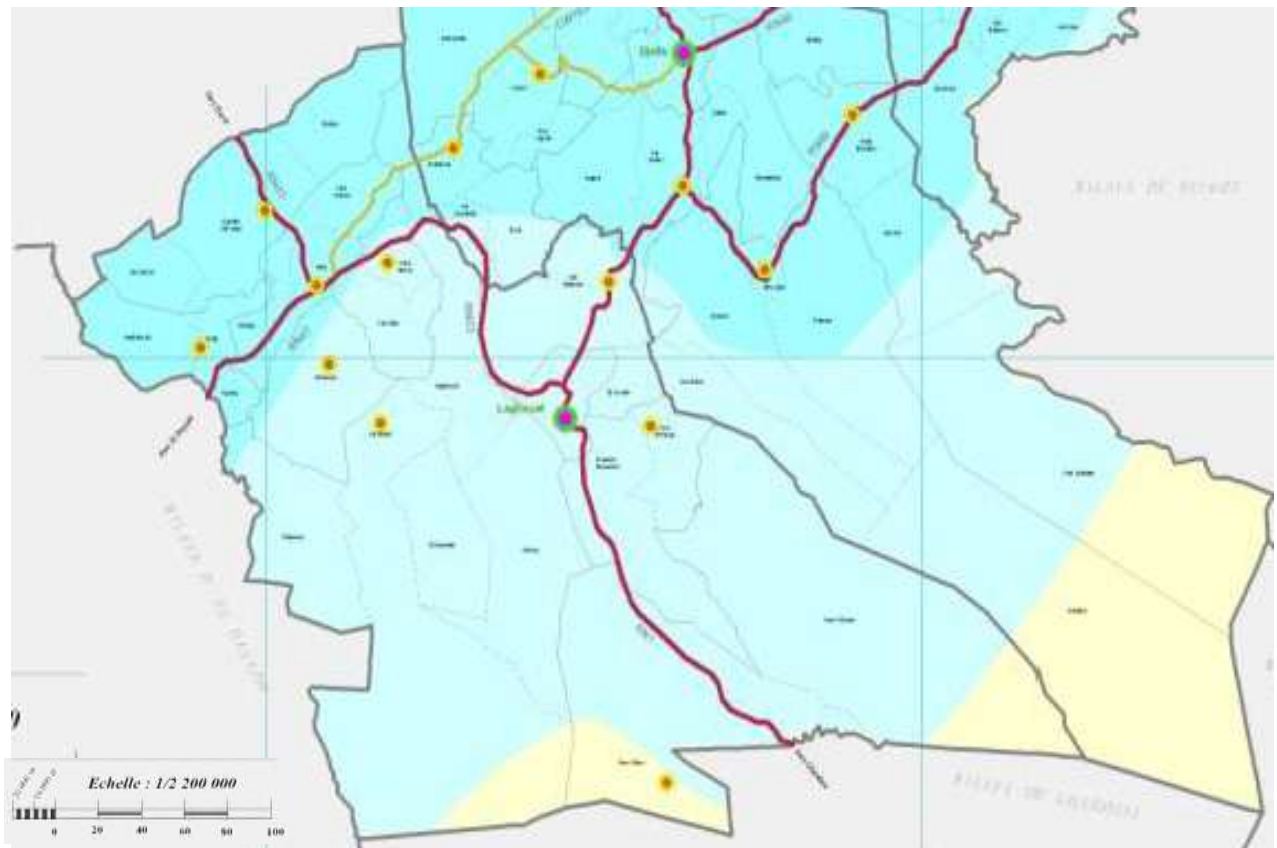


Figure – 16 – Carte : pluviométrie de la région de Laghouat, Moyenne des précipitations (entre 1980 et 2005). La région étudiée-EL GHICHA- est caractérisée par des valeurs de 200 à 300 mm par an dans la partie Nord Ouest et de 100 à 200 mm par an dans la partie Sud-Est (Source : SRAT, 2006)

La forme de précipitation la plus importante est la pluviosité qui reste la variable la plus déterminante pour les formations végétales. Il est nécessaire également de connaître d'autres paramètres tels que le nombre de jours de pluie ainsi que le régime saisonnier, pour pouvoir comprendre le développement de ces végétaux.

La pluviosité du point de vue quantitatif, est exprimée en général par la pluviosité moyenne mensuelle et annuelle. Elle peut être utilisée comme un élément caractéristique du climat (Le Houérou, 1969 ; Celles, 1975).

5.3.1. Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles

Les pluviosités moyennes mensuelles et annuelles des stations de Laghouat et d'Aflou sont portées sur le tableau et représentées sur les figures -17- et -18-.

Tableau-1- précipitations moyennes mensuelles et annuelles des stations de Laghouat et Aflou.

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Pluviosité annuelle
Laghouat	1913-1938	12	12	16	12	19	12	5	7	23	17	18	14	167
	1993-2012	14,9	11,7	14,4	17,4	11,3	9,8	3,5	10,1	17,9	18,2	13,5	17,7	160,4
Aflou	1913-1938	31	33	38	32	28	28	9	11	24	45	30	33	342
	2001-2013	29,84	27,95	23,41	33,72	22,28	10,48	12,81	8,8	30,79	24,68	31,67	23,12	279,55

Il ressort de l'analyse du tableau que la quantité de précipitations que reçoit la région d'Aflou a diminué d'environ 62 mm par rapport l'ancienne période, elle était de 342mm en début du siècle dernier alors que pour les treize dernières années elle est de 279,5 mm. Une légère diminution de l'ordre de 7 mm est à noter pour la région de Laghouat.

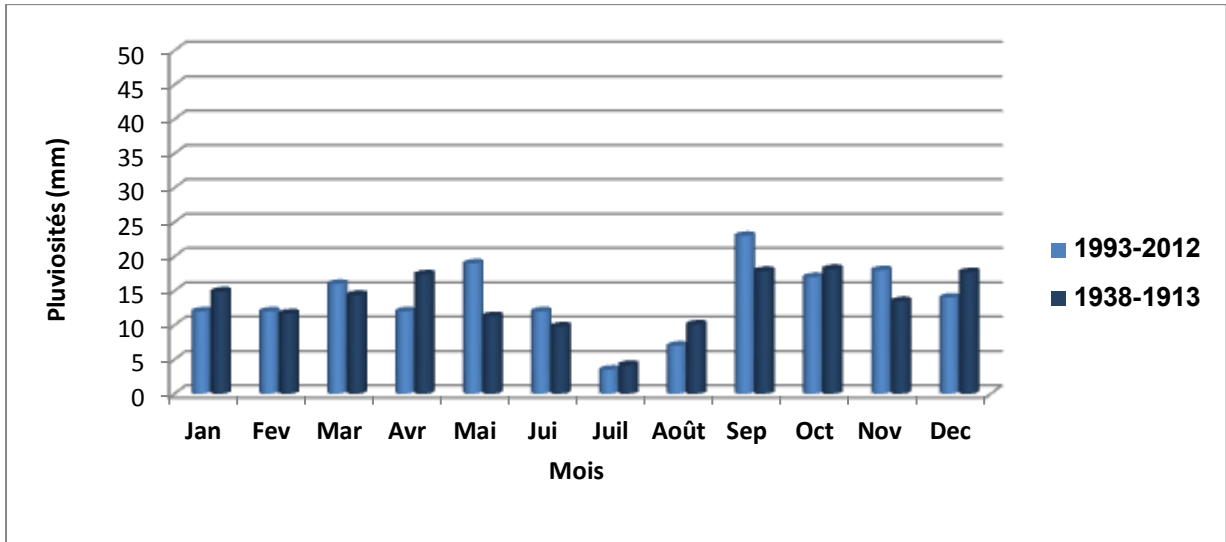


Figure-17 - Précipitations moyennes mensuelles de la station de Laghouat.

Concernant les moyennes mensuelles, en plus du tableau -1 -, l'observation de la figure -17- révèle que, pour Laghouat le mois le plus pluvieux est le mois d'octobre avec 18.2 mm pour la période de (1993-2012) tandis que le mois de septembre est le plus pluvieux pour la période de (1913-1938) avec 23 mm. Le mois le plus sec pour les deux périodes est juillet avec seulement 5 mm et 3,5 mm pour l'ancienne et l'actuelle période, respectivement.

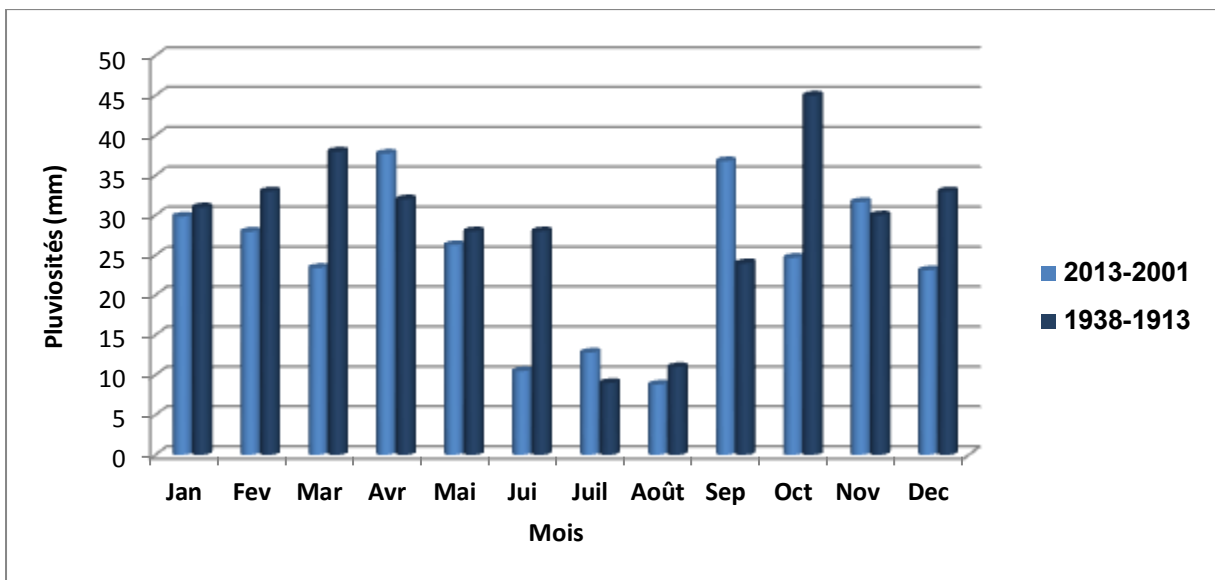


Figure -18- Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Aflou.

Pour Aflou (figure-18-), le mois le plus pluvieux est le mois d'octobre avec 45 mm pour la période de (1913-1938) et le mois d'avril pour la période de (2001-2013) avec 33,72 mm. Le mois le plus sec pour l'ancienne période est le mois de juillet alors que c'est le mois d'aout pour l'actuelle.

5.3.2. Régime saisonnier

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. Le régime pluviométrique saisonnier est représenté dans le tableau 1 et le figure 3.

Le régime saisonnier est défini comme étant le calcul des quantités de pluie de chaque saison, Nous avons considéré quatre saisons de trois mois chacune :

- Printemps : mars, avril et mai = P.
- Automne : septembre, octobre et novembre = A.
- Hiver : décembre, janvier et février = H.
- Eté : juin, juillet et août = E.

Il sert à caractériser chaque période par son type saisonnier et cela en ordonnant les quantités de pluies par ordre décroissant. Le tableau -2- porte les régimes saisonniers des deux stations considérées.

Tableau -2- Régime saisonnier pour Laghouat et Aflou

Stations	Périodes	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Types
		Cumuls (mm)				
Laghouat	1913-1938	44,2	43,1	23,4	53,9	A.H.P.E
	1993-2012	16.60	33.10	19.63	54.07	A.P.E.H
Aflou	1913-1938	97	98	48	99	A.P.H.E
	2001-2013	80,91	79,41	32,09	87,14	A.H.P.E

Nous constatons que pour la même période le régime saisonnier varie pour les deux stations, ainsi que dans une même station entre les deux périodes.

Pour Laghouat (Figure-19-) l'ancienne période se caractérisait par un régime de type Automne, Hiver, Printemps, Été alors qu'actuellement il est de type Automne, Printemps, Eté, Hiver. Pour la station d'Aflou, un régime : Automne, Printemps, Hiver, Été pour l'ancienne, tandis que Automne, Hiver, Printemps, Été pour la période actuelle.

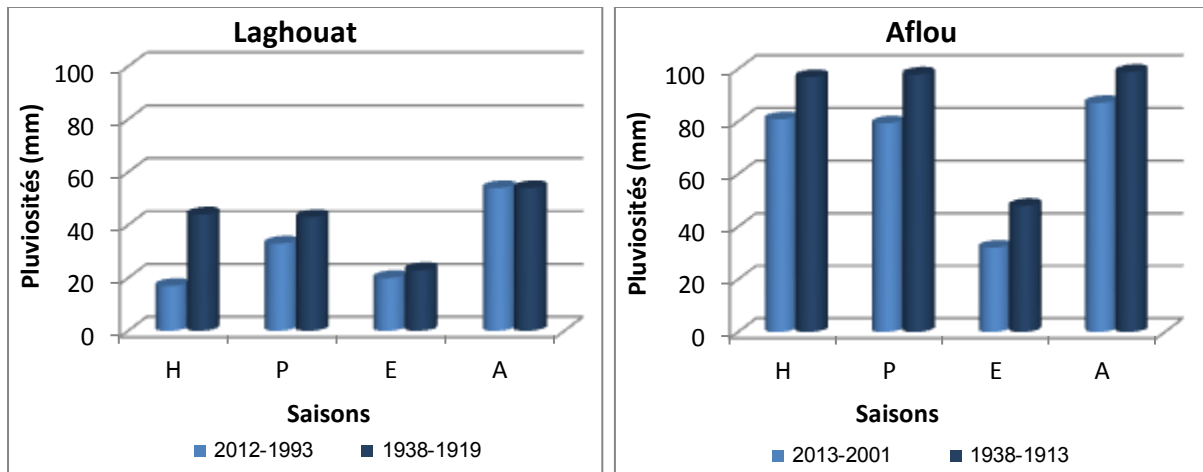


Figure -19- Représentation graphique du régime saisonnier

5.4. Les 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 d'autre part 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 (Djellouli et Djebailli, 1984).

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 $T = (M+m)/2$.

Les températures diminuent en altitude ; l'écart thermique (M-m) augmente avec l'éloignement de la mer (Kadik, 2005).

Les valeurs de m, M et T sont portées sur le tableau -3- pour les stations de Laghouat et Aflou, pour les deux périodes considérées.

Tableau-3- Les températures moyennes mensuelles pour la station de Laghouat et la station d'Aflou

Station	Période	Températures	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Laghouat	1913-1938	m	2,3	3,6	6,5	9,4	13,2	18,1	21,2	20,4	16,8	11,6	5,9	3,1
		M	12,5	15,1	18,4	22,8	26,2	31,8	36	35,2	30	24	16,9	13
		T	7,4	9,35	12,4	16,1	19,7	24,9	28,6	27,8	23,4	17,8	11,4	8,05
	1993-2012	m	2,15	3,29	6,59	9,68	14,75	20,03	23,33	22,85	17,96	13,39	6,33	3,05
		M	14,6	16,2	20,4	23,9	29,2	35,5	38,7	38,3	31,4	26,1	19,1	15,3
		T	8,38	9,745	13,5	16,79	21,98	27,77	31	30,58	24,68	19,75	12,72	9,175
Aflou	1913-1938	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
		T	4,3	3,5	8,3	10,8	15	20,4	24,1	23,9	19,1	13,9	8,35	8,4
	2001-2013	m	-4,8	-3,38	-0,92	1,83	5,58	10,86	14,76	13,87	9,92	5,72	-0,35	-2,82
		M	9,38	10,07	14,5	18,35	23,18	29,55	33,9	32,72	27,58	21,15	13,65	9,46
		T	2,32	3,34	6,79	10,09	14,38	20,2	24,3	23,3	18,75	13,44	6,65	3,32

Pour Laghouat (figure -20-), la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M » est de 36°C pour la période (1913-1938) et de 38.7 °C pour la période (1993-2012) et correspondant au mois de juillet.

La moyenne des minima du mois le plus froid « m » est de 2.3 °C pour (1913-1938) et 2.15 °C pour (1993-2012) et correspondant au mois de janvier pour les deux périodes.

La température moyenne annuelle « T » est de l'ordre de 17.24°C ; 27.33°C respectivement pour les périodes (1913-1938) et (1993-2012). Le maximum des températures moyennes mensuelles est obtenu pour le mois de juillet pour les deux périodes avec 28,6 °C pour l'ancienne et 31°C pour l'actuelle. Le minimum est enregistré en janvier avec 7.4°C pour la période ancienne et 8.38°C pour la période actuelle.

Pour Aflou (Figure -21-), c'est également le mois de juillet comprend le « M » du mois le plus chaud, avec 33°C et 33.9°C pour l'ancienne et l'actuelle, respectivement. Alors que « m » du mois le plus froid correspond au mois de février (-1.3°C) pour la période (1913-1938) et au mois de janvier (-4.8°C) pour la période (2001-2013).

Les températures moyennes annuelles « T » pour cette station sont de 13.34°C (1913-1938) et 12,24°C (2001-2013).

Le maximum des températures moyennes mensuelles correspond au mois de juillet avec une valeur de 24.1°C ; 24.3°C respectivement pour les périodes (1913-1938) et (2001-2013) et le minimum en février avec 3.5°C pour la période de (1913-1938) et en Janvier avec 2.32°C pour la période (2001-2013).

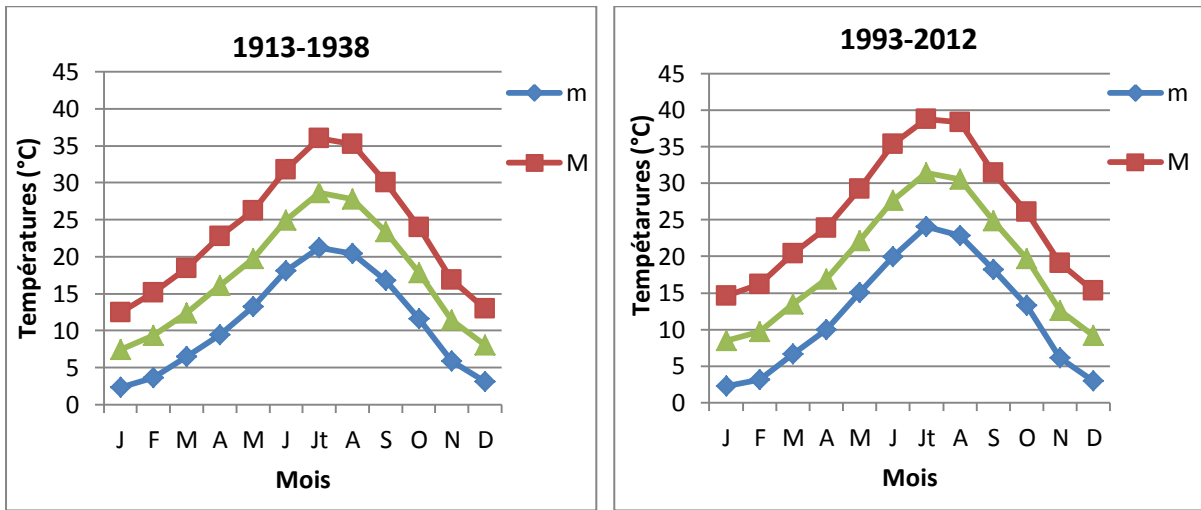


Figure -20- Températures moyennes mensuelles de la station de Laghouat.

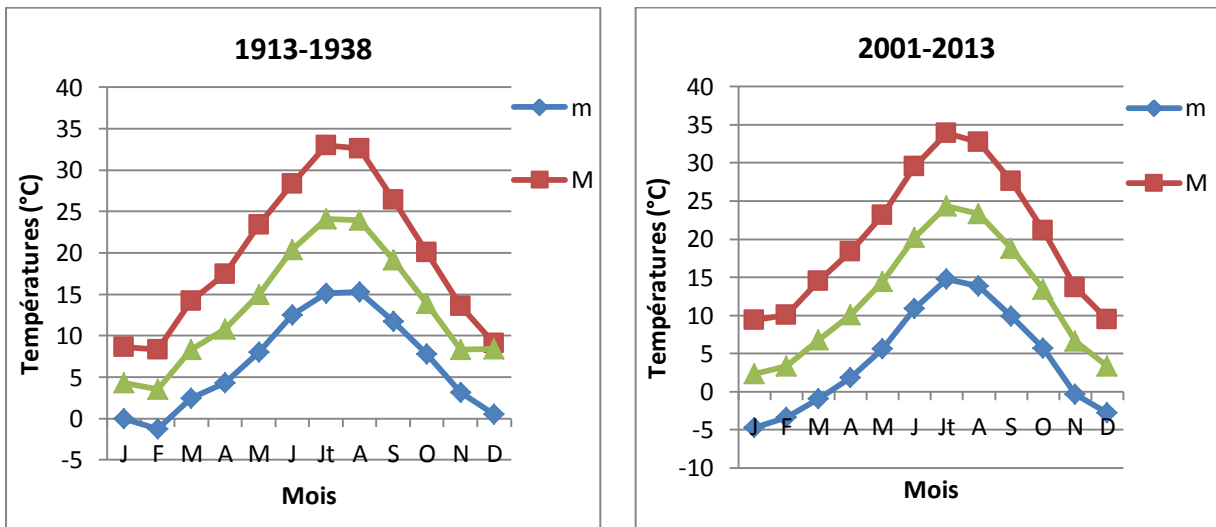


Figure -21- Températures moyennes mensuelles de la station d'Aflou.

II. Synthèse climatique

Comme les différents facteurs climatiques abordés dans le paragraphe précédent n'agissent pas indépendamment les uns des autres, il serait important d'en faire une synthèse par l'utilisation des indices climatiques, tel que le Q2, quotient d'Emberger, ou le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953).

II.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Pour Bagnouls et Gausson (1953), un mois sec est celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est égale ou inférieur au double de la température mensuelle exprimée en degré Celsius ($P \leq 2T$). Cette relation permet de représenter sur un même graphique les précipitations et les températures moyennes mensuelles. L'intersection des deux courbes, ombrique et thermique, détermine la durée de la saison sèche.

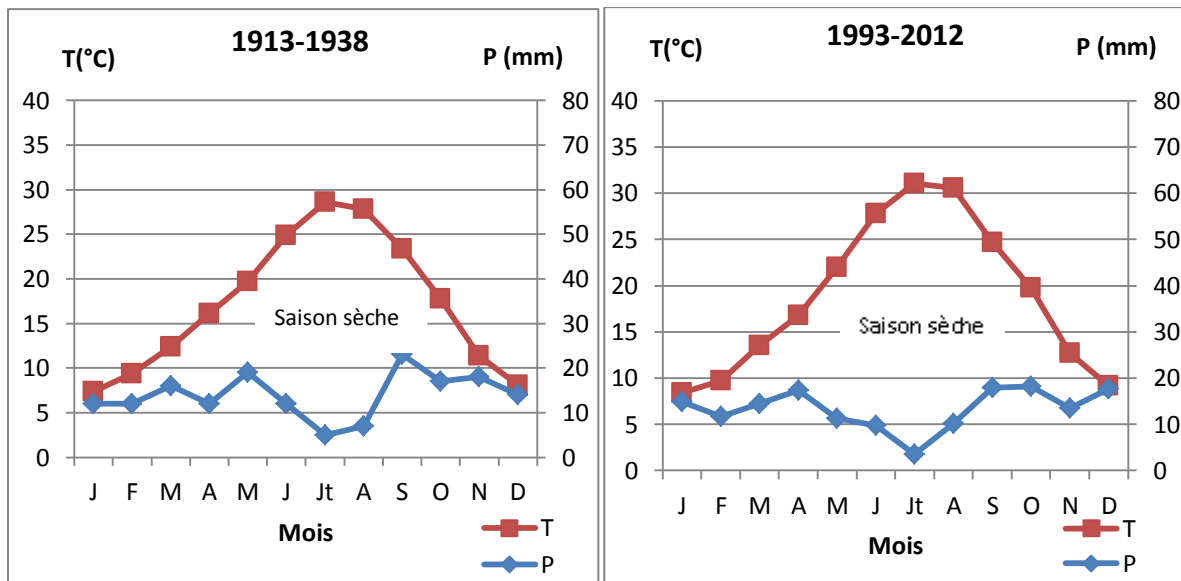


Figure-22- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la station de Laghouat.

La figure -22- permet de constater que la saison sèche au niveau de la région de Laghouat s'étale 12 mois pour les deux périodes considérées.

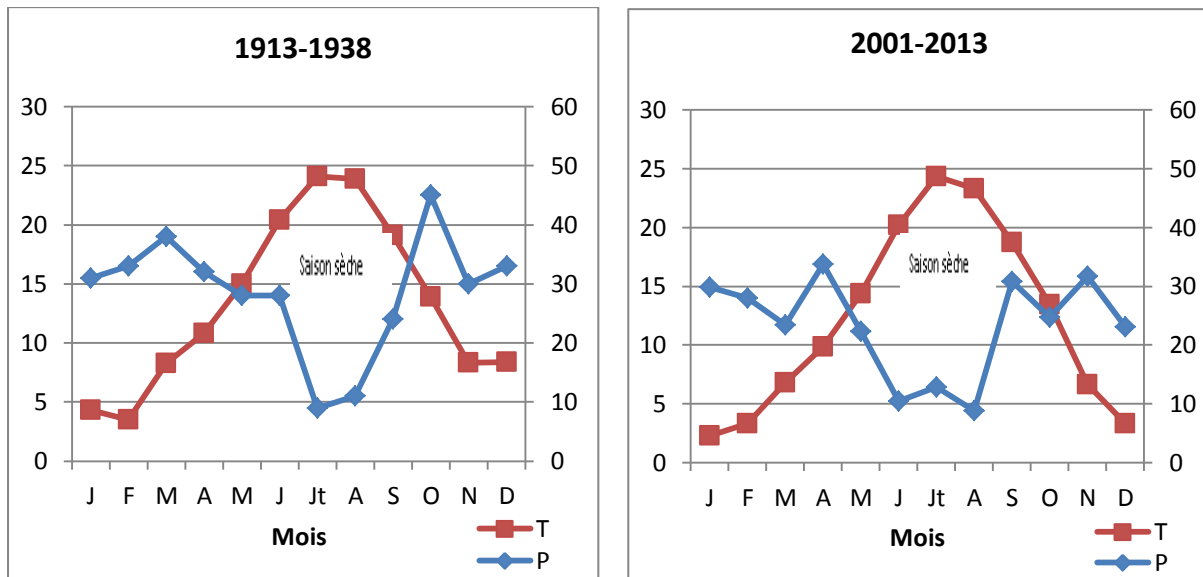


Figure -23- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la station d'Aflou.

Le diagramme ci-dessus (Figure -23-) montre une période sèche estivale typique du climat méditerranéen ; elle dure 4 mois et demi allant de la fin du mois d'avril jusqu'à mi-septembre pour la période ancienne (1913-1938), et 5 mois et demi de fin-avril à la mi-octobre pour la période actuelle. Nous pouvons alors constater une prolongation de la saison sèche dans la deuxième période d'observation, qui augmente d'un mois.

II.2. Climagramme d'Emberger

En 1955, Emberger proposait un quotient pluviométrique nous renseignant sur le caractère xérique d'un biotope et qui prend en considération les températures et la pluviosité. Ce quotient est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient a été formulé de la façon suivante :

$$Q2=2000P/M^2-m^2.$$

*Q2: Quotient pluviométrique ;

*P: Pluviosité moyenne annuelle (mm) ;

*M: Température du mois le plus chaud en (kelvin) ;

*m: Température du mois le plus froid en (kelvin).

La valeur du quotient pluviothermique varie en fonction inverse du caractère xérique d'un lieu, plus la sécheresse annuelle est grande, moins la valeur du quotient est élevée.

Les différents étages bioclimatiques des deux stations, calculés pour les deux périodes d'observation, sont représentés dans le tableau -4- et illustrés dans la figure -23-.

Tableau -4- Quotient pluviothermique et étage bioclimatique de Laghouat et Aflou

Stations	Périodes	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q ₂	Bioclimat	Variante thermique
Laghouat	1913-1938	167	308,35	275,45	17,39	Saharien	frais
	1993-2012	161	311,85	276,05	15,30	Saharien	Frais
Aflou	1913-1938	342	306,15	271,85	34,50	Semi aride	Froid
	2001-2013	279.55	307,07	277,89	32,76	Semi aride	Très froid

Nous observons une diminution des valeurs de Q₂ entre les deux périodes dans les stations, elle varie entre 15,30% pour Laghouat et 34,40% pour Aflou.

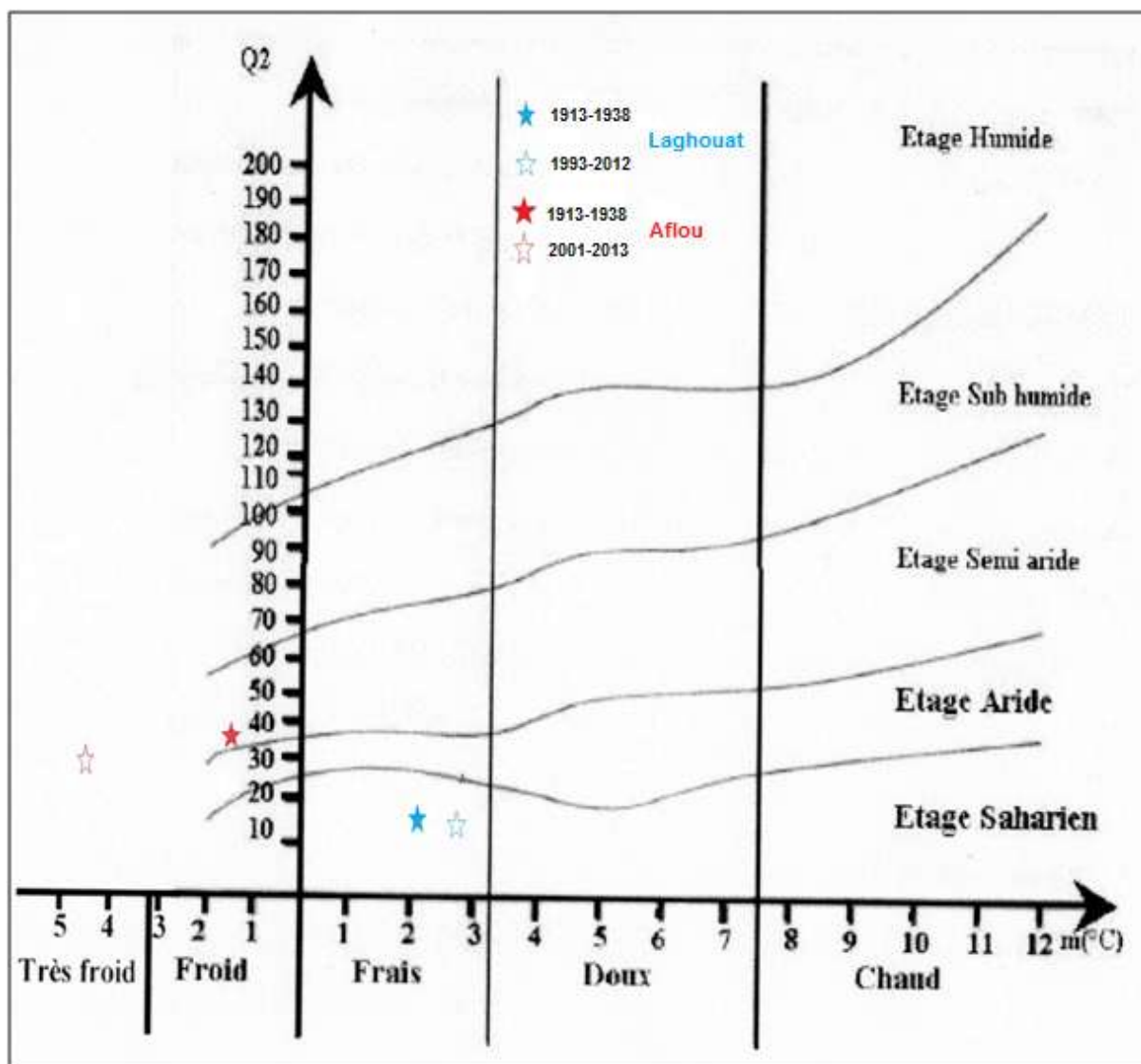


Figure -24- Situation de la région de Laghouat et Aflou sur le Climagramme d'Emberger (1955).

Sur la base des données que nous venons de présenter, il ressort que la région d'El-Ghicha est soumise à un climat semi aride avec des influences sahariennes et montagnardes.

III. Flore et végétation

Le Djebel Amour est plus boisé que les massifs qui l'encadrent (Despois, 1957), bien que ses forêts soient très claires et dégradées; mais elles comptent encore de nombreux chênes verts et des pins d'Alep.

Les formations végétales caractérisant la région d'El-Ghicha reflètent une écologie particulière (figure-25-). La région nord située à la partie méridionale de Djebel Amour est caractérisée par des formations forestières à pin d'Alep et chêne vert et des formations à genévrier rouge, pistachier de l'Atlas et alfa. La partie sud d'El- Ghicha à la limite du piémont saharien est caractérisée essentiellement par des formations à alfa qui occupent de vastes étendues. De nombreux oueds à pistachier de l'Atlas, jujubier, tamaris et *Retama raetam* caractérisent la région. Enfin, des dayas parsemées en surface sont révélées par les pieds de pistachier de l'Atlas et les buissons de jujubiers.

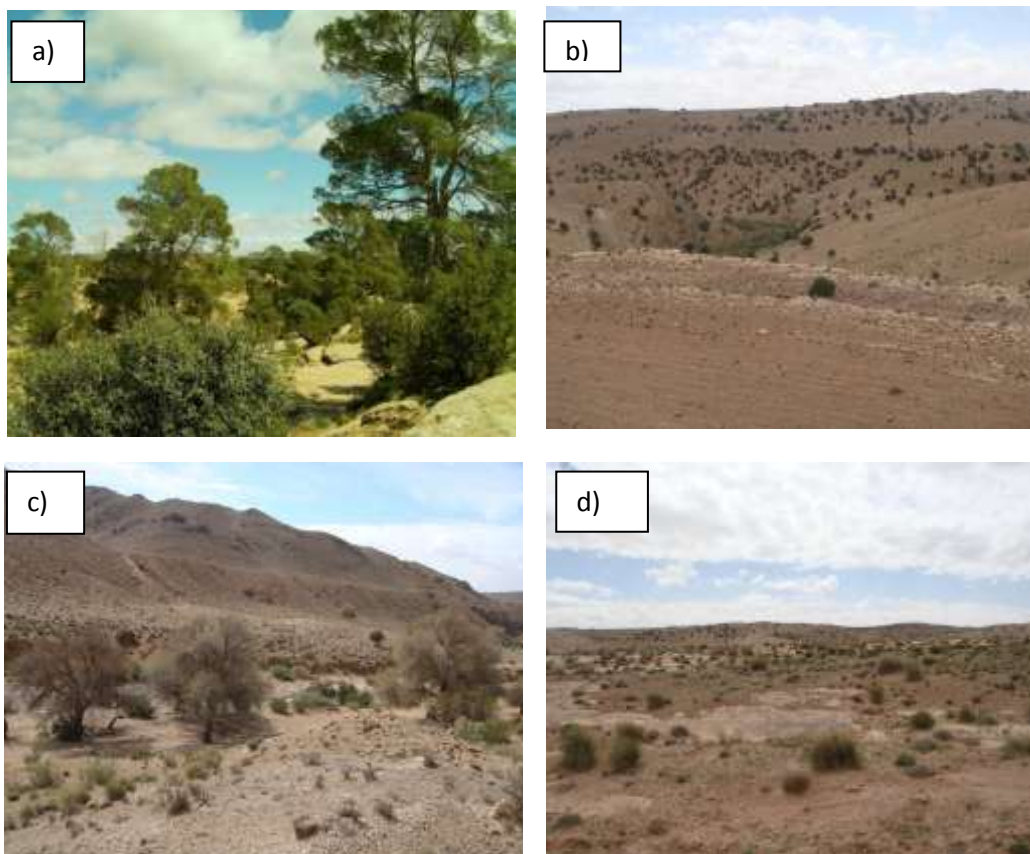


Figure -25- Aperçu des principales formations végétales présentes dans la région d'El Ghicha (a : Formation à Pin d'Alep et Chêne vert, b : Formation à Genévrier rouge, c : Oued à pistachier de l'Atlas, d : formation à alfa).

Toutefois, très peu de travaux de recherche ont été consacrés à l'étude de ces formations et leur répartition malgré l'intérêt fondamental qu'elles présentent du fait de leur diversité floristique et leur adaptation à des conditions de milieu particulières.

Kadik (1983) et Barbéro (1990) décrivent les forêts d'Aflou comme fortement soumises aux délits et plus ou moins dégradées, à cause du climat et de l'homme

Il faut aussi signaler les formations de reboisements de Pin d'Alep qui occupent de vastes étendues dans la région avec des taux de réussite différents et des étagements très hétérogènes (Kouidri, 2013).

Selon la monographie de Laghouat (2011) la superficie des vieux massifs forestiers de la zone Djebel Amour est estimée à 47.095 ha, celle des nappes alfatières est de 315.125 ha, les pacages et parcours sont d'une superficie de 1.531.766 ha. La superficie de la zone constituée de vastes étendues steppiques est d'une superficie de 1.900.000 ha dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées. La figure suivante donne un aperçu sur l'occupation des sols de la région.

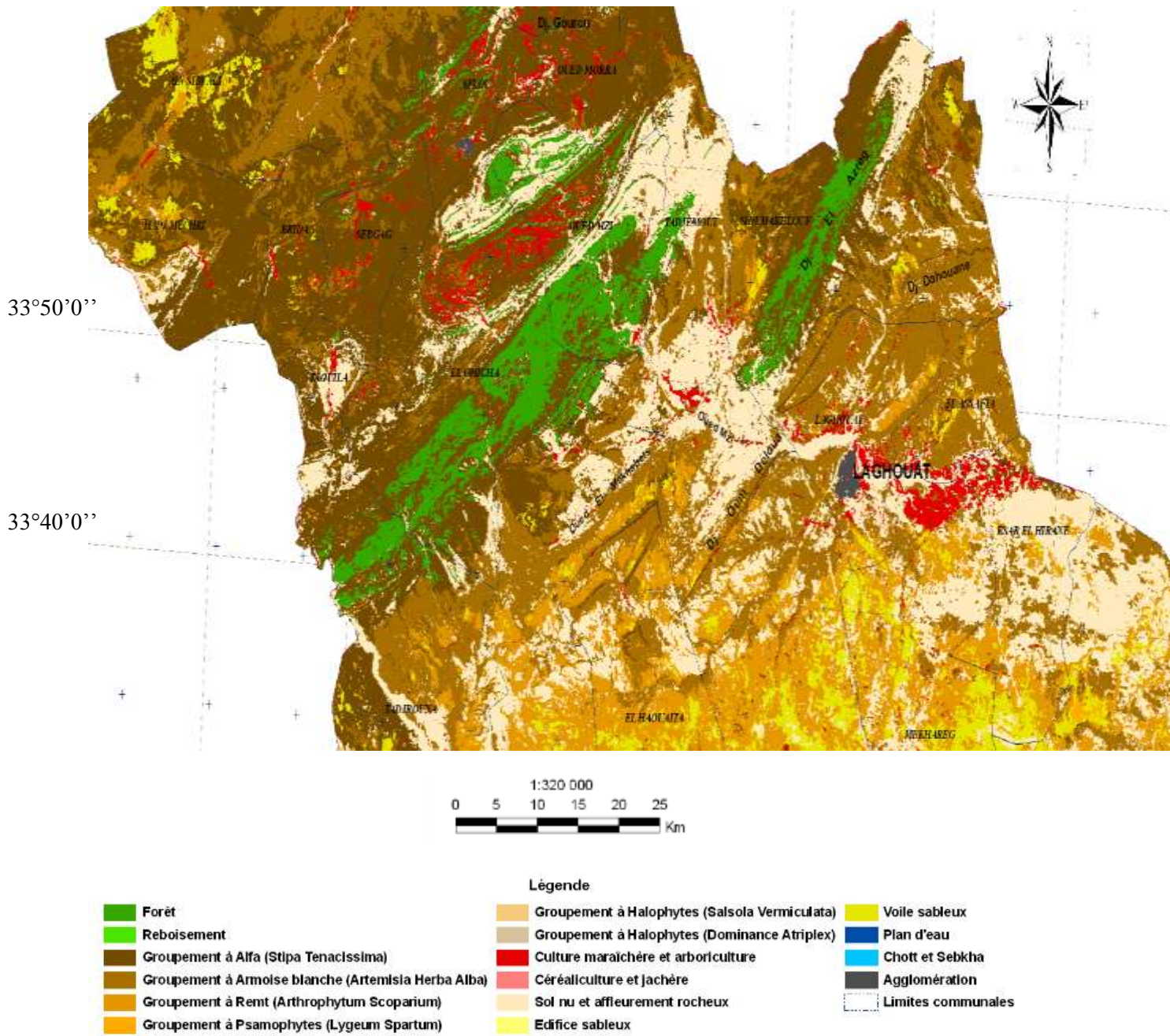


Figure -26 - Extrait de la carte d'occupation des sols de la wilaya de Laghouat (Service des forêts, 2010).

Chapitre –II- méthodologie

I. Echantillonnage

Le choix du type d'échantillonnage et l'emplacement des relevés a été effectué selon deux objectifs : (i) l'étude phytoécologique pour mettre en évidence la différenciation des communautés végétales d'El Ghicha, leur répartition selon les facteurs écologiques et l'identification des groupements végétaux présents (ii) analyser les mécanismes de structuration des communautés le long d'un **gradient de stress abiotique**, simulé par l'élévation en altitude et la diminution de l'humidité de sol, et d'un **gradient de perturbation biotique** par prédation, que constitue le pâturage.

Pour répondre à l'objectif double que nous nous sommes assignés et afin de concilier l'approche de l'inventaire, description et typologie de la végétation avec une approche plus fondamentale portant sur les interactions entre les espèces en fonction des facteurs environnementaux, et après plusieurs sorties de prospection en mars et avril 2013, qui nous ont permis de différencier les formations végétales présentes dans la région. L'échantillonnage a été réalisé en 2014 de la fin du mois de mars et jusqu'à la fin du mois d'avril selon plusieurs transects le long de plusieurs pentes à chaque changement physionomique 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).

L'emplacement des relevés le long des pentes va permettre d'établir le gradient d'humidité de sol et en même temps un gradient de pâturage puisque selon Aidoud (1989) ce dernier est plus intense au niveau des glacis et se manifeste moins au niveau des sommets de pentes. De même, selon (Kadik, 2005), la forêt en bon état se situe dans les zones d'altitude à forte pente qui sont préservées de l'activité destructive de l'homme et des animaux. Par contre, dans les zones plus accessibles, la dégradation s'aggrave et la régénération naturelle est menacée .

Ainsi pour notre étude nous avons effectué plusieurs types de relevés : des relevés carrés par l'aire minimale, des relevés linéaires et des relevés par microsites.

I.1. Des relevés phytoécologiques par l'aire minimale

La surface de l'aire minimale a été déterminée grâce à la courbe aire-espèce à 100 m².

50 relevés carrés de 100 m² ont été réalisés. Les carrés ont été distribués le long de 7 transects (7 à 10 relevés par transect, 10 m entre chaque carré). Au sein de chaque carré, un inventaire exhaustif a été effectué, et l'abondance de chaque espèce a été estimée visuellement par l'attribution de l'un des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet suivants :

+ : espèce présente, recouvrement et abondance très faible.

1 : espèce abondante mais le recouvrement est faible, inférieur à 5%.

2 : espèce très abondante et recouvrement compris entre 5 et 25%.

3 : recouvrement compris entre 25 et 50% ; abondance quelconque.

4 : recouvrement compris entre 50 et 75% ; abondance quelconque.

5 : recouvrement supérieur à 75% ; abondance quelconque.

Cette analyse a permis de recenser un total de 81 espèces sur l'ensemble du site d'étude.

Dans ce relevé sont notées aussi les variables écologiques : géomorphologie, topographie, exposition, altitude, érosion, pente, drainage, recouvrement des éléments grossiers, de la roche mère, de litière, de sol nu, et de la végétation, la formation végétale, la première espèce dominante, la deuxième espèce dominante, et la troisième espèce dominante. Qui nous permettront de définir les facteurs écologiques qui régissent la répartition des communautés végétales.

Ce relevé consiste, enfin, à prendre en considération :

- ✓ Le facteur de stress abiotique : pour cela des échantillons de sol ont été prélevés pour la mesure de l'humidité volumique du sol au niveau de chaque relevé, deux échantillons ont été pris par point, correspondant à deux profondeurs dans le sol (15 cm et 30 cm) pour bien intégrer la variabilité spatiale. L'humidité de sol est mesurée par rapport à la quantité de la terre sèche contenue dans ce sol, et exprimée en % (gramme H₂O/100 g de terre). Le Principe consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C jusqu'à

un poids constant. La différence de poids avant et après séchage correspond à l'humidité volumique du sol.

- ✓ Le facteur de perturbation : les traces locales de pâturage nous permettrons d'estimer son intensité et elles sont notées de la façon suivante :
 - Excréments, **0** : absence/ **1** : présence.
 - Piétinements, **0** : absence/ **1** : présence.
 - Broutage, **0** : absence/ **1** : présence.
 - Passage de troupeau, **0** : absence/ **1** : présence.

I.2. Les relevés linéaires

Le relevé linéaire est une technique qui a été adaptée aux écosystèmes steppiques dans l'analyse de la structure de la végétation et des caractères de la surface du sol (Aidoud, 1983 ; Aidoud-Lounis, 1984 ; Nedjraoui, 1990). Elle a été décrite par plusieurs auteurs (Gounot, 1961; Godron, 1968 ; Daget et Poissonet, 1971), elle consiste à effectuer des relevés punctiformes pour recenser tous les éléments de la surface du sol le long d'une ligne matérialisée par un ruban gradué, tendu au dessus de la végétation. Une lecture se fait tous les 10 cm sur une longueur de 10 à 20 mètres, en utilisant une aiguille introduite avec précaution dans la végétation.

Cette méthode linéaire permet de fournir des données concernant la végétation (nombre de point de végétation ou sans végétation) et les caractères de surface (nombre de point où un élément particulier de la surface du sol a été noté) qui nous permettent d'évaluer le recouvrement global de la végétation (RG), la fréquence spécifique (FS) pour une espèce donnée, la contribution spécifique (CS_i) et la fréquence des éléments de surface du sol sans végétation (élément grossiers, roche mère, pellicule de glaçage, litière et sol nu).

Pour notre étude nous avons effectué 100 relevés linéaires de 10 m de longueur, 2 lignes perpendiculaires au niveau de chaque carré de 100 m².

I.3. Les relevés par microsites

La variabilité de la quantité de ressources et des conditions microclimatiques résultant de la croissance des plantes est depuis longtemps reconnue. A travers ces changements, quelques espèces de plantes peuvent affecter les interactions interspécifiques ainsi que la composition et la dynamique de la communauté (Callaway, 1995).

Les interactions de facilitations entre les plantes ont été identifiées comme l'un des principaux processus de la structure des communautés végétales et leur composition (Bertness et Callaway, 1994). La facilitation a été principalement décrite au niveau des conditions environnementales sévères, telles que celles qui règnent dans les environnements arides et semi-arides. Au niveau de ces zones les interactions positives entre les plantes sont médiées par la combinaison de la différence de microclimat, la fertilité du sol, la disponibilité en eau et la modification du substrat (Callaway, 1995).

Le rôle des espèces nurses est ainsi lié aux conditions climatiques qu'elles créent autour d'elles sous leurs canopées. Les interactions de facilitations au niveau de la communauté pourraient donc être étudiées en considérant les associations spatiales entre les espèces de plantes.

Dans les écosystèmes arides et semi arides la distribution en mosaïque de la végétation implique que la principale caractéristique qui définit la différenciation des conditions de milieu est la présence d'une espèce dont la forme, le recouvrement et la canopée définit un microclimat particulier. Ainsi, on pourra distinguer des microsites dont deux types vont se présenter : un microsite défini par la présence d'une espèce et un microsite au niveau de l'espace inter-plantes, exposé à l'air libre.

Le rôle des microsites est ainsi extrêmement important dans les climats arides et semi-arides, où des patchs ou des individus isolés de la végétation pérenne peuvent agir comme des éléments de diversification de microenvironnement capables de déclencher la dynamique végétale (Puignaire et Haase, 1996). Ces patchs présentent une amélioration des conditions micro-climatiques, y compris la réduction des taux d'évapotranspiration, les changements dans la qualité de la lumière (Valladares et Puignaire, 1999 ; Maestre et al, 2001), l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol (Cerda, 1997), et la capacité de conserver les propagules amenés par l'effet des eaux de ruissellement ou le vent (Cerda et García-Fayos, 2002). En outre, ces patchs peuvent être utilisés par des espèces végétales de stades avancés de la succession comme points de reprise de la plante dans les zones dégradées (García-Fayos et Verdu, 1998 ; Maestre et al., 2003).

De nombreuses études ont porté sur l'étude des microsites pour évaluer les interactions de facilitations entre les espèces de plantes, en supposant que ces dernières s'effectuent au niveau des microsites fournis par les plantes. La comparaison entre les microsites « plantes »

et les microsites « ouverts » permettra de définir ces interactions et leur mécanisme (Maestre et al., 2001 ; Maestre et al., 2002a ; Maestre et al., 2002b ; Maestre et al., 2003 ; Cavieres et al., 2002 ; Cavieres et al., 2005 ; Michalet, 2006 ; Barbera et al., 2006 ; Cavieres et al., 2007 ; Maestre et Cortina, 2014). Par exemple Maestre et al. (2001) dans leurs travaux au niveau de la steppe au sud de l'Espagne ont trouvé un pourcentage élevé de matière organique et de disponibilité en eau et des niveaux inférieurs de rayonnement photosynthétiquement actifs et de température du sol au niveau du microsite touffe par rapport au microsite ouvert. Ainsi, Maestre et al. (2002a) ont démontré que les microsites fournis par *Stipa tenacissima* facilitent la mise en place d'arbustes et selon Barbera et al. (2006) les graines germent mieux au sein des microsites touffes.

Dans le même contexte, Ludwig et al. (1999) notent que les touffes dispersées dans le paysage aride et semi aride, contribuent à la formation des « îlots fertiles », caractérisés par une amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, et de ses activités biologiques très importantes. Ils peuvent engendrer des microsites favorables au développement, et à la croissance de plusieurs espèces végétales (Callaway, 1997).

Ainsi pour notre étude, nous avons suivi cette approche, et nous avons effectué dans chacun des relevés carrés distribués le long des transects des relevés par microsites. Nous avons considéré des microsites selon les espèces dominantes rencontrées dans les carrés, ainsi nous avons eu (i) des microsites arbres (*Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*) (ii) des microsites touffes (*Stipa tenacissima*) et (iii) des microsites ouverts en extrapolant la surface du microsite plante (arbre ou touffe) dans la surface nue du relevé située entre les plantes (voir figure -26- pour quelques exemples de microsites).

Aucun effort n'a été fourni pour choisir les espèces qui ont montré notamment, des relations spatiales avec d'autres espèces ou qui occupaient une position particulière sur un gradient d'altitude ou topographique. Les microsites ont été sélectionnés selon les espèces qui se trouvaient dans le relevé carré, toutes les espèces arborées présentes dans le carré étaient prises en considération. Pour le microsite touffe, seule l'espèce *Stipa tenacissima* a été étudiée, vue son abondance dans la région et l'aspect qu'elle présentait (touffe fournie) par rapport autres espèces telles que : *Lygeum spartum* et *Artemisia herba alba*, qui n'étaient pas abondantes dans notre dition.

Dans chaque microsite ont été notées :

- La composition floristique : liste de toutes les espèces présentes dans le microsite.
- La performance des plantes : en mesurant la taille, et en décrivant l'état phénologique des espèces par l'un des termes suivants :

1 : état végétatif

2 : débourrement

3 : fleuraison

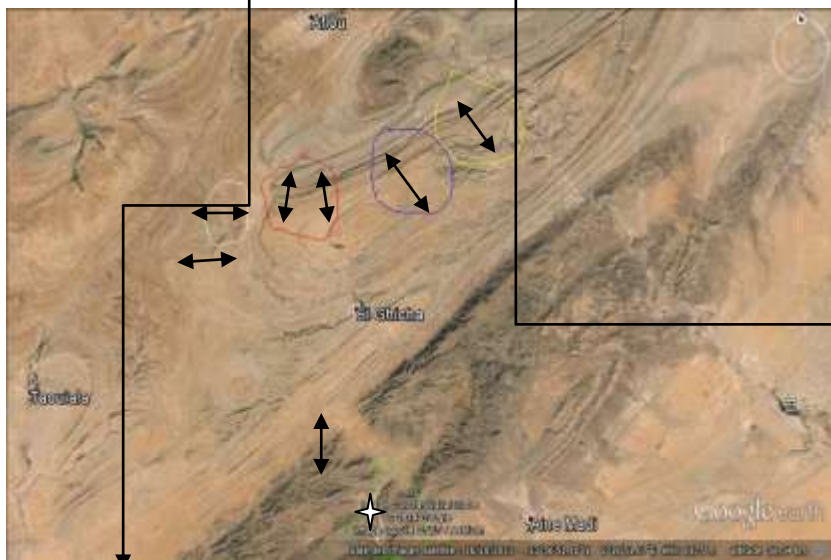
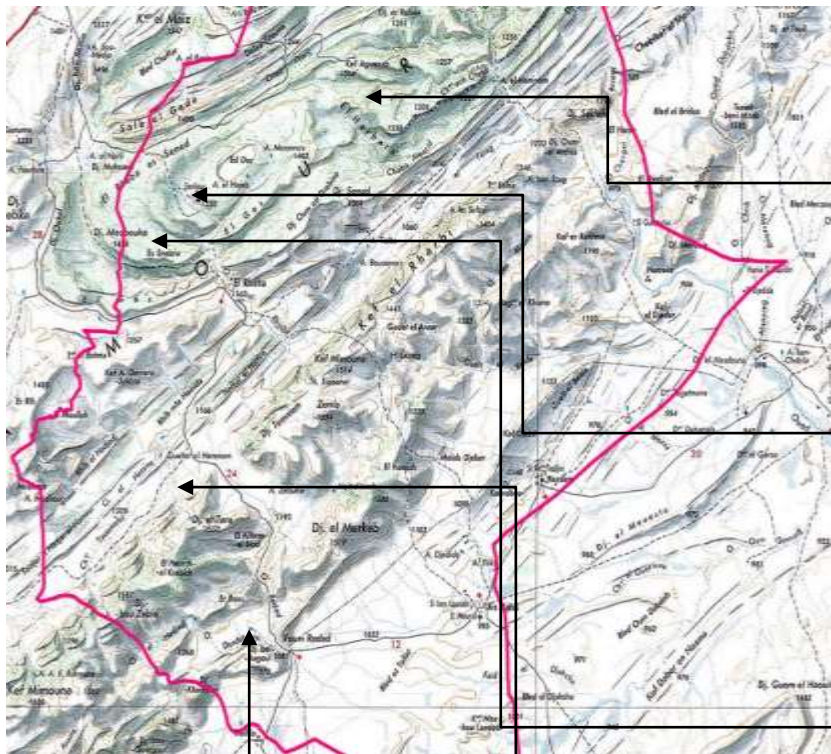
4 : maturation de graines

- Estimation, si c'est le cas, de la surface broutée de la plante

Ce plan (figure -27-) nous a permis d'effectuer 116 relevés microsites et de recenser 64 espèces dans l'ensemble des microsites échantillonnés.



Figure -27 - photos de microsites ((a), (b) microsite Arbre, (c), (d) microsite touffe et (e) (f) microsite ouvert)



II. Traitements de données

Le traitement de données consiste à traiter les données récoltées sur terrain lors de l'échantillonnage par les méthodes statistiques d'une manière à pouvoir les interpréter et en tirer des conclusions. Suivant nos objectifs dont le plan d'échantillonnage dépendait, les données récoltées seront traitées selon plusieurs procédés d'Analyse par le biais du logiciel STATISTICA version 10.

II.1. Analyse de l'organisation des communautés végétales

Ce type d'analyse se fait principalement par des **techniques statistiques d'ordination** représentées par les **analyses factorielles**. L'ordination est le fait d'agencer des unités dans un ordre (Legendre and Legendre, 1998a). En écologie, il s'agit d'ordonner des espèces et/ou des relevés le long de gradients ou d'axes dans le but d'étudier les caractéristiques spatiales de la végétation (Whittaker, 1967). Une des analyses les plus répandues pour ce type d'ordination est l'**Analyse Factorielle des Correspondances** (AFC) qui réalise une ordination simultanée des espèces et des stations et dont l'aspect mathématique a été largement exposé par plusieurs auteurs (Benzecri, 1963 ; Cordier, 1965 ; Lebart & Fénélon, 1971 ; Benzecri, 1973).

Le tableau constituant la matrice des données est un tableau à double entrée dont chaque ligne correspond à des individus (espèces), et chaque colonne à une variable (relevé). Et l'interaction entre la ligne et la colonne est un indice correspondant à l'un des coefficients de Braun-Blanquet attribué à chaque espèce lors de la réalisation du relevé floristique. L'AFC permet d'obtenir à la fois la représentation spatiale des relevés en fonction des espèces prises comme axes de coordonnées et pareillement celle des espèces en fonction des relevés. Pour rendre compréhensible une telle construction dans un espace de dimensions, une projection dans un plan s'avère nécessaire. Les 2 axes qui définissent ce plan sont des directions d'allongement recoupant le maximum de points du nuage (d'espèces ou de relevés). Sur ce plan de projection, s'individualisent des **groupements** de relevés présentant entre eux plus d'affinités qu'ils n'en ont pour leurs voisins et se trouvent réunies des espèces plus souvent associées entre elles qu'elles ne le sont avec d'autres.

Cette analyse va donc nous permettre de définir des groupements végétaux qui selon (Pouget, 1980) constituent « les unités élémentaires de la végétation définies floristiquement, écologiquement, statistiquement et ordonnées par l'interaction des facteurs du milieu et de la

concurrence vitale ». Ils sont représentés graphiquement sous forme de nuage ou de points projetés sur un plan formé par des axes pris deux à deux appelés : carte factorielle.

La signification écologique des axes factoriels sur la carte factorielle obtenue par l'AFC repose sur la confrontation des relevés et des espèces à fortes contributions par rapport à leurs positionnements dans l'axe factoriel (côté négatif ou bien positif). Les caractéristiques écologiques du milieu où ont été réalisés les relevés, ainsi que l'autoécologie des espèces définie à partir de la bibliographie disponible, contribuent fortement à l'identification des axes factoriels.

Pour interpréter l'AFC, nous avons utilisé la classification ascendante hiérarchique ; cette méthode fournit le résultat sous la forme d'un arbre ou dendrogramme. Sur le plan pratique la C.A.H permet de mieux individualiser les limites entre les différents groupements (Kadik, 2005). Cette méthode proposée par Benzecri (1973) est considérée comme le complément de toute AFC. Elle cherche à regrouper par similitude les individus d'un ensemble de données (relevés). Selon Briane (1994), la CAH bien utilisée permet la détection de la délimitation efficace de classes "homogènes". Elle utilise entre autre la même métrique que l'AFC (Khi2). Le calcul des distances se base sur une matrice comportant à l'intersection des lignes et des colonnes, les coordonnées des relevés ou des espèces sur les axes factoriels d'une AFC.

Cette technique a hiérarchisé les différents relevés et a permis ainsi la délimitation des groupements floristiques déterminés lors de l'AFC

II. 2. Caractérisation biologique et phytogéographique des groupements végétaux

2.1. Diversité taxonomique

Les taxons composants les groupements de végétation de notre étude ont été regroupés en famille, genre et espèces en utilisant la flore de Quézel et Santa (1962-1963) comme seule référentiel lors de l'identification des espèces, des traitements numériques et des recherches sur leurs autoécologies pour ne pas confronter des problèmes de synonymies. La nomenclature des espèces est par la suite actualisée selon Dobignard et Chatelain (2010-2013) et la liste est fournie en annexe.

2.2. Détermination des spectres biologiques :

Dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides algériens, les formations végétales sont soumises d'une part à l'action anthropique (surpâturage), d'autre part à l'action de la sécheresse, période durant laquelle de nombreux semis d'espèces forestiers périssent. Par conséquent il est important de mettre en évidence les formes biologiques (« life form » ou « growth form ») pour comprendre la stratégie d'adaptation de la flore et de la végétation aux conditions du milieu (Kadik, 2005).

Ainsi selon Raunkiar (1934) cinq groupes ont été établis suivant le degré de protection assuré par les bourgeons :

- *Les Thérophytes* (Th) : plantes annuelles passant la mauvaise saison sous forme de graines ou spores.
- *Les Géophytes* (Ge) : plantes qui survivent grâce à leurs parties souterraines (bulbe, tubercules ou rhizome).
- *Les Hémicryptophytes* (He) : Plantes dont les bourgeons de rénovation sont à ras du sol et passent la mauvaise saison sous forme de rosettes
- *Les Chaméphytes* (Ch) : plantes dont les bourgeons de rénovation se trouvent entre 0 et 25 cm (une limite de 30-50 cm est retenue pour ce type dans les régions arides, Dahmani, 1997).
- *Les phanérophytes* (Ph): plantes dont les bourgeons de rénovation sont à plus de 25 cm du sol.

La participation des différents types biologiques à la flore d'une région par leur seule présence constitue le **spectre biologique brut**. Il est établi à partir du cortège floristique étudié, alors que le **spectre biologique réel** au sens de Carles (1949) considère le recouvrement, l'abondance dominance de chaque espèce ; il est établi en tenant compte du pourcentage de recouvrement réel de chaque type biologique dans chaque groupement. Ce spectre se rapproche de la réalité terrain et permet de comprendre souvent la biologie des groupements végétaux, et leur liaison écologique (Long, 1954).

Dans le cadre de notre étude, nous avons considéré les deux types de spectre biologique pour évaluer les différentes formes physiologiques des groupements qui caractérisent notre zone d'étude et qui permettent d'avoir un aperçu sur la stratégie d'adaptation de la flore et de la végétation de ces formations.

La détermination du type biologique de chaque espèce a été faite à travers la consultation de plusieurs flores et travaux :

- La flore de l'Algérie (Quézel et Santa, 1962-1963)
- Les travaux de Aidoud-Lounis (1997), Kadi-Hanifi (1998) et Slimani (1998).

Les spectres biologiques bruts sont calculés pour chaque groupement. Ils tiennent compte de la richesse d'une population, c'est le rapport exprimé en pourcentage du nombre de taxons appartenant aux divers types biologiques sur le nombre total des taxons de la communauté étudiée.

Pour réaliser les spectres réels, nous avons adopté la même démarche que Long (1954), qui considère les valeurs de recouvrements de chaque espèce dans chaque groupement étudiée. Le calcul de la valeur de recouvrement d'une espèce est basé sur l'échelle qui a été utilisée par Tomaselli (1976, Tableau -4-)

Tableau -5-Codification du coefficient d'abondance dominance

Coefficients d'abondance-dominance	absence	+	1	2	3	4	5
Coefficients utilisés	0	1	2	3	4	5	6
Recouvrement correspondant	0	0,1	2,5	15	37,5	62,5	87,5

Pour les spectres biologiques réels nous avons retenu le pourcentage du recouvrement relatif des espèces, ce dernier appelé « E », est calculé à partir du rapport de la valeur moyenne de recouvrement « C » pour chaque espèce sur le total des valeurs moyennes de recouvrement de toutes les espèces « $\sum C$ ».

$$E = \frac{\text{valeur moyenne de recouvrement } C \text{ de l'espèce}}{\text{Total des valeurs moyennes de recouvrement de toutes les espèces}} \times 100$$

Où :

C : valeur moyenne de recouvrement déterminée à partir du rapport suivant:

$$C = \frac{A \times 100}{\text{Nombre de relevés du groupement}}$$

A : est la valeur de recouvrement définie à partir de l'échelle des correspondances abondance-dominance.

2.3. Détermination des spectres phytogéographiques

La caractérisation phytogéographique est faite pour chaque groupement en faisant appel à la flore de Quézel et Santa (1962-1963), et les travaux de : Aidoud-Lounis (1984-1997), Dahmani (1997), Kadi-Hanifi (1998) et Kadik (2005).

La portion des différents types phytogéographique dans la flore du groupement étudié, est représentée en tenant compte de leur seule présence décrite par un spectre phytogéographique brut.

2.4. Evaluation quantitative de la biodiversité des groupements

Selon Ramade (1984), « l'étude quantitative de la diversité peut être réalisée selon diverse approches qui sont fondées sur l'usage d'indices de diversité dont la formulation est plus ou moins complexe ».

Si nous considérons la diversité d'une communauté comme une notion qui recouvre d'une part la diversité spécifique (nombre d'espèces) et d'autre part la façon dont se répartissent ces individus dans un espace donné, c'est à dire que nous devons tenir compte de l'équitabilité (régularité). Pour quantifier la diversité floristique, nous avons retenu : la richesse spécifique (**S**), l'indice de diversité de Shannon (**H'**) et l'équitabilité (**E**).

2.4.1. La richesse spécifique (S)

C'est l'expression la plus simple de la diversité biologique, elle représente le nombre d'espèces peuplant un espace donné.

2.4.2. Indice de diversité de Shannon (H')

Le calcul de l'indice de Shannon est réalisé sur la liste globale des espèces et sur les listes des différentes formations végétales. L'indice de Shannon permet d'avoir aisément une meilleure idée sur l'état de la diversité biologique d'un groupement à un autre. Il est exprimé par la formule suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

Avec p_i : fréquence relative ou contribution spécifique (C_{si}) = N_i/N

N_i : nombre d'espèce dans l'échantillon i

N : nombre total d'espèces

Cet indice varie de [0 à 5], il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement.

2.4.3. Equitabilité (E)

L'évaluation de la diversité spécifique d'un échantillon est généralement complétée par un indice d'équitabilité (**E**). Celui-ci représente le rapport entre la diversité spécifique de Shannon maximale théorique et le logarithme base de 2 de la richesse spécifique de l'échantillon ; cet indice à pour formule :

$$E = H'/H \text{ max.}$$

$$E = H'/\log_2 S$$

L'équitabilité (**E**) varie entre [0 à 1] ; elle tend vers (**0**) quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement, et tend vers (**1**) lorsque chacune des espèces est représentées par le même nombre d'individus (Ramade, 1984).

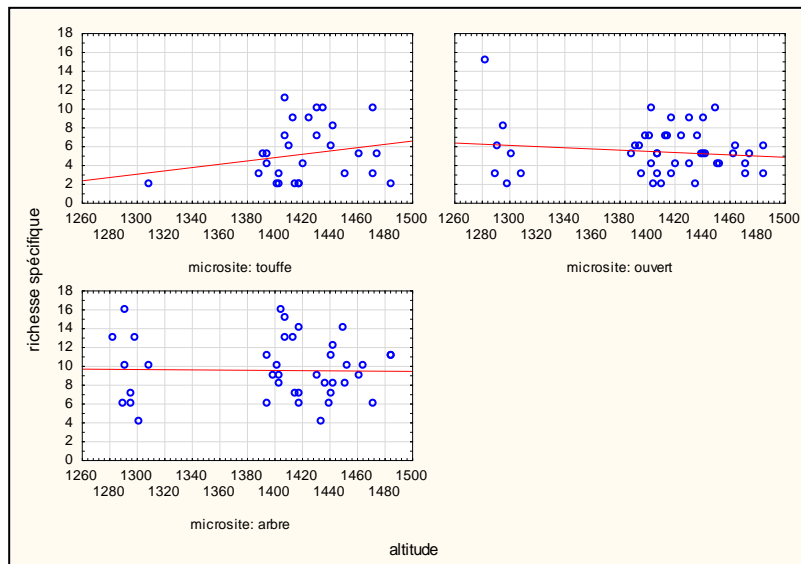
II.3. Structuration des communautés végétales

A l'issue de l'étude phytoécologique, une analyse des données des relevés microsites le long des gradients environnementaux a été réalisée par le biais de plusieurs méthodes statistiques afin d'identifier les mécanismes de structuration des communautés végétales d'El-Ghicha.

3.1. Méthodes statistiques utilisées

3.1.1. Les Graphiques Catégorisés

Parmi les méthodes analytiques les plus importantes, généralistes et puissantes, l'analyse par graphiques catégorisés consiste à décomposer les données en différentes catégories afin de comparer la structure de ces données en fonction des différents sous-ensembles obtenus. Les pentes de régression peuvent être différentes pour les différents groupes expérimentaux. Les graphiques catégorisés produisent des séries de graphiques (comme des histogrammes, des nuages de points etc...), un pour chaque catégorie d'observations sélectionnée (c'est-à-dire, des sous-ensembles d'observations). Toutes les composantes graphiques sont arrangées dans un même graphique (Figure ci-dessous) pour permettre une comparaison des catégories de données.



Ainsi dans le cadre de notre étude ce type de graphiques nous a permis de tracer des nuages de points catégorisés par microsite. En sélectionnant « microsite » comme variable catégorielle, un tracé est produit pour chaque microsite (touffe, ouvert et arbre) dans un même

graphique ce qui va nous permettre de différencier le rôle du microsite selon les variables considérées en X et Y des axes des nuages de points (exemple : composition spécifique en fonction de l'altitude).

D'un point de vue statistique, les graphiques catégorisés fournissent pour chaque microsite:

- Le coefficient de corrélation « r » qui mesure la relation linéaire entre les valeurs de deux variables. C'est la pente de la droite de régression du nuage de point et qui permettra alors, de révéler les relations négatives ou positives entre les variables.
- Le niveau p de *significativité statistique* d'un résultat qui est une mesure estimée du degré pour lequel le résultat est "juste" (au sens, représentatif de la population). D'un point de vue plus technique, la *valeur p* représente un indice décroissant de la fiabilité d'un résultat. Plus la *valeur p* est élevée, moins on peut croire que la relation observée entre les variables dans l'échantillon est un indicateur fiable pour la relation entre les variables correspondantes dans la population. Plus précisément, la *valeur p* représente la probabilité d'erreur associée à l'acceptation du résultat observé comme correct (valide). Par exemple, une *valeur p* de 0,05 (c'est-à-dire 1/20) indique qu'il existe une probabilité de 5% que la relation entre les variables trouvée dans notre échantillon soit due au hasard (coïncidence). Dans de nombreux domaines de recherche, une *valeur p* de 0,05 est considérée selon l'usage comme une "limite acceptable" d'erreur.

Dans le cadre de notre étude, une limite de 0,1 pour la valeur de p a été considérée comme statistiquement significative, vue la petite taille de l'échantillon tel qu'il a été considéré par (Jung, 2009).

Les valeurs de p seront notées comme suit : (*): $p < 0.1$; * : $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0,0001$; ***** $p < 0,00001$.

Seuls les graphiques à l'échelle de la communauté seront représentés, les graphiques obtenus pour chaque espèce ne seront pas figurés et les résultats significatifs seront résumés

dans des tableaux pour (r et p), cependant le sens de leur pente (négatif ou positif) sera discuté.

3.1.2. Les Modèles Généraux de Régression (GRM)

L'objectif général de ces modèles est de définir la relation entre plusieurs variables indépendantes ou prédictives et une variable dépendante. Par exemple, l'altitude (variable prédictive) peut avoir un effet sur la composition spécifique ou bien les traits fonctionnels des espèces (variables dépendantes) mais la présence d'un microsite arbre (variable prédictive) pourrait influencer cet effet de l'altitude en affectant ces variables dépendantes.

Deux types de variables prédictives peuvent être sélectionnés, des *prédicteurs catégoriels* tels que « Microsite », ou des *prédicteurs continus* tels que « altitude » ou « humidité ». Ces modèles permettent ainsi de créer des **termes d'interaction** des variables sélectionnées, cet **effet d'interaction** apparaît lorsqu'une relation entre deux variables (ex. composition spécifique en fonction de l'altitude,) est modifiée par une autre variable (microsite). En d'autres termes, la force ou le sens de la relation entre deux variables est différent selon la valeur (niveau) d'autres variables (le terme *interaction* a été initialement utilisé par Fisher, 1926). Par conséquent, une interaction significative d'un point de vue statistique indique que l'effet respectif est significatif.

L'effet de la présence des microsites, de l'altitude et de l'humidité de sol et leur interaction sur la richesse spécifique, l'abondance et la performance des plantes a été donc testée par le biais de ces modèles de régression, où la présence de microsite a été choisi comme prédicteur catégoriel (avec les codes suivants : touffe, ouvert, arbre) et l'altitude et l'humidité comme des prédicteurs continus. La forme du modèle de régression était (par exemple) la suivante :

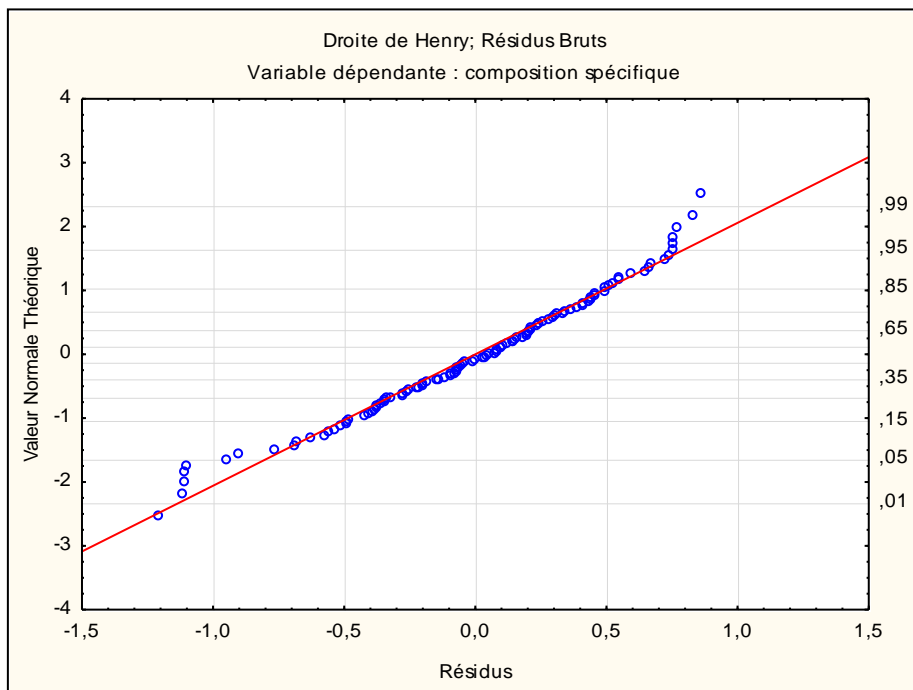
$$\text{Abondance de l'espèce} = \beta_0 + \beta_1.\text{altitude} + \beta_2 .\text{touffe} + \beta_3. \text{Ouvert} + \beta_4.\text{arbre} + \beta_5. \text{Altitude}*\text{touffe} + \beta_6 \text{ altitude}* \text{ouvert} + \beta_7 \text{altitude}* \text{arbre}$$

Où β_0 est l'ordonnée à l'origine, β_1 à β_7 sont les coefficients de régression associés à l'altitude (β_1), au microsite touffe (β_2), au microsite ouvert (β_3), au microsite arbre (β_4), et à l'interaction altitude*microsite touffe (β_5), altitude*microsite ouvert (β_6) et altitude* microsite arbre (β_7).

Les coefficients β de l'interaction seront étudiés afin d'évaluer la contribution relative de l'effet d'interaction des microsites avec l'humidité ou l'altitude à la prévision de la variable dépendante (richesse spécifique, abondance et performance des espèces).

Après avoir ajusté une équation de régression, il faut toujours examiner *les résidus*. Les résidus représentent la différence entre les valeurs observées et les valeurs correspondantes prévues par le modèle, et par conséquent, représentent la variance non expliquée par le modèle. Plus l'ajustement par le modèle sera bon, plus la valeur des résidus sera faible.

Les GRM supposent l'existence des relations linéaires entre les variables de l'équation de régression, et une distribution normale des résidus. Le tracé de normalité des résidus va permettre de vérifier la normalité et d'identifier les points aberrants ou atypiques qui peuvent biaiser les résultats. Ce tracé est constitué par *la droite de Henry* qui permet d'évaluer la normalité de la distribution d'une variable, c'est-à-dire si la variable suit la distribution normale et dans quelle mesure. La variable sélectionnée est représentée par un nuage de points mettant en relation les résidus et les valeurs « théoriques de la distribution normale » (Figure ci-dessous).



Si les résidus observés (tracés selon l'axe X) sont distribués normalement, toutes les valeurs doivent être alignées sur une droite. Si les résidus ne sont pas distribués normalement,

ils s'écarteront plus ou moins de la droite. Les points atypiques peuvent ainsi être mis en évidence dans ce tracé.

La normalité de tous les résultats des GRM a été vérifiée, par la droite de Henry et les points atypiques ont été éliminés.

3.1.3. L'analyse de variance ANOVA

L'objectif de l'analyse de variance, d'une manière générale, vise à tester les différences significatives entre les moyennes. Elle permet ainsi d'étudier le comportement d'une variable continue à expliquer en fonction d'une ou de plusieurs variables explicatives catégorielles.

L'ANOVA permet, en effet, de détecter les interactions entre les variables. Par exemple, elle permet de détecter l'influence du niveau de la variable catégorielle explicative (ex. Broutage : 0/1) sur la distribution d'une variable dépendante à expliquer (ex. taille des espèces, composition spécifique...etc.). Il pourra s'agir de plusieurs variables catégorielles (ex. Broutage, microsite) dans le cadre d'une ANOVA factorielle.

Pour savoir si ces résultats sont significatifs, en plus de la valeur p , la valeur de F est déterminée. F permet la comparaison des variances (inter-groupe et intra-groupe).

$$F = \text{Variance entre les groupes} / \text{Variance dans les groupes}$$

Plus la variance entre les groupes est supérieure à celle dans les groupes, plus l'effet du facteur testé a des chances de ne pas être du au hasard. En résumé, plus le F est élevé, plus il y a de chance que le facteur testé ait un effet statistiquement significatif.

3.2. Effet du gradient abiotique

A l'échelle de la communauté

Une ordination des 64 espèces recensées et 116 relevés microsites effectués a été réalisée par l'AFC (figure -28-), afin de déterminer **les scores des relevés**, qui correspondent aux coordonnées des relevés le long des axes factoriels (contributions relatives des relevés) et qui auront une meilleure distribution que les données brutes, et permettront alors de mieux représenter la composition spécifique des relevés. L'interaction entre relevés et espèces dans le tableau à double entrée correspond à la présence (1) ou absence (0) de l'espèce.

Les scores des relevés sur l'axe 1 seront utilisés pour le reste des analyses. L'axe 1 semble représenter un gradient altitudinal, le score des 116 relevés présente une corrélation significative avec l'altitude ($r = -0.20$; p^*).

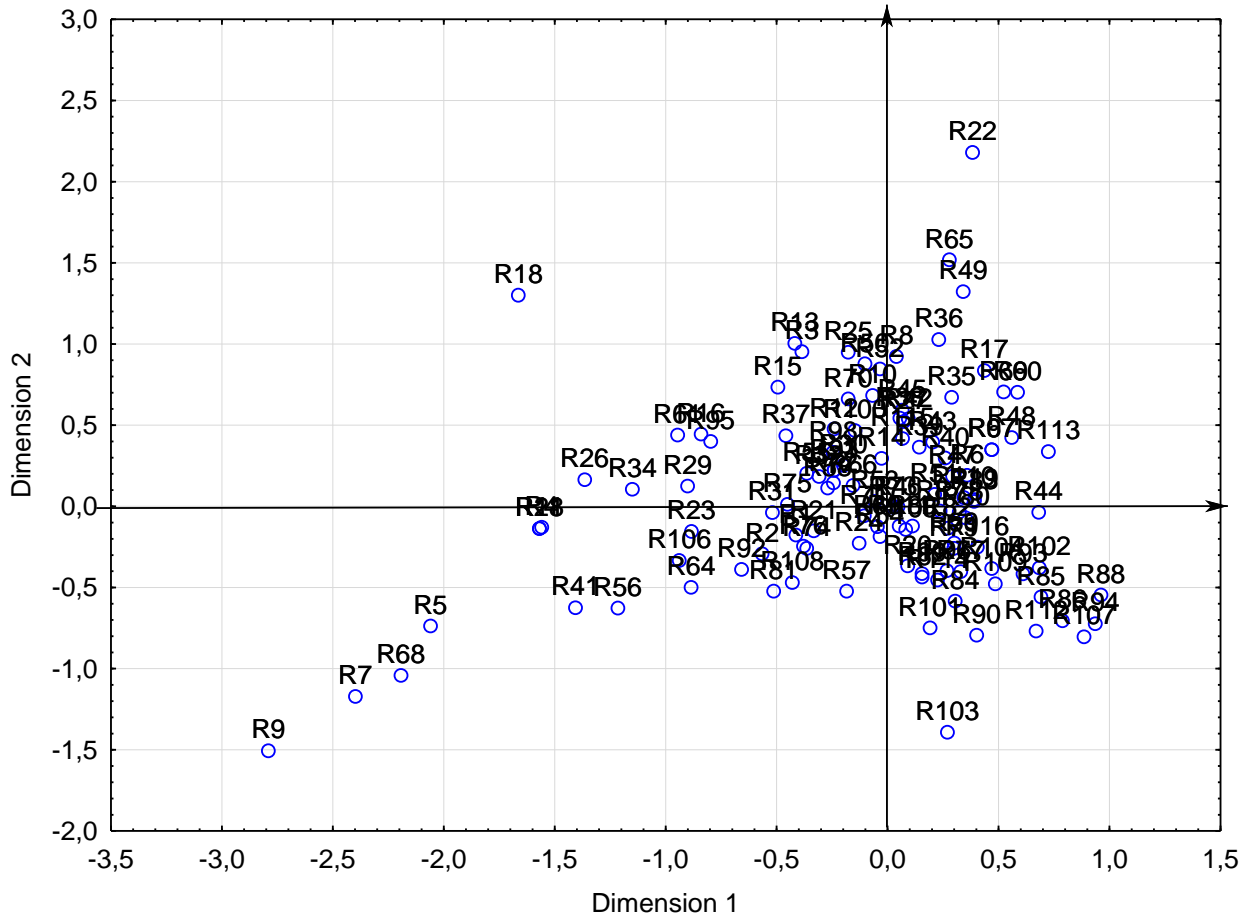


Figure - 29- carte factorielle microsites x espèces selon l'axe 1 et l'axe 2

Par la suite, des nuages de points des scores de relevés en fonction de l'altitude catégorisés par microsite ainsi que les scores des relevés en fonction de l'humidité catégorisés par microsites sont tracés par le biais des graphiques catégorisés. Cette méthode nous a permis de mettre en évidence la variation de la composition spécifique le long des gradients d'altitude et d'humidité et en fonction de chaque type de microsite (touffe, ouvert, arbre).

A l'issue des graphiques catégorisés, une analyse GRM est effectuée pour permettre d'établir les termes d'interaction microsite \times altitude (effet du microsite sur l'effet de l'altitude sur la composition spécifique, variable dépendante : scores des relevés ; prédicteur catégoriel : microsite ; prédicteur continu : Altitude) ou microsite \times humidité (effet du microsite sur l'effet de l'humidité sur la composition spécifique, variable dépendante : scores des relevés ; prédicteur catégoriel : microsite ; prédicteur continu : humidité).

Enfin les droites de Henry sont tracées afin de vérifier la relation linéaire entre les variables pour chaque Modèle.

A l'échelle spécifique

Les graphiques catégorisés seront aussi utilisés afin de tracer pour chaque espèce les nuages de points suivants :

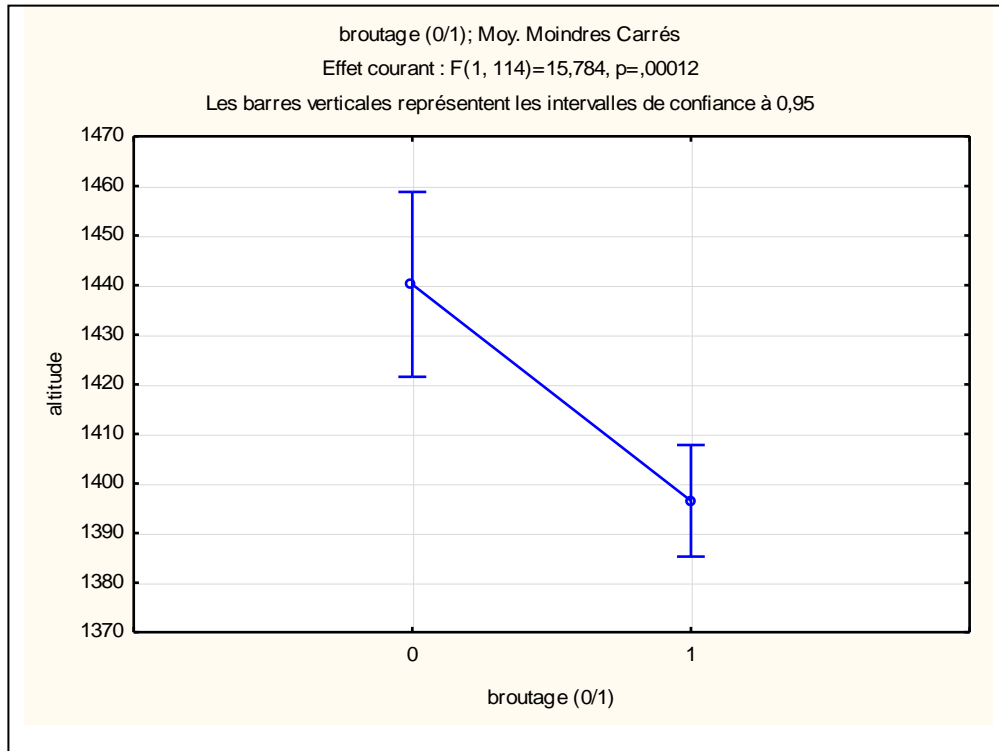
- Abondance de l'espèce en fonction de l'altitude catégorisés par microsites ;
- hauteur de l'espèce en fonction de l'altitude catégorisés par microsites ;
- Etat phénologique en fonction de l'altitude catégorisés par microsites ;
- Largeur (pour les espèces *Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Stipa tenassicima*, *Artemesia herba alba*, et *Rosmarinus officinalis*) en fonction de l'altitude catégorisés par microsites ;

Ceci permettra de voir la différence de l'abondance et les traits de chaque espèce en fonction de l'altitude pour chaque microsite, et donc de détecter le rôle de facilitation d'un microsite donné pour une espèce donnée si par exemple, l'abondance d'une espèce augmente avec l'altitude dans un microsite particulier et pas dans les autres.

Une analyse GRM sera aussi effectuée, en prenant les variables à expliquer (taille, largeur, état phénologique des espèces) comme des variables dépendantes, les microsites comme des prédicteurs catégoriels et l'altitude comme prédicteur continu afin de vérifier la significativité des termes d'interactions microsite x altitude. Une droite de Henry pour chaque variable dépendante sera produite pour détecter les points atypiques et vérifier la normalité de la relation entre les variables.

3.3. Effet du gradient biotique

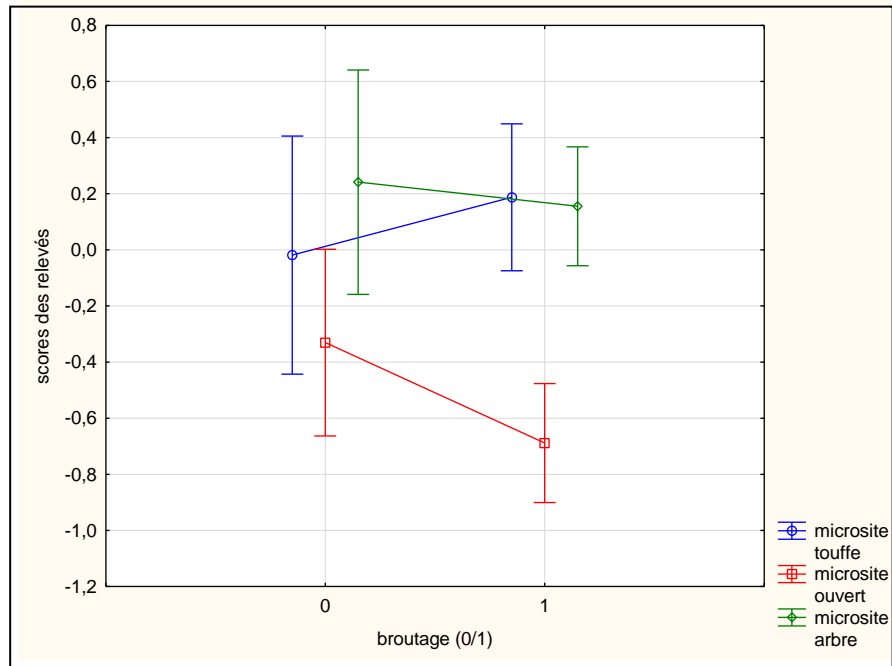
L'approche statistique de l'ANOVA sera utilisée pour mettre en évidence le gradient de perturbation par le pâturage, c'est-à-dire, la différence du niveau de perturbation le long de gradient d'altitude ou d'humidité. Par exemple, l'analyse du graphique (Figure ci-dessous) permettra d'affirmer que le niveau de perturbation est plus important à des altitudes basses.



L'ANOVA va permettre aussi de détecter le rôle du microsite sur l'effet de la perturbation par le pâturage sur la composition spécifique ou sur chaque espèce et ses traits mesurés.

A l'échelle de la communauté

Les scores des relevés sont analysés en fonction des deux facteurs Broutage x Microsite, une analyse graphique (figure ci-dessous) permettra d'observer la différence de la composition spécifique des microsites selon le niveau de pâturage.



A l'échelle spécifique

Comme les scores des relevés, chaque variable dépendante (hauteur, largeur, état phénologique, surface broutée) de toutes les espèces recensées sera analysée en fonction des deux facteurs Broutage x Microsite en même temps. Afin de voir la différence de l'effet de la perturbation selon le microsite pour chaque espèce.

Chapitre-III- Résultats et Discussions

I. Ecologie et Diversité floristique de la région d'El-Ghicha

Les données floristiques recueillies ont été ordonnées selon la technique de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) qui consiste à mettre en évidence la discrimination des espèces et des relevés sur un ou plusieurs axes factoriels, puis à révéler le(s) facteur(s) environnemental(aux) reflété(s) par cet(ces) axe(s). A cet effet, une matrice de 50 relevés et 81 espèces a été soumise à cette analyse en tenant compte des coefficients d'abondance-dominance.

Dans cette analyse, chaque ensemble discriminé, sera caractérisé sur le plan physiologique, écologique et floristique. Cette caractérisation est basée sur les relevés et les espèces à fortes contributions relatives aux axes factoriels et sur leurs données écologiques.

I.1. Identification des groupements végétaux

L'examen des projections des points relevés de l'AFC, permet d'identifier les principaux ensembles végétaux caractérisant la région d'El Ghicha. Il s'agit de déterminer les facteurs écologiques qui interviennent dans la répartition et l'installation de la végétation et de donner ainsi une signification aux axes factoriels. Les résultats de l'analyse fournissent les valeurs propres et les participations des 5 premiers axes factoriels à l'inertie globale du nuage. Le taux d'inertie traduit le pouvoir discriminatoire de l'axe, plus il est important plus il est discriminant. Les taux d'inertie des axes de l'analyse factorielle de correspondance sont résumés dans le tableau -6-.

L'inertie associée à l'AFC est de 39.7%. L'axe 1 et l'axe 2 totalisent à eux seuls 22.23% de l'information ce qui nous conduit en plus des valeurs propres de ces derniers qui sont les plus élevées (0.35, 0.29) à ne considérer que ces deux premiers axes. Les informations apportées par les axes 3,4 et 5 semblent donc non significatives.

Tableau -6-: Valeurs propres et taux d'inertie pour les axes 1.2.3.4 et 5.

Axes	Valeurs propres	Taux d'inertie (%)
1	0.35	12.15
2	0.29	10.08
3	0.18	6.4
4	0.16	5.70
5	0.15	5.37

La carte factorielle espèces × relevés (figure -29 -) relative au plan défini par l'axe 1 et l'axe 2 révèle un «*effet Guttman*» qui indique selon Benzecri et *al.* (1980) que le deuxième axe factoriel contribue à exprimer «la même gradation générale» que le premier mais avec des nuances intéressantes, de même, selon Benzecri (1973) l'effet Guttman attribue à priori une signification du gradient exprimé par l'axe 1 proche de celle exprimée par l'axe 2. C'est l'expression d'un facteur tellement fort qu'il influence plusieurs facteurs selon Escofier et Pages (1990). Il implique d'après Kadi-Hanifi et Loisel (1997) une corrélation non linéaire mais quadratique entre ces deux axes.

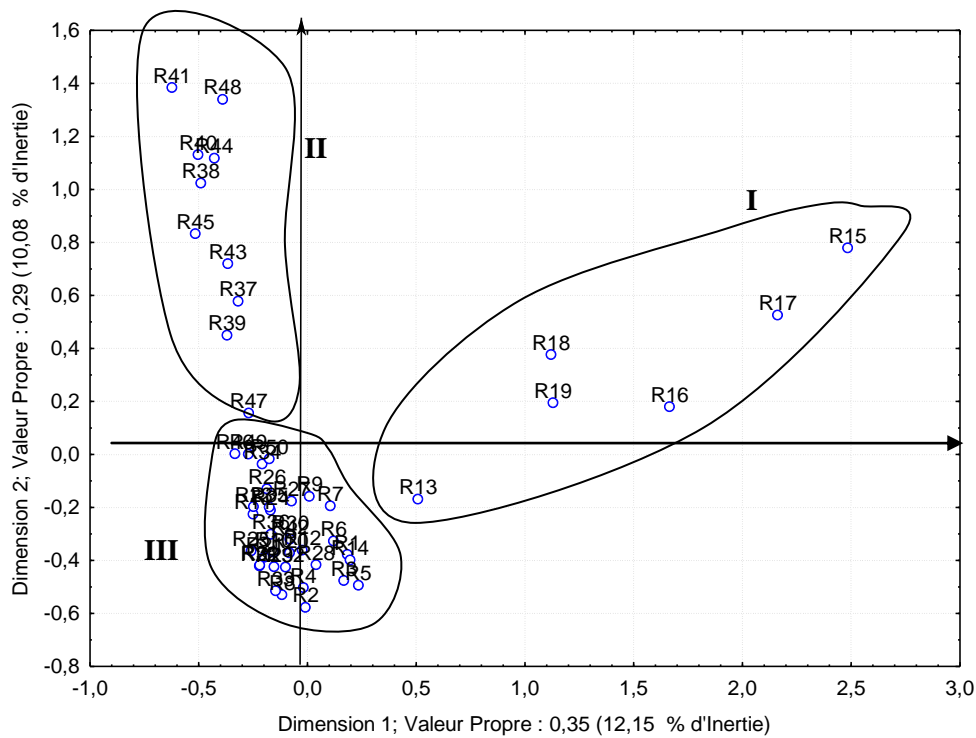


Figure -30- Carte factorielle espèces x relevés selon l'axe 1 et l'axe 2.

Par ailleurs, comme il n'est pas aisé de tracer les limites nettes entre certains points des nuages observés sur le diagramme, et afin de résoudre les difficultés rencontrées par l'AFC, nous avons été amenés à compléter notre analyse par l'utilisation des résultats fournis par la classification hiérarchique ascendante (CHA). Cette dernière consiste à regrouper par similitudes les relevés d'un ensemble (figure -30 -) et permet donc de confirmer les résultats obtenus au préalable avec l'AFC.

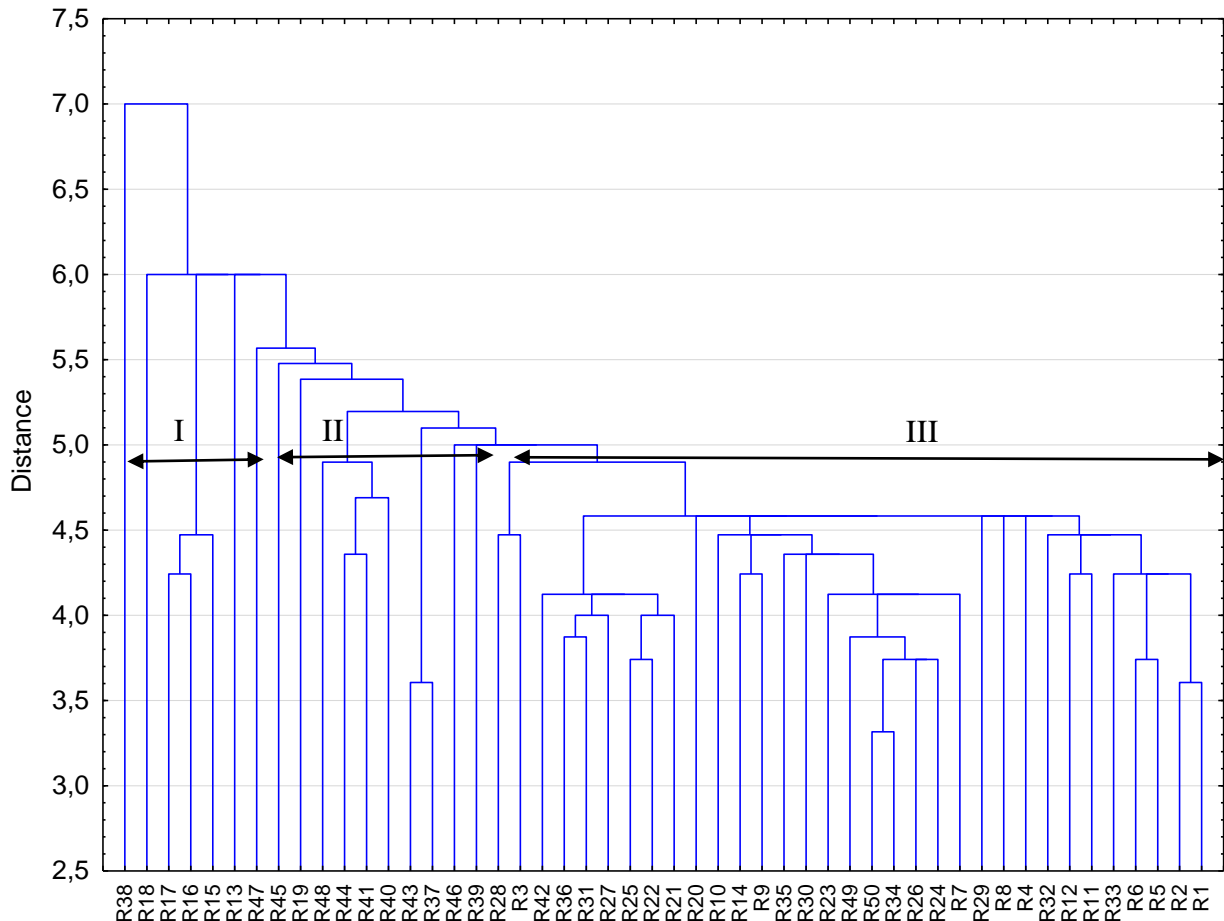


Figure -31 – Résultat de la classification ascendante hiérarchique-CAH- des 50 relevés floristiques.

L'observation de la carte factorielle et l'analyse du dendrogramme produit par la classification ascendante hiérarchique permettent d'identifier trois groupements végétaux (Tableau -7-) caractérisant la végétation de la région d'El-Ghicha. Le groupement I (6 relevés) situé dans la partie positive de l'axe 1, le groupement II (10 relevés) situé dans la

partie négative de l'axe1 et positive de l'axe2 et le groupement III (34 relevés) situé dans la partie négative de l'axe1 et négative de l'axe2.

Le groupement I, correspond aux relevés effectués au niveau de l'oued, le groupement II correspond aux relevés effectués dans la forêt claire à Pin d'Alep et le groupement III comprend les relevés de la steppe, la steppe arborée et les matorrals.

Tableau-7- : Les différents groupements individualisés et leurs relevés correspondants.

Groupement	N° de relevés
I	13- 15 -16 -17 -18 -19
II	37-38-39-40-41-43-44-45-47-48
III	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-14-20-21-22-23-24-25-26-27-28- 29-31-32-33-34-35-36-38-42-46-49-50

Les relevés du groupement I appartiennent aux formations végétales qui poussent dans les oueds ensablés où dominant des espèces telles que : *Retama raetam*, *Nerium oleander*, *Euphorbia bupleuroides*, *Thymelaea microphylla*, *Atractylis humilis*. Le recouvrement global de la végétation varie de 30% à 60%, on note un recouvrement important d'éléments grossiers, entre 10 et 30 %, l'affleurement de la roche mère n'a été observé que dans un seul relevé avec un recouvrement de 20%.

Le groupement II correspond aux formations forestières, ce sont les formations végétales les moins dégradées parmi celles que nous avons étudiées. Caractérisé par des espèces forestières, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, des espèces de matorrals, *Rosmarinus officinalis*, *Globularia alypum*. Quant aux espèces liées à la dégradation et à la steppe on retient : *Ammochloa pungens* (Kadik, 2005) et au pâturage *Bromus rubens* (Quezel et Santa, 1963). Le couvert végétal varie entre 40% et 90%, avec un taux de recouvrement de la roche mère variant de 5 à 20% dans la majorité des relevés.

Le groupement III se caractérise par des formations végétales plus au moins dégradées, se sont essentiellement des steppes arborées et des matorrals clairs. Ils correspondent à des formations plus ouvertes que les précédentes. Le recouvrement de la végétation varie entre 20 et 70%, le recouvrement par les éléments grossiers de 5 à 40%, et

l'affleurement de la roche mère de 5 à 40% également. Les relevés sont riches en espèces de matorrals et de formations présteppiques (*Stipa tenacissima*, *Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*). Avec la présence des espèces steppiques telles que *Artemisia herba alba* et *Atractylis humilis*.

Afin de révéler les facteurs écologiques qui interviennent dans la formation et la distribution de ces groupements, nous allons nous intéresser dans le paragraphe suivant à la signification des axes factoriels qui ont permis de les individualiser.

I.2. Signification écologique des axes factoriels

Signification écologique de l'axe 1

L'axe 1 discrimine deux ensembles, un ensemble constitué par le groupement I au côté positif et un ensemble rassemblant le groupement II et III au côté négatif. Il oppose, de ce fait, les relevés effectués dans l'oued à ceux effectués dans la forêt claire, matorral, steppe et steppe arborée.

Par conséquent, l'axe 1 semble représenter un gradient géomorphologique qui va -du pôle négatif au pôle positif- du sommet sous forme de Plateau (forêt claire) passant par les hauts de versants, mi-versants, bas de versants (matorrals, steppe arborée et steppes) à l'Oued (Ripisylves). Il exprime ainsi la différence de la profondeur de sol qui serait plus importante au niveau de l'Oued.

Le tableau -8-, présente relevés qui ont les plus fortes contributions relatives à l'axe 1.

Tableau -8- Caractérisation physionomique des relevés à forte contribution relative à l'axe I et leur appartenance aux groupements végétaux identifiés.

C O T E N E G A T I f	Relevés du groupement	Formation végétale
	II	
	R37	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R38	Forêt claire à <i>Quercus ilex</i> et <i>Lygeum spartum</i>
	R39	Forêt claire à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Quercus ilex</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R40	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R41	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Quercus ilex</i>
	R43	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R44	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Rosmarinus officinalis</i>
	R45	Forêt claire à <i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus halepensis</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>
	R47	Matorral à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Rosmarinus officinalis</i>
	R48	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	Relevés du groupement	
	III	
	R1	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i>
	R5	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i>
	R11	Steppe arborée à <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Atractylis humilis</i>
	R14	Steppe arborée à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Atractylis humilis</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R21	Matorral haut à <i>Pistacia atlantica</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R22	Matorral haut à <i>Pistacia atlantica</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>
	R23	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R25	Matorral haut à <i>Pistacia atlantica</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R26	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>

	R34	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R49	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Rosmarinus officinalis</i>
	R50	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
C	Relevés du groupement	Formation végétale
O	I	
T	R13	Steppe arbustive à <i>Retama raetam</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Atractylis humilis</i>
E	R15	Ripisylve à <i>Retama raetam</i> , <i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Euphorbia bupleuroides</i>
P	R16	Ripisylve à <i>Retama raetam</i> et <i>Euphorbia bupleuroides</i>
O	R17	Ripisylve à <i>Retama raetam</i>
S	R18	Ripisylve à <i>Nerium oleander</i>
I	R19	Steppe arborée à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
T		
I		
F		

Par ailleurs, la carte factorielle des espèces (figure-31-) permet de voir la répartition des espèces engendrée par l'axe1. Les espèces qui contribuent le plus à recouper le nuage selon l'axe1 sont du côté négatif, des espèces indicatrices d'une ambiance forestière telles que, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Globularia alypum* et *Rosmarinus officinalis* et du côté positif, des espèces psammophiles telles que, *Retama raetam*, *Astragalus armatus*, *Thymelaea microphylla*, *Salvia verbenaca* et indicatrices des oueds telle que *Nerium oleander*.

L'autoécologie des espèces à forte contribution à l'axe 1 (tableau -9-), va permettre de mieux déceler la signification de cet axe. Le tableau résume l'autoécologie de ces espèces à partir d'une partie de la bibliographie disponible.

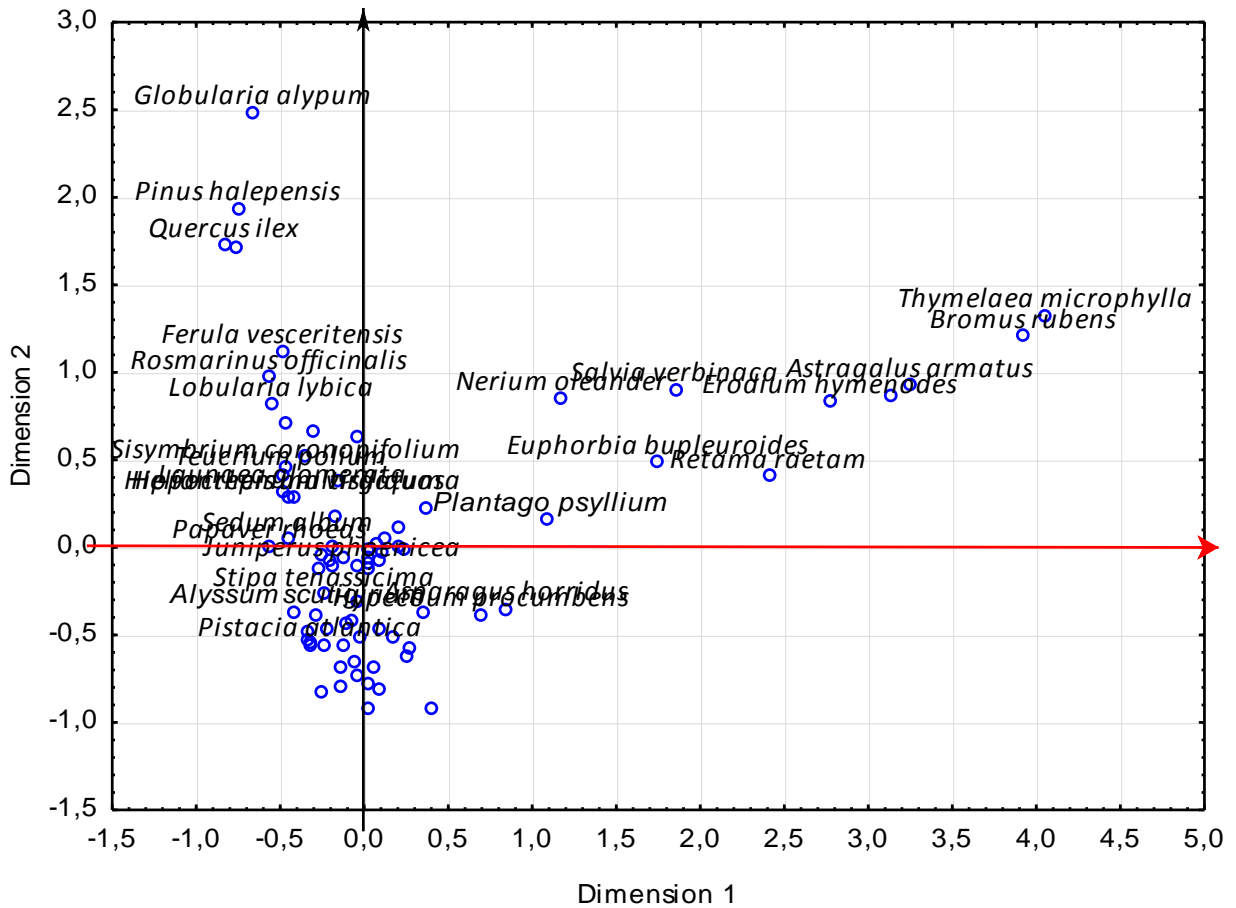


Figure -32 - carte factorielle des espèces qui ont les plus fortes contributions relatives à l'axe 1 (seuil retenu = +/- 0.40)

Tableau -9 - Résumé bibliographique de l'autoécologie des espèces à forte contribution à l'axe 1

	Espèces	Autoécologie	Référence bibliographique
C O T E N E G A T I F	<i>Pinus halepensis</i>	- Forêts. -développement optimal 350<P<700mm. -semi-aride et sub-humide inférieur à variantes fraîche et froide. -tous types de sol (superficiels/épais). -substrats meubles ou friables, Il se développe bien surtout sur les sols bruns calcaires, les sols bruns calciques à croûte et encroûtement, sur rendzines.	-Quézel et Santa (1962) -Kadik (2005)
	<i>Quercus ilex</i>	-essence essentiellement montagneuse. -Montagne, surtout subcalcaire -Milieu forestier de l'aride supérieur P>300mm ; sols humifère non ou faiblement calcaire (forêt, matorral). -Aride supérieur et moyen. Relique forestière ; écotone forêt steppe.	- Barry et al.(1976) -Quézel et Santa (1962) -Pouget (1980) -Le Houérou (1969)
	<i>Rosmarinus officinalis</i>	-Garrigues, forêts claires. -Aride supérieur, semi-aride inférieur et supérieur et le subhumide, variante à hiver frais et parfois tempéré ou assez chaud. -espèce de matorrals.	-Quézel et Santa (1963) -Djellouli (1991) -Kadik (2005)
	<i>Globularia alypum</i>	-Rocailles, garrigues. -Sols divers bien drainés marnocalcaires. -Espèce des sommets et des hauts versants de l'Atlas saharien, semi aride et froid au sub-humide froid P (300 à 700 mm). -Espèce liée aux forêts xériques à Pin d'Alep. -Colonise les forêts claires, les garrigues, mais aussi les rocailles.	-Quezel et Santa (1963) -Pouget (1980) -Djebaili (1978) -Kadik (1983) - Djellouli (1981)

	<i>Lobularia lybica</i>	Sables- Hauts plateaux, littoral oranais, Sahara septentrional	Quézel et Santa (1963)
	<i>Papaver rhoeas</i>	-Aride moyen (P>200mm). - Groupe oligotrophe fortement calcicole préférentiel des croûtes et encroûtement calcaires, groupe lié aux sols poreux à bonne Structure. - sols de texture moyenne à grossière en surface mais variable en profondeur. - Semi aride inférieur froid, P (300 à 350mm), Glacis d'ablation, calcaire gréseux.	- Quézel et Santa (1962) - Djellouli (1981) -Pouget (1980)
C O T E P O S I T I F	<i>Retama raetam</i>	-Dunes sableuses. -Psammophile. -Sol à texture grossière à très grossière. -Fonds d'oueds sablonneux et fréquente souvent les ergs, espèce de l'aride que l'on retrouve également au niveau du bioclimat saharien supérieur froid. -Colonise les accumulations profondes (supérieur à 1 m) de sable: cordons dunaires, dunes, erg, lits ensablés des oueds sahariens.	-Quezel et Santa (1963) -Pouget (1980) -Le Houérou (1969) - Djellouli et al. (1984)
	<i>Nerium oleander</i>	-Lits des oueds, rocailles humides.	-Quézel et Santa (1963)
	<i>Asparagus horridus</i>	-Broussailles, pâturages, steppes, forêts. Du littoral jusqu'à l'Atlas saharien compris dans la moitié occidentale de l'Algérie.	Quézel et Santa (1963)

<i>Astragalus armatus</i>	-Psammophyte liée aux accumulations éoliennes -Ambiance aride et semi- aride supérieur à inférieur, espèce steppique de liaison Saharo-méditerranéenne. - Aride inférieur ou saharien. -100 < P < 400 - groupes steppiques de l'étage aride sensu lato	- Le Houérou (1969) ; Pouget (1980) -Dahmani (1997) -Djebaili (1978) -Le Houérou et Pouget (1977)
<i>Bromus rubens</i>	-Espèce de pâturage qui pousse dans la broussaille et rocaille nitrophile. -Cultigène. -Favorisée par les accumulations sableuses sous l'effet de self mulching.	-Quézel et Santa (1962) -Pouget(1980) -Kadi-Hanifi (1998)
<i>Malva aegyptiaca</i>	-Liée aux sols bruns riches en limons. -Rudérale. -Indicatrice de matorrals bas très clairs présentant un affleurement rocheux supérieur à 20% calcaire.	- Djebaili (1978) - Le Houérou (1969) - Kadik (1984),
<i>Thymelaea microphylla</i>	-Psammophyte liée aux accumulations éoliennes. -Espèce liée soit strictement, soit particulièrement à l'étage aride inférieur, saharien, groupe sociologique des steppes psammophiles, 150<P< 310 mm. - Steppe climatique et édaphique, sol sableux, texture grossière à très grossière. -200<P<300 mm, sur accumulation sableuse, pâturage.	-(Le Houérou, 1969 ; Pouget, 1980) -Celles (1975). - Pouget (1980). - Achour (1983)
<i>Euphorbia bupleuroides</i>	Plante puissante des rocailles.	-Quézel et Santa (1963)
<i>Salvia verbenaca</i>	-Etage semi-aride supérieur à aride inférieur, 100 <P <600 mm, texture sablo-limoneuse. -Psammophile. -Aride supérieur frais.	-Le Houérou (1969) -Djebaili (1978) -Djellouli (1981)

L'observation du tableau permet de constater que l'axe 1, oppose les espèces des milieux forestiers, de montagne, des sommets des hauts versants et des hauts plateaux de l'aride supérieur et du semi aride du côté négatif aux espèces des lits d'oueds sablonneux et liées aux accumulations éoliennes de l'aride, semi aride et le saharien, du côté positif.

Par conséquent, l'axe1 semble bien mettre en évidence un gradient géomorphologique, mais aussi l'influence des apports éoliens qui se manifeste par l'installation, au niveau du groupement de l'oued ensablé, de plusieurs espèces liées aux accumulations éoliennes.

Signification écologique de l'axe 2

L'axe 2 oppose les formations steppiques et matorrals du coté négatif, aux formations forestières du coté positif, le tableau -10- suivant porte les formations végétales des relevés à plus forte contribution dans les deux sens de cet axe.

Tableau –10- Caractérisation phytosociologique des relevés à forte contribution relative à l'axe 2 et leur appartenance aux groupements végétaux identifiés.

C	Relevés du groupement	Formation végétale
O T E N E G A T I F	III	
	R2	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Artemisia herba alba</i>
	R3	Steppe arborée à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R4	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Artemisia herba alba</i>
	R5	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i>
	R8	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Atractylis humilis</i>
	R22	Matorral haut à <i>Pistacia atlantica</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>
	R28	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Helianthemum hirtum</i>
	R29	Matorral bas à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R31	Matorral haut à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Pistacia atlantica</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R32	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Artemisia herba alba</i> et <i>Plantago albicans</i>
	R33	Steppe à <i>Stipa tenacissima</i>
C	Relevés du groupement	Formation végétale
O T E	II	
	R37	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R38	Forêt claire à <i>Quercus ilex</i> et <i>Lygeum spartum</i>

P O S I T I F	R39	Forêt claire à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Quercus ilex</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R40	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus ilex</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R41	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Quercus ilex</i>
	R43	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	R44	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Rosmarinus officinalis</i>
	R45	Forêt claire à <i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus halepensis</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>
	R48	Forêt claire à <i>Pinus halepensis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
	Relevés du groupement I	
	R15	Ripisylve à <i>Retama raetam</i> , <i>Thymelaea microphylla</i> et <i>Euphorbia bupleuroides</i>
R17	Ripisylve à <i>Retama raetam</i>	

L'axe 2 traduit un gradient dynamique allant du pôle négatif au pôle positif des formations dégradées ouvertes (groupement de végétation constitué essentiellement de *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba alba*, *Atractylis humilis*) à ambiance xérique, vers les formations plus couvertes et moins dégradées à ambiance forestière (groupement de végétation constitué de *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis*) et Ripisylve (groupement de végétation constitué essentiellement de *Retama raetam*, *Thymelaea microphylla* et *Euphorbia bupleuroides*)

La carte factorielle des espèces permet d'observer les espèces à plus forte contribution à l'axe 2 (figure -32-), et leur autoécologie présentée dans le tableau -11- permettra de mieux révéler la signification écologique de cet axe.

Tableau -11 - Résumé bibliographique de l'autoécologie des espèces à forte contribution à l'axe 2.

	Espèces	autoécologie	Référence bibliographique
C O T E	<i>Artemisia herba alba</i>	-Limonophile. -Dépressions non salées et glacis à sols limoneux. -Aride supérieur et moyen à hiver frais et froid, 100<P<300mm. -Steppes secondaires à la steppe de l'alfa dégradée. -Steppes argileuses, pâturages rocaillieux.	-Le Houérou (1995) -Djebaili (1984) - Bouabedellah (1991) -Pouget (1980) -Quézel et Santa (1962)
	<i>Marrubium deserti</i>	-Pâturage désertique. -Psammophile, liée au surpâturage. -aride moyen et supérieur hiver froid.	-Quézel et Santa (1962) -Le Houérou (1995) -Djellouli (1981)
	<i>Iris sisyrinchium</i>	-Steppique. -Témoigne de la xéricité du milieu. - Pelouses ; pâturages. - Culture, rudérale et surpâturage. -Steppe, aride frais et froid, sur glacis à croûte calcaire et sols sablonneux. -Steppe climatique, aride frais et froid, sur versant et surface plus ou moins encroûté, sols divers bien drainés.	-Kadi-hanifi et Loisel (1997) -Kadik (2005) -Quezel et Santa(1962) -Le Houérou (1969) -Djebaili (1978) -Pouget (1980)
N E G A T I F	<i>Eryngium campestre</i>	-Steppes, pâturages.	-Quézel et Santa (1963)
	<i>Launaea acanthoclada</i>	-Saharien froid, semi-aride froid. -Aride moy et sup. 200<P<400mm -Espèce chasmophyte et limonophile -Issue de la dégradation de la forêt et atteste d'une xéricité du climat.	-Djebaili (1978) -Le Houérou (1969) -Celles (1975) -Kadik (2005)
	<i>Androsace maxima</i>	-Pâturages, champs. -Pionnière des cultures, jachères et friches. -Espèce nitrophile indicatrice de steppisation. - Rattachée au groupe steppique.	-Quézel et Santa (1963) - Kaabeche (1990) -Kadi-Hanifi et Loisel (1997) -Le Houérou (1969)
	<i>Atractylis humilis</i>	-Steppique.	- Kadi-hanifi et Loisel (1997)

		-Liée au groupe d'espèces pélophiles des argiles et marnes et aux sols squelettiques. -Arides moyens, semi arides, surpâturages. -Semi-aride moyen froid. rattachée aux formations dégradées. -Caractérise les milieux ouverts.	- Le Houérou (1969) - Djellouli (1981) -Kadik (1983) -Dahmani (1997)
	<i>Rhaponticum acaule</i>	-Lieux sablonneux	-Quézel et Santa (1963)
	<i>Lythrum thymifolia</i>	-Dayas.	-Quézel et Santa (1963)
	<i>Ceratocephalus falcatus</i>	Pelouses arides, champs	Quezel et Santa (1962)
C O T E P O S S I T I F	<i>Pinus halepensis</i>	- Forêts. -développement optimal 350<P<700mm.	-Quézel et Santa (1962) -Kadik (2005)
	<i>Quercus ilex</i>	-Montage, surtout subcalcaire -Milieu forestier de l'aride supérieur P>300mm ; sols humifère non ou faiblement calcaire (forêt, matorral). -Aride supérieur et moyen. Relique forestière ; écotone forêt steppe.	-Quézel et Santa (1962) -Pouget (1980) -Le Houérou (1969)
	<i>Globularia alypum</i>	-Espèce liée aux forêts xériques à Pin d'Alep. -colonise les forêts claires, les garrigues, mais aussi les rocailles. -espèce des matorrals.	-Kadik (1983) - Djellouli (1981) -Kadi Hanifi et Loisel (1997)
	<i>Bromus rubens</i>	-Espèce de pâturage qui pousse dans la broussaille et rocaille nitrophile. -Cultigène. -Favorisée par les accumulations sableuses sous l'effet de self mulching.	-Quézel et santa (1963) -Pouget(1980) -Kadi-Hanifi (1998)
	<i>Rosmarinus officinalis</i>	-Garrigues, forêts claires. -Espèce des matorrals.	-Quézel et Santa (1962) -Kadik (2005) ; Kadi-Hanifi et Loisel (1997)

<i>Malva aegyptiaca</i>	-Liée aux sols bruns riches en limons. -Rudérale. -Indicatrice de matorrals bas très Clairs.	- Djebaili (1978) - Le Houérou (1969) - Kadik (1984),
<i>Thymelaea microphylla</i>	- Steppe climatique et édaphique, sol sableux, texture grossière à très grossière. -200<P<300 mm, sur accumulation sableuse, pâturage.	- Pouget (1980). - Achour (1983)
<i>Ammochloa pungens</i>	-Psammophytes. -Taxon lié à la dégradation et à la steppe.	- Djebaili (1990) - Kadik (2005)
<i>Salvia verbenaca</i>	-Etage semi-aride supérieur à aride inférieur, 100 <P <600 mm, texture sablo-limoneuse. -Psammophile. -Aride supérieur frais.	-Le Houérou (1969) -Djebaili (1978) -Djellouli (1981)
<i>Ferula vesceritensis</i>	- Rochers, Rocailles	-Quézel et Santa (1963)
<i>Astragalus armatus</i>	-Psammophyte liée aux accumulations éoliennes. -Ambiance aride et semi- aride supérieur à inférieur, espèce steppique de liaison Saharo-méditerranéenne. - Aride inférieur ou saharien. -100 < P < 400 - groupes steppiques de l'étage aride sensu lato	- Le Houérou (1969) ; Pouget (1980) -Dahmani (1997) -Djebaili (1978) -Le Houérou et Pouget (1977)
<i>Nerium oleander</i>	-Lits des oueds, rocailles humides.	-Quézel et Santa (1963)

L'axe 2 discrimine, au pôle négatif, les espèces steppiques et des pelouses de l'aride, et au pôle positif, les espèces indicatrices d'ambiance forestière (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis*) et hygrophile (*Nerium oleander*).

L'axe 2 semble de ce fait, exprimer un gradient d'ouverture de milieu et de dégradation liée à l'aridité qui provient de l'influence saharienne.

Tel qu'il a été révélé par la distribution des relevés floristiques et des espèces sur la carte factorielle, les facteurs qui régissent la répartition de la végétation étudiée sont corrélés. En effet, la géomorphologie joue un rôle crucial dans la région d'El Ghicha dans la mesure où elle permet le phénomène de compensation de facteurs favorisant ainsi le développement d'une végétation particulière en réponse à une combinaison de certains facteurs.

Les formations forestières ont été rencontrées dans une zone dite *El-Gaada*, située au Sud-Est de la partie élevée de Djebel Amour, sa structure en synclinal plat (cf. Chapitre-I. § I.2.2) et sa géomorphologie de plateaux de grés lui permet de rester en refuge des influences du climat saharien pas loin au Sud, et de recevoir les quantités de précipitations les plus importantes de la région, de plus, l'affleurement de la couche perméable (grés) permet l'absorption de l'eau de pluie et de ruissellement. C'est ce qui permet de créer une ambiance forestière favorisant le développement des espèces exigeant une quantité de précipitations annuelles supérieure à 300 mm, telles que, le pin d'Alep et le chêne vert. En effet, cette zone constitue la limite méridionale de l'extension de ces essences.

Vient par la suite, la partie méridionale de la montagne caractérisée par des dépressions qui descendent vers le sud, la localité échantillonnée de la zone est dite *Enfous*, l'aridité commence à se faire sentir avec la disparition des espèces forestières, et l'ensemble de la végétation se présente sous forme de matorrals composés essentiellement de *Stipa tenacissima*, *Juniperus Phoenicea* et *Pistacia atlantica*.

Toujours dans la partie méridionale en allant un peu plus vers le Sud, dans la localité de Chouabir, sur le versant Nord de l'anticlinal qui borde la plate forme saharienne, le couvert est de moins en moins abondant illustrant de plus en plus l'influence saharienne. On peut encore voir quelques genévriers rouges très dispersés parmi les touffes d'alfa, quelques pistachiers aussi. A ce niveau, la formation de matorral disparaît pour laisser la place à la steppe arborée et à la steppe, c'est l'alfa qui domine, avec parfois quelques touffes de *Artemisia herba alba*. Cette station est la plus dégradée parmi celles que nous avons échantillonnées. Ceci est témoigné par la présence de plusieurs espèces liées à la dégradation (*Iris sisyrinchium*, *Marrubium deserti*, *Androsace maxima*, *Atractylis humilis*, *Eryngium campestre*, *Micropus bombycinus*).

Cet aspect de steppe, est contrasté par une cluse creusée transversalement dans l'anticlinal par l'Oued Reddad. C'est le *Foum Reddad* qui forme un anticlinal coffré, le

recouvrement végétal est plus abondant avec *Retama raetam*, *Thymelaea microphylla*, *Nerium oleander* et *Pistacia atlantica* (avec les espèces *Tamarix articulata*, *Zizyphus lotus* qui ont été signalé mais n'ont pas été échantillonnées, cf. Chapitre-II-) qui donne de loin l'illusion d'une forêt-galerie dans l'oued. Cette végétation est favorisée par les courts d'eau temporaires à la saison des pluies. Les apports éoliens sont importants au niveau de cette zone et favorisent le développement de nombreuses espèces psammophiles.

En conclusion, la géomorphologie constitue un facteur important dans la distribution de la végétation d'El-Ghicha, plusieurs facteurs sont corrélés à ce facteur et façonnent à leur tour les formations végétales. Parmi lesquels l'aridité liée à l'influence saharienne forme un facteur très discriminant.

A l'issue de la détermination des principaux facteurs qui régissent la végétation de la région d'El Ghicha, la partie suivante se penche sur l'évaluation de la diversité floristique des différents groupements végétaux.

II. Evaluation qualitative et quantitative de la biodiversité des groupements végétaux

II.1. Composition systématique

L'ensemble des relevés floristiques réalisés nous a permis de recenser 81 espèces appartenant à 68 genres et 33 familles (tableau -12-). La liste de ces espèces est fournie en annexe selon la nomenclature de Quézel et Santa (1962-1963) et actualisée d'après l'Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord (Dobignard et Chatelain, 2010-2013). 25 parmi les 81 espèces collectionnées ont des nouvelles appellations.

Tableau-12 - Listing des familles en fonction du nombre de taxons et genres.

N°	Familles	Genres	Espèces	N°	Familles	Genres	Espèces
01	Alliaceae	2	3	18	Geraniaceae	1	2
02	Amaranthaceae	2	2	19	Globulariaceae	1	1
03	Anacardiaceae	1	1	20	Lamiaceae	4	4
04	Apiaceae	2	2	21	Papaveraceae	2	2
05	Astéraceae	13	15	22	Paronychioideae	2	2
06	Boraginacea	1	1	23	Plantaginaceae	1	3
07	Brassicaceae	5	6	24	Poaceae	8	9
08	Cistaceae	1	4	25	Primulaceae	1	1
09	Crassulaceae	1	1	26	Pinaceae	1	1
10	Cupressaceae	1	1	27	Renonculaceae	1	1
11	Dipsacaceae	1	1	28	Rubiaceae	1	1
12	Euphorbiaceae	1	2	29	Resedaceae	1	1
13	Fabaceae	5	6	30	Thymelaeceae	1	1
14	Fagaceae	1	1	31	Zygophyllaceae	1	1
15	Apocynaceae	1	1	32	Lythraceae	1	1
16	Hyacinthacea	1	1	33	Malvaceae	1	1
17	Iridaceae	1	1				
TOTAL						68	81

Les familles représentées dans notre dition représentent 26.83% des familles présentes dans la flore de l'Algérie et les 68 genres représentent 7,60 % (Tableau -13-).

Tableau -13- Comparaison des groupes systématiques de la flore d'Algérie et celle du présent travail

	Flore de l'Algérie Selon Dahmani et Kadi-hanifi (1998)	Fréquence absolue Flore de notre étude	Fréquence relative (%) Flore de notre étude
Famille	123	33	26.83
Genres	894	68	7.60

Les familles les mieux représentées sur le plan spécifique et générique sont les **Astéracées**, avec 13 genres et 15 espèces soit un taux de représentation de 18.52% du total des taxons, suivies par les **Poacées** (8 genres et 9 espèces) avec un taux de 11.11%, et les **Brassicacées** et **Fabacées** qui arrivent en troisième position avec le même nombre de genres (5) et d'espèce (6) soit un taux de représentation de 7.41% pour chacune des deux familles. Ce qui donne pour les quatre familles 31 genres soit 45,58 % et 36 espèces soit 44,44% de l'ensemble des espèces inventoriées. Notons aussi que sur l'ensemble des familles, 18 ne sont représentées que par un seul genre dans lesquels 14 familles sont figurées par une seule espèce, soit un taux de 1% pour chaque famille (Figure –33-).

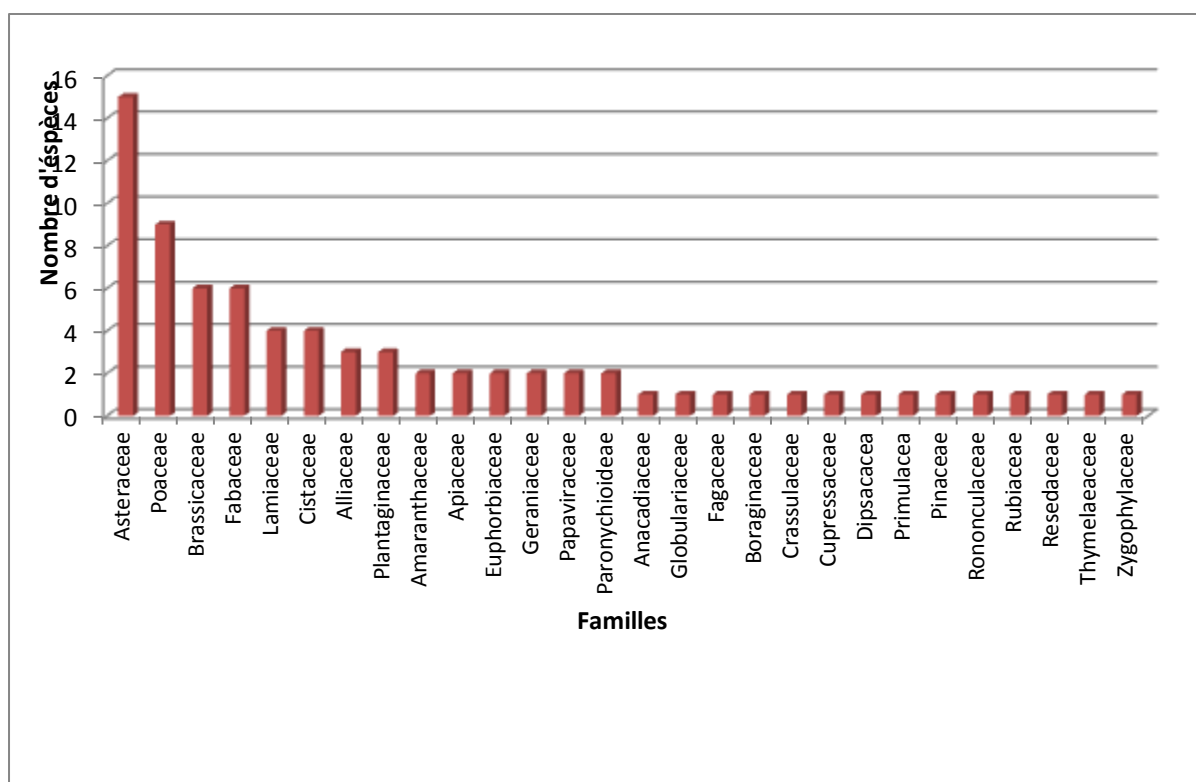


Figure -34- Répartition des espèces au niveau des familles

Ces résultats rejoignent ceux de Le Houérou (1995), Aidoud-Lounis (1997), et Dahmani (1997) ce sont les mêmes familles représentatives qui ressortent mais dans un ordre différent. Néanmoins nos résultats sont similaires à ceux de Aidoud-Lounis (1997) pour l'ordre de représentativité des quatre premières familles (tableau -14-).

Tableau -14- Classement des familles selon différents auteurs.

Le Houérou (1995)	Aidoud-Lounis (1977)	Dahmani (1997)	Présente étude (2014)
Asteraceae	Asteraceae	Asteraceae	Asteraceae
Fabaceae	Poaceae	Fabaceae	Poaceae
Poaceae	Brassicaceae	Poaceae	Brassicaceae
Brassicaceae	Fabaceae	Brassicaceae	Fabaceae

II.2. Evaluation qualitative de la diversité floristique

Les formes de vie des végétaux représentent un outil privilégié pour la description de la physionomie et de la structure de la végétation. Elles sont considérées, comme une expression de la stratégie d'adaptation de la flore et de la végétation aux conditions de milieu (Dahmani, 1997). Pour cela, nous allons exprimer la distribution des différents types biologiques dans les groupements végétaux identifiés, selon la conception de Raunkiaer (1934), par leur seule présence. Les proportions obtenues sont représentées par « un spectre biologique brut » ou par l'utilisation d'un paramètre de pondération, celui de l'abondance-dominance, pour concevoir « un spectre biologique réel ».

2.1. Les spectres biologique bruts

La répartition des types biologiques (Figure -34-) dans les formations forestières et ripisylves, suit le schéma suivant :

Th > Ch > He > Ph > Ge

Dans les matorrals et les formations steppiques, les géophytes sont en nombre supérieur à celui des phanérophytes :

Th > Ch > He > Ge > Ph

Pour tous les types de formations forêt claire, ripisylve, matorral, steppe arborée et steppe, les thérophytes présentent la proportion la plus élevée, ce qui témoigne d'une forte action anthropique dans l'ensemble de la région d'étude.

Malgré l'importance des thérophytes, les chaméphytes gardent une place particulièrement importante dans le groupement des matorrals et formations steppiques (45%), le taux s'amointrit dans les forêts claires (25%) et dans le lit d'oued (19%).

Le nombre des Hémicryptophytes reste moins important que celui des thérophytes et chaméphytes dans toutes les formations, par contre elles sont plus fréquentes dans la forêt

claire et la végétation du lit d'oued (16 et 17 %, respectivement) par rapport aux matorrals et steppes (8%).

Les géophytes sont les moins bien représentées dans les formations forestières et ripisylve, alors qu'elles devancent les phanérophytes dans les formations steppiques et matorral.

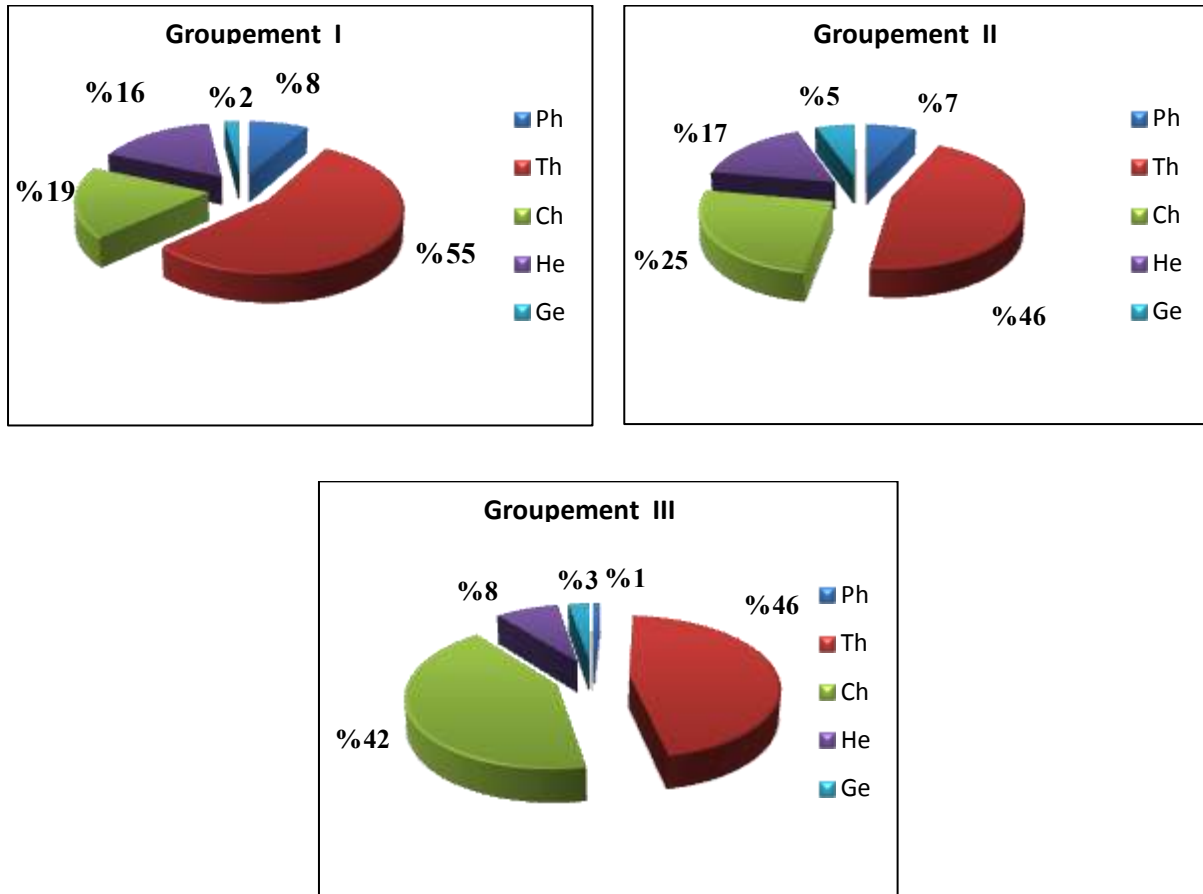


Figure -35- : Spectres biologiques bruts des différents groupements

Nous assistons, alors, à une thérophytisation dont plusieurs causes peuvent être à l'origine, d'une part l'aridisation (Sauvage, 1961 ; Gaussen, 1963 ; Negre, 1966 ; Daget, 1980 ; Aidoud, 1983 ; Barbero et al., 1990 ; Dahmani, 1997 ; Kadi-Hanifi, 1998 ; Amghar, 2012) et d'autre part l'anthropisation Aidoud (1983). En effet, selon ce même auteur, le pâturage enrichit le sol en nitrates et permet le développement des rudérales, notamment les annuelles. Selon Daget (1980) cette thérophytisation constitue une caractéristique des zones arides et exprime une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques.

Cette thérophytisation est due aussi due, au phénomène de *self-mulching* (Kadi-hanifi, 1998), mécanisme se produisant dans les zones à forte évaporation où les sols couverts de sable permettent l'infiltration totale des eaux de pluies et la réduction de l'évaporation (Pouget, 1980). Ce phénomène permet l'emmagasinement de l'eau et favorise ainsi le développement des annuelles. C'est ce qui expliquerait une légère augmentation du taux des thérophytes dans le groupement I correspondant à l'Oued ensablé par rapport aux deux autres groupements.

Egalement, la chamaephytisation, selon (Floret et *al.*, 1990), a pour origine le phénomène d'aridisation. En effet, les chaméphytes s'adaptent mieux à la sécheresse estivale et à la lumière (Danin et *al.*, 1990). Le pâturage favorise aussi de manière globale les chaméphytes refusés par les troupeaux (Kadi-Hanifi, 1998 ; 2003), comme *Thymelaea microphylla* et *Astragalus armatus*. Le taux des chaméphytes est le plus important dans le groupement III correspondant aux formations steppiques et matorrals, ce qui témoigne la forte pression anthropozoiqque exercée sur cette zone. Et expliquerait que celle-ci était la plus dégradée parmi celles que nous avons étudiées, tel que nous l'avons déjà cité.

La distribution des hémicryptophytes, plus fréquentes dans la forêt et l'oued, s'explique selon Dahmani (1997) par une plus grande richesse en matière organique en milieu forestier et des conditions hydriques favorables du sol du lit d'oued.

Enfin, le fait que les géophytes sont plus représentées que les phanérophytes dans formations steppiques et matorral à l'inverse des autres groupements, s'expliquerait par la forte fréquence de l'alfa dans ces formations plus dégradées.

2.2. Spectres biologiques réels

Contrairement au spectre biologique brut, pour lequel nous avons une allure assez homogène pour toutes les formations étudiées, le spectre biologique réel présente des proportions très variables en fonction du degré de maturité des structures étudiées (Dahmani, 1997) et exprime mieux la réalité des formations.

L'observation majeure qui ressort de l'analyse des spectres biologiques réels (figure-35-), est la faible place qu'occupent les thérophytes dans le recouvrement du sol malgré leur abondance numérique démontrée par les spectres biologiques bruts. Ceci est dû à leur faible recouvrement et pourrait signifier que ces espèces, favorisées pas l'action anthropique et à pouvoir envahissant très élevé ne constituent pas encore des populations importantes pour arriver par compétition à se substituer complètement à une flore originelle (Dahmani, 1997). Daget et *al.* (1977) soulignent à ce propos que « souvent les thérophytes sont de nombreuses espèces rares ».

Nous notons également une nette dominance des phanérophytes dans les groupements I et II cette dominance est liée à la forte présence de *Retama raetam*, *Nerium oleander* et *Pistacia atlantica* pour le groupement I, et la présence des espèces forestières *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, des espèces de matorral *Globularia alypum* et *Rosmarinus officinalis* et des espèces présteppiques, *Juniperus phoenicea* et *Pistacia atlantica* pour le groupement II.

Le taux des phanérophytes diminue avec l'aridité dans le groupement III, et on assiste presque à une codominance des phanérophytes et des géophytes, ce qui convient bien aux formations dégradées de ce groupement (matorral, steppe arborée et steppe) et s'expliquerait par la contribution au tapis végétal de *Stipa tenacissima* avec les espèces présteppiques *Juniperus phoenicea* et *Pistacia atlantica*. D'autres géophytes que l'alfa, sont aussi présentes dans ce groupement il s'agit de *Iris sisyrinchium*, *Asparagus acutifolius* et *Asparagus acutifolius*.

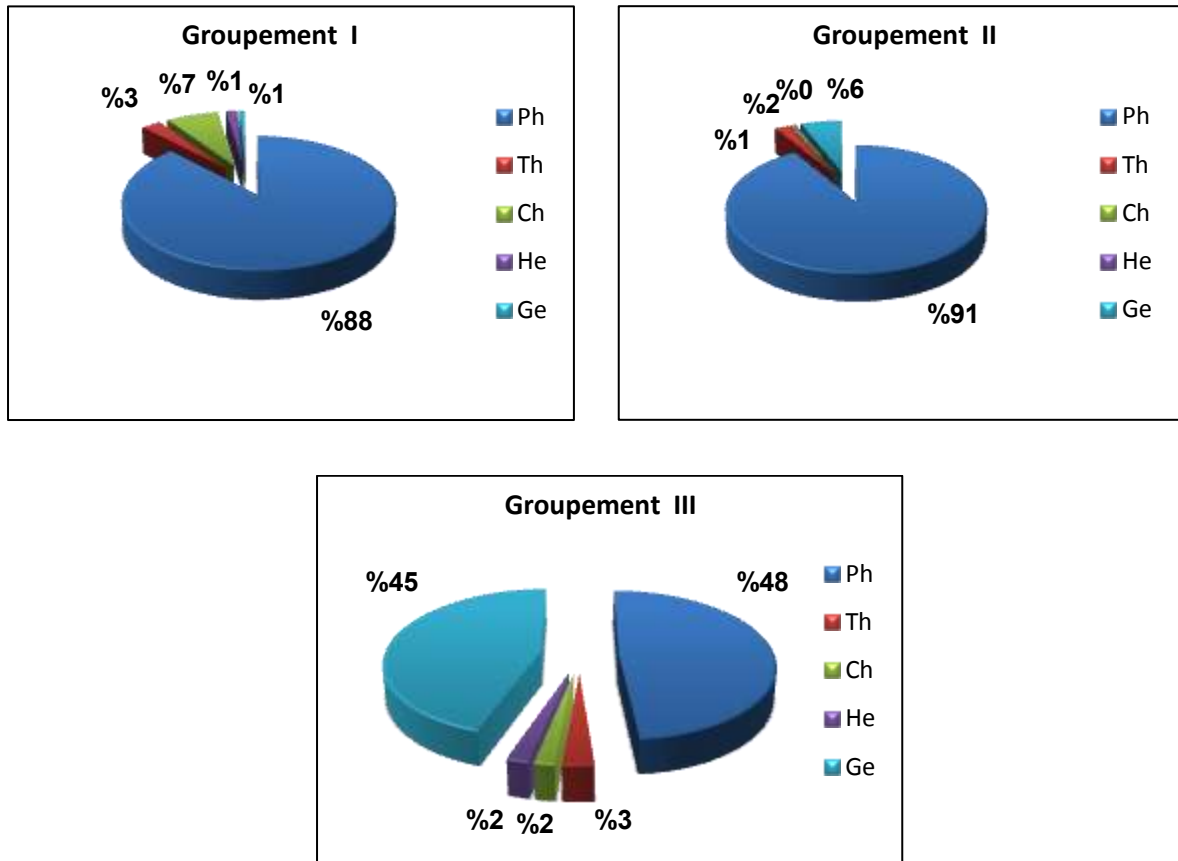


Figure –36- Spectres biologiques réels des différents groupements

Les géophytes ne sont que faiblement représentées dans le groupement I et II. L'alfa n'est pas dominant dans ces groupements où le couvert végétal est plus important et constitué essentiellement de phanérophytes.

Les chaméphytes sont plus représentés dans le lit d'oued que les autres formations, et ceci est dû à l'abondance de *Euphorbia bupleuroides*, *Thymelaea microphylla*, *Astragalus armatus*, *Peganum harmala* et *Hypocoum procumbens*.

A l'issue de cette analyse des spectres biologiques nous constatons à travers les spectres bruts qui donnent la contribution des types biologiques à la richesse spécifique une prépondérance des thérophytes. Cette thérophytisation est d'autant plus importante que l'augmentation de l'influence des apports éoliens. D'un autre côté la chamaephytisation semble être l'expression de la résistance à la dégradation du milieu liée l'aridité. Pour les spectres réels qui expriment la participation des types biologiques au tapis végétal, les

phanérophytes dominant dans les groupements des formations forestières et ripisylve grâce à la forte présence de pin d'Alep, chêne vert, genévrier rouge, pistachier de l'Atlas et le romarin dans le premier, et la présence des nanophanérophytes ripisylves telles que, les lauriers roses et les genêts dans le deuxième. Alors que dans le groupement des matorrals, steppes arborées et steppes, les géophytes occupent la même position que les phanérophytes. Cette importance des géophytes est due essentiellement à l'omniprésence de l'alfa.

2.3. Spectres biogéographiques

Notre zone d'étude correspond au domaine steppique nord-africain tel que défini par Quézel (1978), bordé au sud par le domaine Nord-Saharien de la région saharo-arabe ; elle appartient à la région méditerranéenne. La flore méditerranéenne actuelle correspond à divers ensembles hétérogènes liés à la paléo-histoire de la région. Son fond floristique est constitué par des éléments de souche méridionale (tropicale) et des éléments extra-tropicaux de souche autochtone et septentrionale. L'existence de microplaques depuis au moins le Crétacé, a rendu possible de nombreux échanges entre ces deux ensembles, mais a permis également le développement d'une riche flore endémique, à la faveur d'une extrême hétérogénéité des substrats, de la géomorphologie, mais aussi du climat (Quezel, 1999).

L'analyse des spectres biogéographiques établis pour notre zone d'étude (figure-36-), montre que l'élément méditerranéen autochtone est de loin le plus important pour chacun des trois groupements végétaux, ce qui est corroboré par les propos de Le Houérou (1995) qui estime l'élément méditerranéen à 59 % dans les formations steppiques du Nord de l'Afrique.

La proportion des endémiques occupe la deuxième position pour les trois groupements avec 13% pour la végétation du lit d'oued et 11% pour les formations forestières et le groupement incluant les matorrals et les formations steppiques. C'est le taux indiqué pour les formations à chêne vert (Dahmani, 1997) et les formations steppiques (Amghar, 2002-2012).

L'élément euro-asiatique occupe une proportion qui oscille entre 9 et 10%, dans l'ensemble des formations, ce qui témoigne d'une richesse modérée de notre station par cet élément.

L'élément Saharo-Arabique occupe la quatrième position. Selon Quézel (1995) « Les lignées Saharo-Arabs sont à peine présentes en région méditerranéenne ». Il est toutefois

évident vue la sécheresse et l'action anthropique, qu'elles progressent vers le nord notamment en Oranie et au Maroc oriental où la limite du Sahara se superpose sensiblement à l'heure actuelle à l'isohyète 150 mm et non plus à 100 mm (Quézel et Barbero, 1993). En Algérie orientale cet élément tend à disparaître selon Le Houérou (1995), ceci est dû au « m », en effet dès que « m » est inférieur à 3 °C les taxons tropicaux disparaissent.

L'élément de liaison (connecting species), est un élément qui comprend des espèces dont l'aire de répartition chevauche sur deux régions floristiques contigües. Il se trouve que malgré leur importance pour individualiser les régions naturelles, elles posent des difficultés quant à la réalisation des spectres phytochoriques (Quezel, 1978). ce même auteur propose de répartir équitablement leurs fréquences entre les deux régions concernées. Tandis que Ozenda (1977) suggère de les regrouper sous le nom d'espèces de liaison ou bien groupe de liaison. Pour notre cas nous avons retenu celle proposée par le deuxième auteur. Les proportions des différents types phytochoriques qui forment ce groupe sont réparties entre Euro-Méditerranéen (E-M), Méditerranéo-Saharo-Arabique (M-S-A) et Méditerranéo-Irano-Touranien.

L'élément irano-touranien est faiblement représenté au niveau du groupement 2. Le faible pourcentage obtenu rejoint les conclusions de Aidoud (1983) et de Bouzenoune (1984), qui parlent d'une faible contribution des irano-touraniennes dans les groupements steppiques du sud oranais.

Selon Quézel (1995), l'élément irano-touranien « ...existé en fait très tôt sur le pourtour méditerranéen, à l'occasion de phases climatiques sèches et froides et au moins depuis le miocène ». Les Irano-touranniennes sont mal représentées en Afrique septentrionale avec seulement une quarantaine de taxons (Quézel, 1983).

L'élément plurirégional est présent uniquement au niveau des groupements 1 et 3, il est estimé à 2% pour le premier groupement et à 3% seulement pour le troisième groupement.

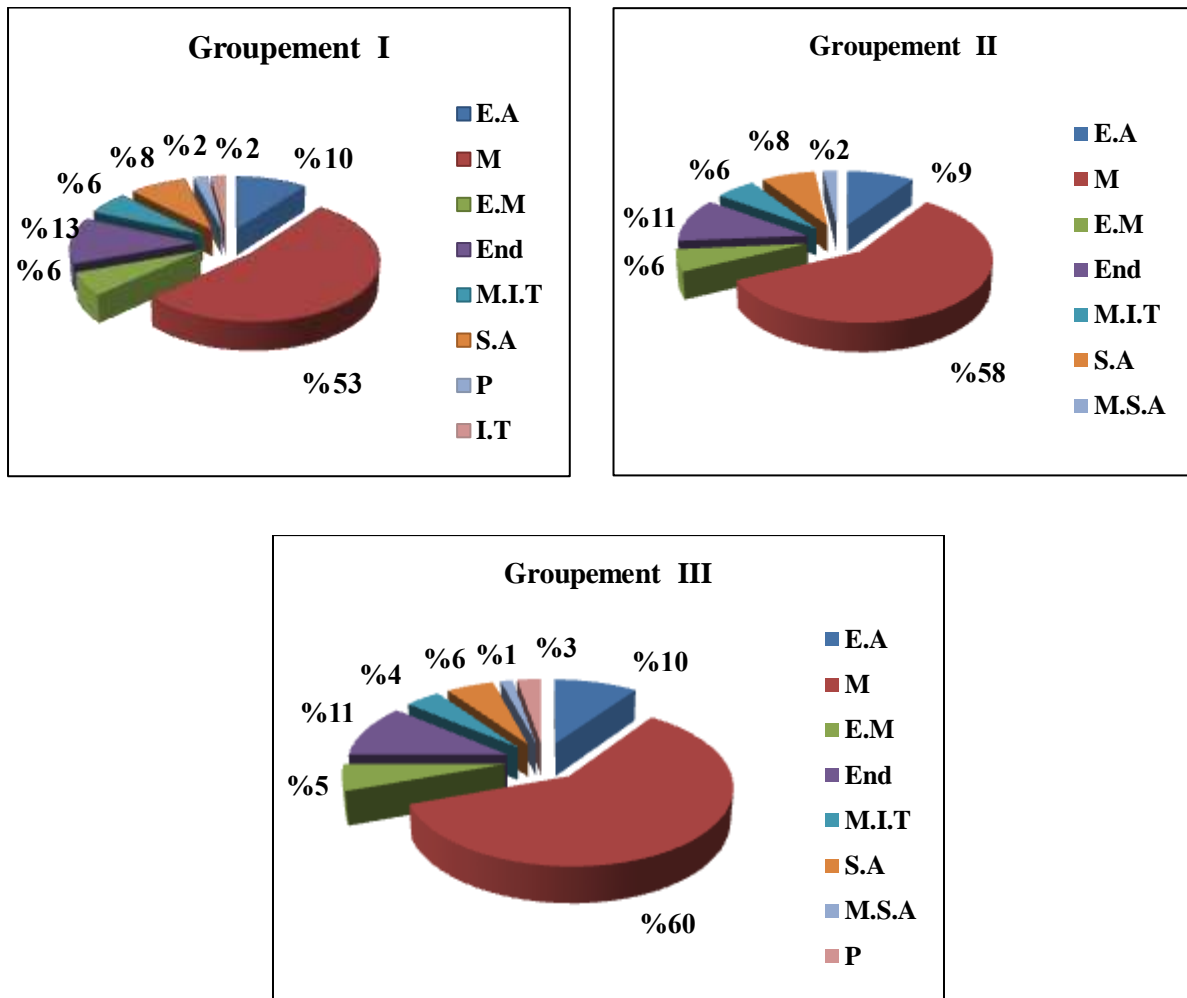


Figure -37- Spectres biogéographiques des différents groupements

II.3. Evaluation quantitative de la diversité floristique

La diversité d'une communauté doit être considérée comme une notion qui recouvre d'une part la diversité spécifique (nombre d'espèce) et d'autre part la façon dont se répartissent ces individus dans un espace donné, elle doit tenir compte alors, de l'équitabilité (régularité).

L'indice de Shannon a des valeurs fortes pour des espèces avec des recouvrements de même importance et il prend des valeurs faibles lorsque quelques espèces ont de forts recouvrements, alors que l'équitabilité tend vers 0 quand une espèce a un très fort recouvrement et tend vers 1 lorsque toutes les espèces présentent la même importance.

Les résultats quantitatifs obtenus pour les trois groupements végétaux sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau -15- Résultats quantitatifs de la diversité floristique des trois groupements.

	Groupement I	Groupement II	Groupement III
La richesse spécifique	49	53	72
Indice de Shannon (H')	1,86	1,98	2,27
Indice d'équitabilité (E)	0,33	0,34	0,36

L'analyse du tableau -15- montre que la richesse floristique varie de 49 à 72, l'indice de diversité spécifique de Shannon (H') de 1,86 à 2,27 et l'équitabilité (E) de 0,33 à 0,36.

Les formations des matorrals, steppes arborées et steppes ont les valeurs les plus élevées de la richesse et de l'indice de Shannon.

Nous pouvons de ce fait constater, qu'avec l'anthropisme les trois indices augmentent (Amghar, 2002), En effet il est connu que la richesse floristique est favorisée par la perturbation du pâturage. Et comme généralement les milieux pâturés sont ensablés ; ce sable par l'effet du self-mulching favorise le développement des thérophytes qui non seulement augmentent la richesse floristique mais aussi l'équitabilité.

Soulignons aussi l'importance de l'action anthropique par les excréments des troupeaux qui contribuent à l'enrichissement du sol en matière organique permettant ainsi le développement des thérophytes qui présentent un pouvoir envahissant très élevé (Daget et al , 1977). D'après (Le Houérou 1992), les plantes à cycle court permettent de mieux faire face à cette variabilité.

III. Structuration des communautés végétales de la région d'El Ghicha

Parmi les objectifs de ce travail, l'acquisition d'une meilleure compréhension de la structuration des communautés végétales du site étudié. Pour cela, la démarche expérimentale a été conçue dans un but de définir les réponses des espèces de plantes à l'environnement et aux interactions biotiques et l'effet des espèces clés de la région.

Les changements de l'environnement ont été simulés par des variations en altitude, qui constitue un facteur abiotique complexe présentant des variations pour d'autres facteurs qui peuvent mieux expliquer la performance et la distribution des individus et des espèces. Dans un but de prédiction de la réponse des espèces à des changements globaux, il est important de mieux comprendre la réponse des organismes à ces facteurs covariants avec l'altitude. Ces facteurs peuvent être d'ordre climatique (températures, vents, radiation, pluviométrie...etc.) et constituent un facteur de stress abiotique ou d'ordre anthropozoïque (le pâturage) et constituant alors un facteur de perturbation biotique.

Dans notre dition, nous nous sommes intéressés à la pluviométrie, qui influe directement sur la ressource en eau, elle est ici exprimée alors, par l'humidité volumique du sol comme facteur de stress, et la prédation par le pâturage comme facteur de perturbation. L'étude des réponses des communautés et des espèces le long de gradient altitudinal refléterait donc aussi un gradient de stress abiotique ainsi qu'un gradient de perturbation biotique. La réponse à ces trois gradients à l'échelle de la communauté ainsi qu'à l'échelle spécifique a été étudiée.

III.1. A l'échelle de la communauté

Pour mettre en évidence l'effet du gradient altitudinal sur la structuration des communautés végétales et le rôle du type du microsite, il est important d'analyser la variation de la composition spécifique le long du gradient d'altitude et l'effet du type de microsite (touffe, ouvert, arbre) sur cette composition.

Pour ce but, la composition spécifique des microsites a été assimilée aux scores des relevés microsites sur l'un des axes de la carte factorielle espèces x microsites. Par la suite, des nuages de points sont établis pour les scores des relevés en fonction de l'altitude catégorisés par microsites.

L'observation du graphique produit (figure -37 -) permet de mettre en évidence les changements dans la composition spécifique le long de gradient d'altitude pour chaque microsite. La composition spécifique change fortement le long du gradient altitudinal dans les microsites arbre ($r = 0.49$; $p < 0.01$) et touffe ($r = 0,44$; $p < 0.05$) par rapport au microsite ouvert ($r = 0.27$; $p < 0.1$). La présence d'un abri biotique fourni par l'arbre ou la touffe implique alors un changement dans la communauté des espèces le long d'un gradient altitudinal.

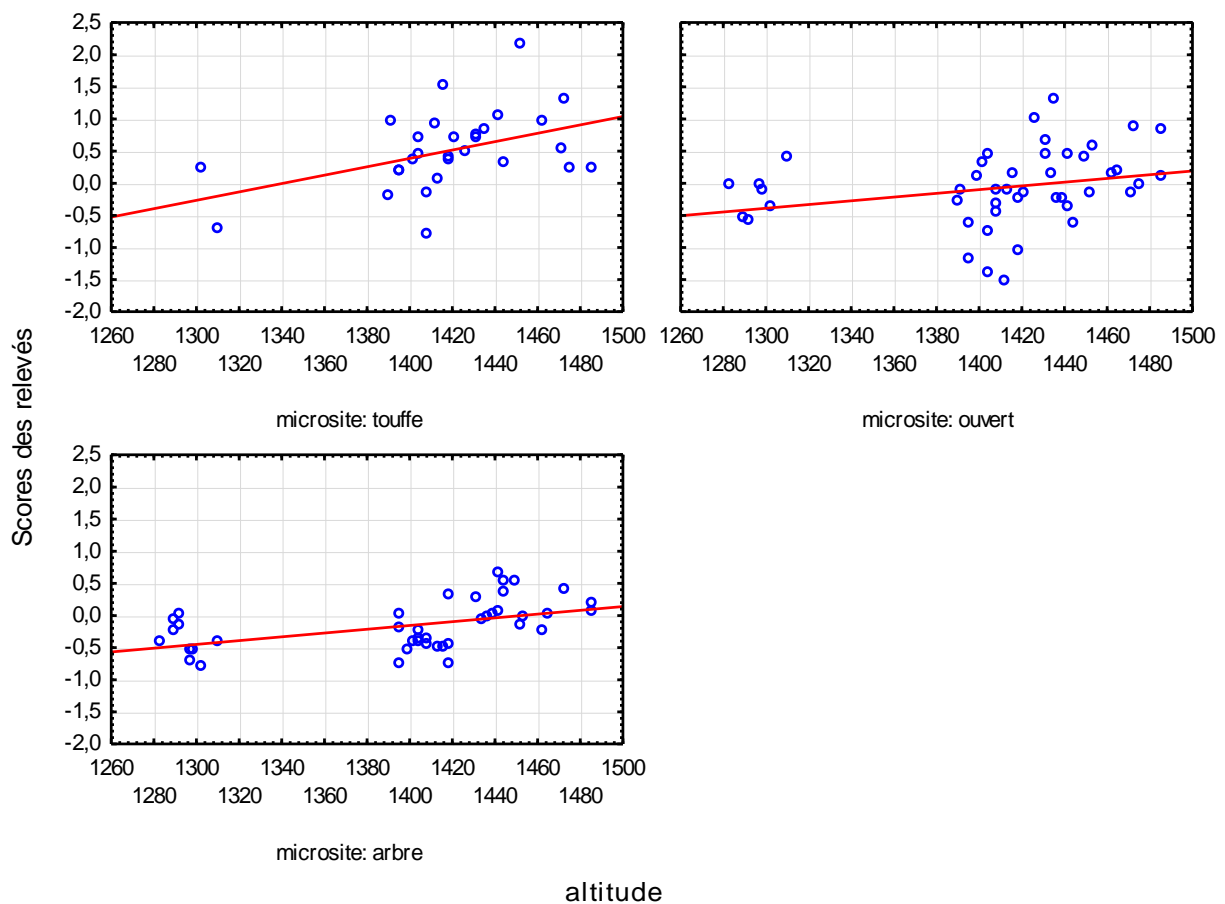


Figure - 38 - Nuages de points de scores des relevés en fonction de l'altitude catégorisés par microsite (microsite touffe : $r = 0,4404$, $p = 0,0168$; microsite ouvert : $r = 0,2705$; $p = 0,0723$; microsite arbre : $r = 0,4926$; $p = 0,0011$)

Le gradient abiotique est aussi exprimé par l'humidité de sol. Une analyse de la variation de la composition spécifique des microsites le long de gradient d'humidité volumique de sol a été effectuée par le biais de graphiques de nuages de points des scores des relevés en fonction de l'humidité de sol catégorisés par microsite (figure -38 -).

Ces graphiques montrent, de nouveau, que la présence du microsite arbre change significativement la composition de la végétation le long d'un gradient d'humidité ($r = -0,31$; $p < 0,05$). La relation pour les autres microsites étant non significatives ($p > 0,1$).

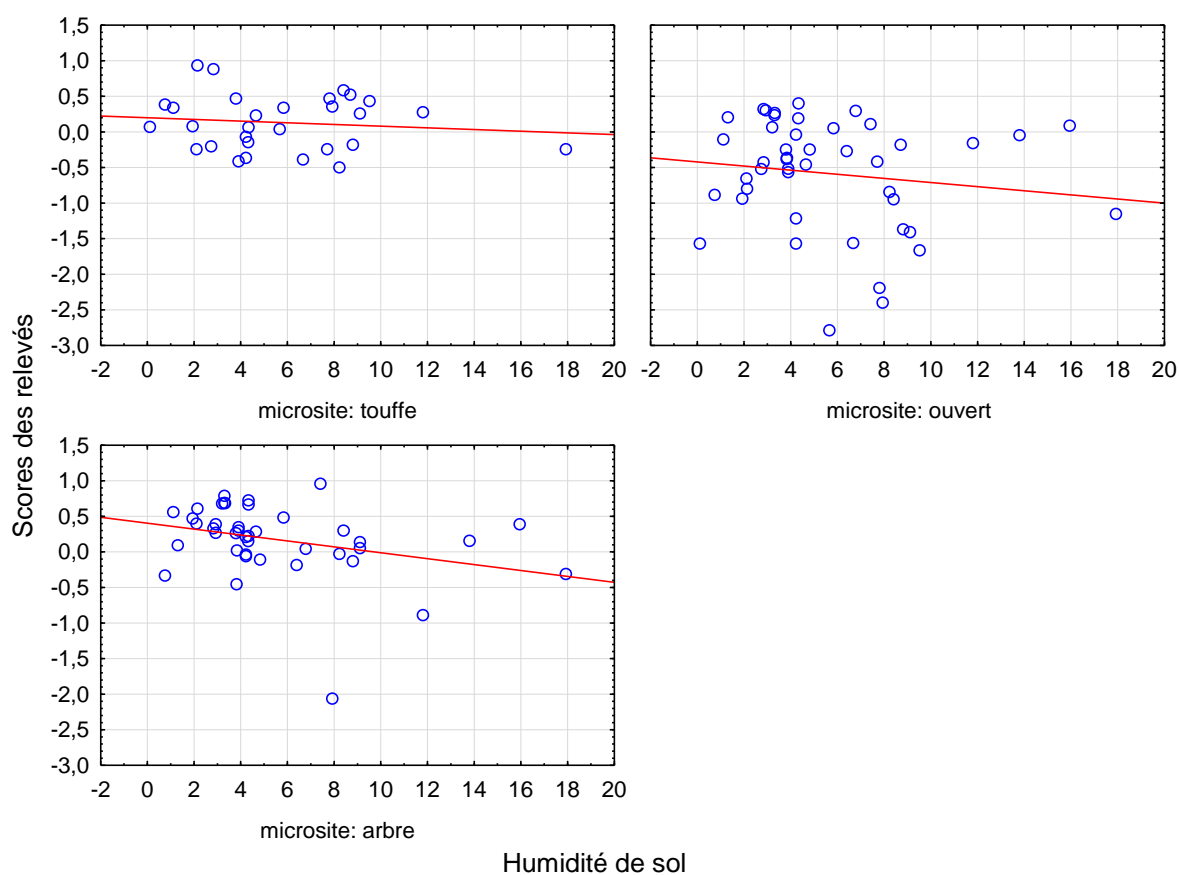


Figure - 39 - Nuages de points de scores des relevés en fonction de l'humidité de sol catégorisés par microsite (microsite touffe : $r = -0,1183$, $p = 0,5409$; microsite ouvert : $r = -0,1429$, $p = 0,3491$; microsite arbre $r = -0,3118$; $p = 0,0472$)

Afin de vérifier l'effet de l'interaction *microsite*altitude* ou *microsite*humidité de sol* sur la composition spécifique, une analyse GRM a été utilisée avec les scores des relevés comme variable dépendante, l'altitude ou l'humidité comme prédicteur continu et le microsite comme prédicteur catégoriel. Les résultats (tableaux -16 - et -17 -) révèlent un effet

d'interaction significatif entre les microsites et l'altitude et les microsites et l'humidité de sol, indiquant que le microsite affecte différemment la composition spécifique le long d'un gradient de stress abiotique.

Tableau -16 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'altitude, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la composition spécifique.

	Scores des relevés	
	β	<i>P</i>
Altitude	-0,18	*
Microsite touffe	0,26	*
Microsite ouvert	-0,23	(*)
Microsite arbre	0,28	*
Microsite touffe*altitude	0,25	*
Microsite ouvert* altitude	-0,24	*
Microsite arbre *altitude	0,30	*

β , coefficient de régression

* $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$

Tableau – 17 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la composition spécifique.

	Scores des relevés	
	β	<i>P</i>
Humidité	-0,075	ns
Microsite touffe	0,26	*
Microsite ouvert	-0,22	(*)
Microsite arbre	0,32	*
Microsite touffe *humidité	0,18	*
Microsite ouvert* humidité	-0,30	***
Microsite arbre * humidité	0,17	(*)

β , coefficient de régression

*** $P < 0,0001$; * $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$; ns, non significatif

Le microsite arbre ou touffe constituent un abri biologique qui tamponne l'impact du stress abiotique sur les plantes et peut donc pousser le changement de composition spécifique des plantes en fonction du niveau du stress. Ce changement s'explique par une augmentation de la richesse spécifique sous l'abri à une extrémité du gradient, qui reflète une interaction de facilitation entre l'espèce constituant l'abri et les espèces qui poussent sous son couvert végétal tandis que, le changement de la composition spécifique dans le microsite ouvert implique l'installation des espèces tolérantes qui restent en dehors de cet abri biotique.

En zone semi-aride, il a été mis en évidence que l'arbre agit sur la structure spécifique de la végétation herbacée en modifiant sa composition et son recouvrement (Akpo, 1993; Akpo & Grouzis, 1997). La richesse spécifique est plus élevée sous l'arbre (Grouzis et al., 1991) la production de phytomasse herbacée épigée est deux à trois fois plus importante (Akpo, 1993; Bernhard-Reversat, 1982). Les raisons majeures de l'effet favorable de l'arbre sur la strate herbacée sont particulièrement la réduction de l'évapotranspiration et le relèvement de la fertilité du sol (Akpo et al., 2004). Différents facteurs peuvent être associés à ce processus d'accroissement de la fertilité du sol sous ombrage comme: l'apport de litière par l'arbre et l'herbe (Bernhard-Reversat, 1982), l'apport d'éléments par les précipitations (Kellman, 1979) et la redistribution d'éléments nutritifs en surface à partir des horizons profonds (Bosch et Van Wyk, 1970; Charley et Cowling, 1986) et iv) l'apport d'éléments fertilisants par les animaux domestiques (Akpo, 1993) et les oiseaux (Tréca et al., 1996). Toutes ces interactions positives favorisent le processus de facilitation (Maestre et al. 2001; Callaway & Pennigs 2000; Michalet 2006; Calaway 2007; Brooker et al., 2008; Cuesta et al. 2010).

Egalement, les microsites touffes fournis par *Stipa tenacissima*, constituent selon Cortina et al., (2012) « **des îles de fertilité** » au niveaux des zones arides et semi arides qui collectent eau, propagules, sédiments et nutriments. La concentration élevée de biomasse et de litière dans la touffe d'alfa, associée à la rétention d'eau et des sédiments provenant des flux de ruissellement et l'amélioration du microclimat assurée par l'ombre, favorise la création d'un microenvironnement aux alentours des touffes se distinguant nettement des sites nus avoisinants. En effet, le sol sous les touffes d'alfa se caractérise par un faible compactage, une proportion supérieure de sable, des teneurs supérieures en matière organique et en humidité après la pluie, ainsi que par un nombre de propagules mycorhiziennes supérieur à celui des

sites inter-touffes adjacents. Le microenvironnement créé par les touffes d'alfa est exploité par de nombreuses espèces de plantes.

La richesse spécifique dans les microsites serait alors, aussi une variable importante pour vérifier l'effet du microsite sur le stress abiotique (altitude, sécheresse). Les tableaux (-18- et -19-) présentent l'analyse GRM de l'effet d'interaction microsite*altitude et microsite*humidité sur la richesse spécifique.

Tableau -18 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'altitude, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la richesse spécifique.

Richesse spécifique		
	β	<i>P</i>
Altitude	0.008	ns
Microsite touffe	-0.25	*
Microsite ouvert	-0,22	(*)
Microsite arbre	0,31	**
Microsite touffe *altitude	-0,25	*
Microsite ouvert * altitude	-0,22	(*)
Microsite arbre *altitude	0,31	**

β , coefficient de régression

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$; ns, non significatif

L'effet d'interaction sur la richesse spécifique est très significatif entre le microsite arbre et l'altitude et significatif pour les microsites touffe et ouvert, indiquant que les microsites affectent différemment la richesse spécifique le long de gradient altitudinal, en particulier le microsite arbre.

Plus précisément, la facilitation par le microsite arbre et/ou touffe dépend du niveau de stress abiotique. Elle est plus importante quand les conditions abiotiques sont plus contraignantes. A des altitudes élevées, le stress abiotique est plus important, la température, l'exposition au vent, le niveau d'ensoleillement ou l'instabilité du sol peuvent limiter la croissance des plantes plus que la disponibilité des ressources (Callaway et *al.*, 2002). L'amélioration de ces contraintes sévères par le voisinage peut favoriser la croissance des

plantes. Le mécanisme de facilitation par l'espèce nurse (arbre ou touffe) à des altitudes élevées est donc principalement lié à l'amélioration de la structure physique de l'habitat.

Plusieurs expériences ont permis de mettre en évidence une augmentation des relations de facilitation en réponse à un gradient de sévérité lié à l'altitude (LeRoux et McGeoch 2008 ; Callaway et *al.*, 2002) ainsi que le long d'un gradient altitudinal et de sévérité lié à une situation méso-topographique plus exposée aux rigueurs environnementales (Choler et al. 2001).

Cependant, le gradient altitudinal reste un facteur complexe, et implique la variation de plusieurs autres facteurs, ces facteurs corrélés à l'altitude constituent les principaux facteurs déterminants la répartition de la végétation le long d'un gradient altitudinal. Parmi ces facteurs la pluviométrie, selon Kadik (2005) le gradient de précipitations varie de 22.7mm pour 100 m de dénivellation dans la partie centrale de l'Atlas saharien, plus précisément à Séalba, soit à environ 100 km de notre zone d'étude.

La pluviométrie influe directement sur la disponibilité en eau dans le sol, les résultats portés sur le tableau -19- révèlent un effet d'interaction microsite arbre*humidité de sol très significatif, et microsite touffe*humidité de sol significatif, sur la richesse spécifique. Ce qui veut dire que l'effet de l'humidité de sol sur la richesse spécifique est affecté par la présence de l'arbre en particulier, et aussi de la touffe.

Tableau -19 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions sur la richesse spécifique.

	Richesse spécifique	
	β	P
Humidité	-0.02	ns
Microsite touffe	-0.25	*
Microsite ouvert	-0,22	(*)
Microsite arbre	0,32	**
Microsite touffe* humidité	-0.22	*
Microsite ouvert * humidité	-0.20	*
Microsite arbre * humidité	0,28	**

β , coefficient de régression

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$; ns, non significatif

Ceci implique qu'à des situations de taux d'humidité de sol faibles (stress hydrique), la présence de l'arbre et/ou la touffe pourrait atténuer cette contrainte, et permet la croissance de plantes sous leur couvert végétal.

Cet effet regroupe une large gamme de mécanismes, selon (Valentin et al., 1999) la végétation se développe perpendiculairement à l'angle de la pente, l'eau en constitue la principale force motrice. La formation de la mosaïque commence avec la colonisation des pentes par des plantes pionnières, ce qui augmente la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol par rapport à celle des surfaces nues. Pendant des événements de précipitations longues et à haute énergie, la capacité d'infiltration de l'eau dans les surfaces nues est dépassée, incitant un flux de ruissellement qui saisit les sédiments et les débris de végétaux, y compris les propagules, et les entraînent des zones ouvertes aux zones couvertes par la végétation (Blanc, 1971; Agnew, 1997; Cerda, 1997; Whitford et al., 1997). L'augmentation des ressources et des propagules dans les taches de végétation épaissit la différence dans le développement du sol par rapport au sol nu, ce qui renforce le maintien de l'espèce déjà installée et facilite la colonisation et le développement par d'autres espèces (Callaway, 1995).

L'amélioration de l'humidité de sol par le microsite arbre a été mis en évidence par plusieurs auteurs, en particulier, en zone semi aride (Joffre et Rambal 1993; Ludwig et *al.*, 2004). Pour Munzbergova et Ward (2002) l'amélioration de la disponibilité de l'eau du sol par l'arbre est liée principalement à la réduction de l'évapotranspiration, ainsi Belky et *al.*, (1989) ont suggéré que l'ombre fournie par l'arbre favorise la croissance de la végétation herbacée par la réduction de la température et de l'évapotranspiration. En effet, il a été démontré que les valeurs de l'humidité de sol sont plus importantes sous la canopée des plantes comparées aux surfaces nues (Maestre et *al.*, 2003a; Maestre et Cortina, 2003)

L'effet positif de l'arbre sur les paramètres hydriques peut aussi être en partie expliqué par la teneur importante en matière organique sous la canopée, puisqu'il a été démontré que la teneur en matière organique dans le sol, influence fortement les paramètres physiques, et particulièrement hydriques du sol, en augmentant sa porosité et en créant un nombre important de macros-pores (Mapa, 1995) et améliorant sa rétention (Joffre et Rambal, 1993).

Concernant le mécanisme de facilitation par la touffe en améliorant l'humidité de sol, des expériences dans le sud-est de l'Espagne de Cedra (1997) ont montré que le ruissellement et l'érosion de la surface est négligeable dans la touffe et très élevé au niveau des surfaces nues et des taux élevés d'infiltration ont été révélés au niveau des touffes. Ces auteurs ont conclu que la distribution inégale de *Stipa tenacissima* permet un système de redistribution de l'eau. Par conséquent, le paysage peut être divisé en surfaces nues qui agissent comme source d'eau tandis que les touffes d'alfa agissent en tant que collecteurs ou puits.

Le même effet a été évoqué par Garcia-Fayos et Gasque (2002) encore en zone semi-aride au sud-est de l'Espagne, l'auteur a montré que la touffe de *Stipa tenacissima* organise un modèle « source-puits » d'eau et de sédiments de l'espace ouvert à la touffe sur les pentes de montagnes formant ainsi de petites terrasses ou *terraces* en amont des touffes. Ces terrasses favorisent la survie des plantes ligneuses par rapport aux surfaces nues. De plus selon ces mêmes auteurs les terrasses formées par des touffes de *S. tenacissima* ont facilité les plantes ligneuses après une grave sécheresse qui a touché la région de l'année 1993 à l'année 1995.

Nos résultats, permettent de conclure que le microsite arbre et touffe, modifient la composition en espèce et permettent de promouvoir la richesse spécifique des communautés et cet effet est affecté par les conditions de milieu (altitude et humidité de sol), et sont en

accord avec ceux de Bertness & Callaway (1994) ; Callaway & Walker (1997) Holmgren *et al.* (1997) Tielborger & Kadmon (2000) et Callaway *et al.* (2002) qui affirment que les processus de facilitations dominant sous des conditions environnementales difficiles.

Quant à la perturbation par le pâturage, elle semble être plus importante aux niveaux d'altitudes les moins élevés (figure -39 - et - 40 -), les résultats de l'ANOVA des indicateurs de pâturage en fonction de l'Altitude sont significatifs pour l'effet de broutage et d'excréments le long de gradients d'altitudes. Ces derniers sont plus importants aux basses altitudes, alors que les résultats ne sont pas significatifs pour le piétinement.

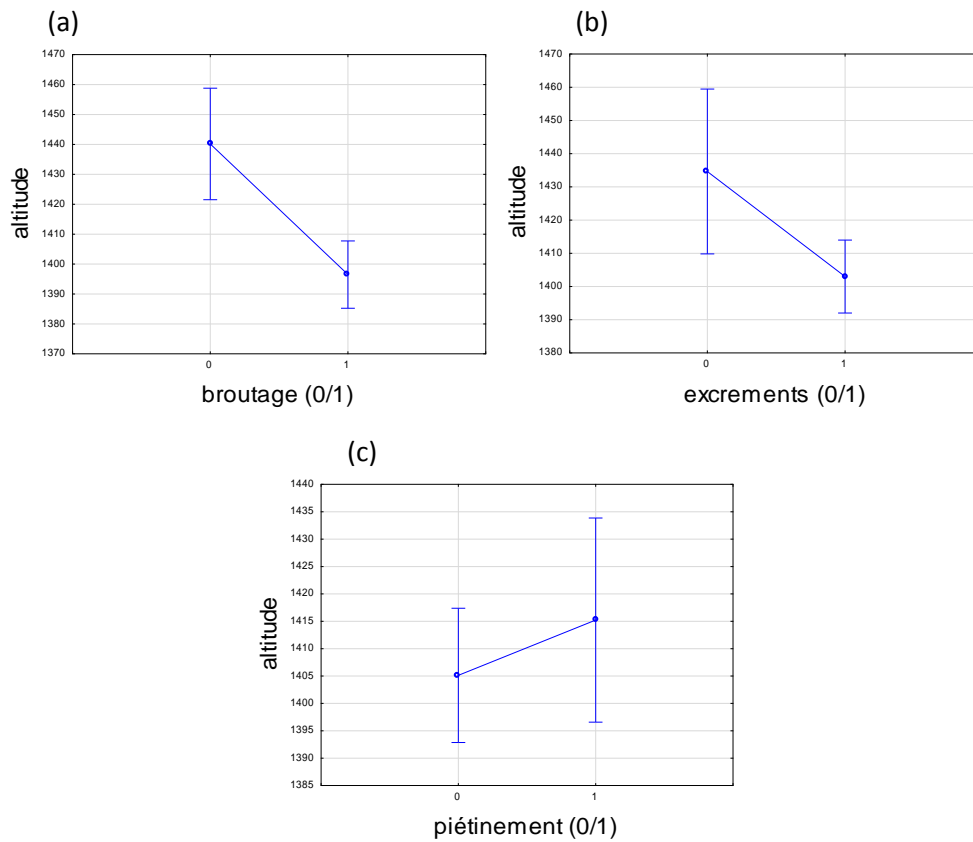


Figure -40- Effet de perturbation par le pâturage le long de gradient d'altitude, (a) présence de broutage en fonction de l'altitude ($F(1, 114) = 15.78$; p^{***}) (b) présence d'excréments en fonction de l'altitude ($F(1,114) = 5.33$; p^*) et (c) présence de piétinements en fonction de l'altitude ($F(1,114) = 0.80$, p non significatif)

L'intensité de la perturbation par pâturage diffère également selon le gradient d'humidité de sol. Les résultats (figure -40 -) sont significatifs pour la présence de broutage et d'excréments qui semble être plus importants à des niveaux d'humidité de sols les plus faibles.

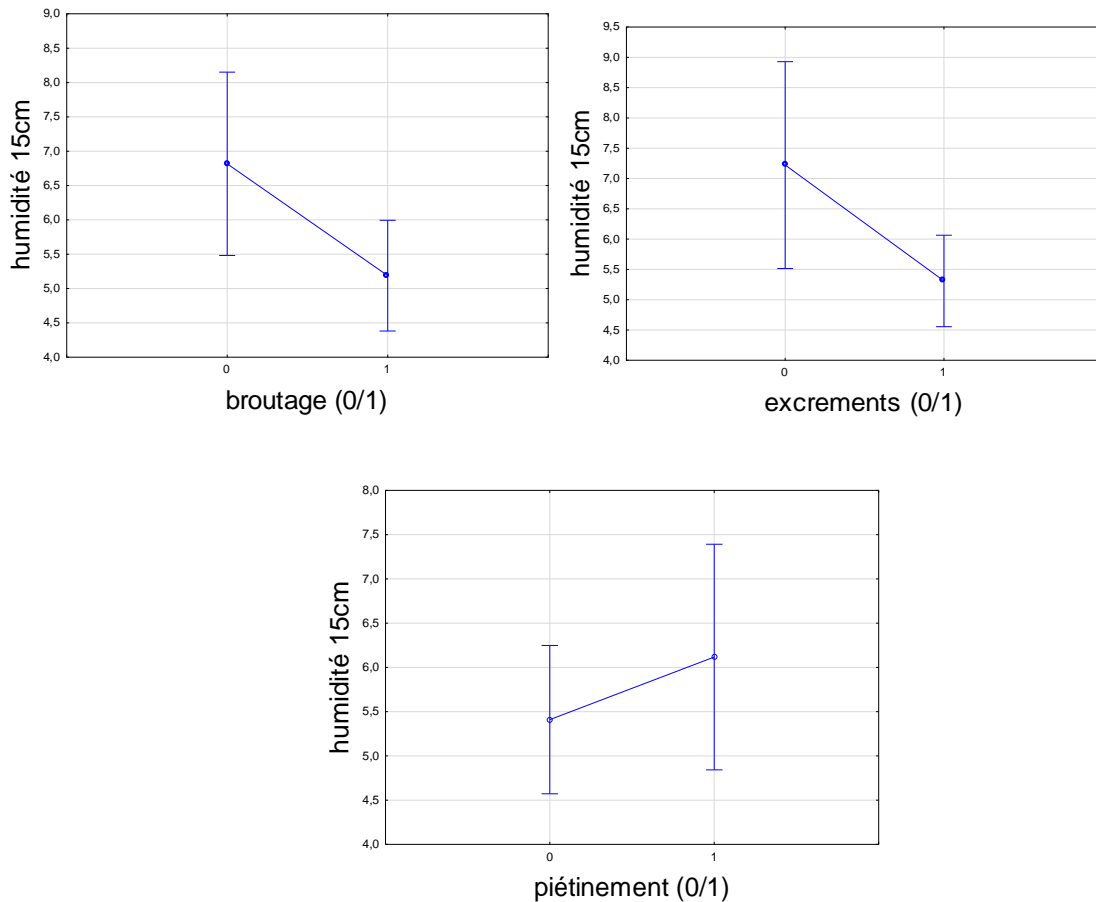


Figure - 41 - Effet de perturbation par le pâturage le long de gradient d'humidité de sol, (a) présence de broutage en fonction de l'humidité ($F(1, 114) = 4.27 ; p^*$) (b) présence d'excrements en fonction de l'humidité ($F(1,114) = 4.12 ; p^*$) et (c) présence de piétinements en fonction de l'humidité ($F(1,114) = 0.84, p \text{ ns.}$)

L'effet du pâturage sur la composition spécifique des communautés et le rôle du microsite peut être observé par la variation des scores des relevés de l'AFC espèces x microsites en fonction des niveaux de perturbation selon les différents microsites.

L'ANOVA à un facteur peut nous informer sur l'effet du microsite ou du pâturage sur la composition spécifique. Le type de microsite influence très clairement la composition spécifique (figure -41-). Ainsi que le niveau de pâturage (exprimé par exemple, par la présence de broutage, figure -42 -)

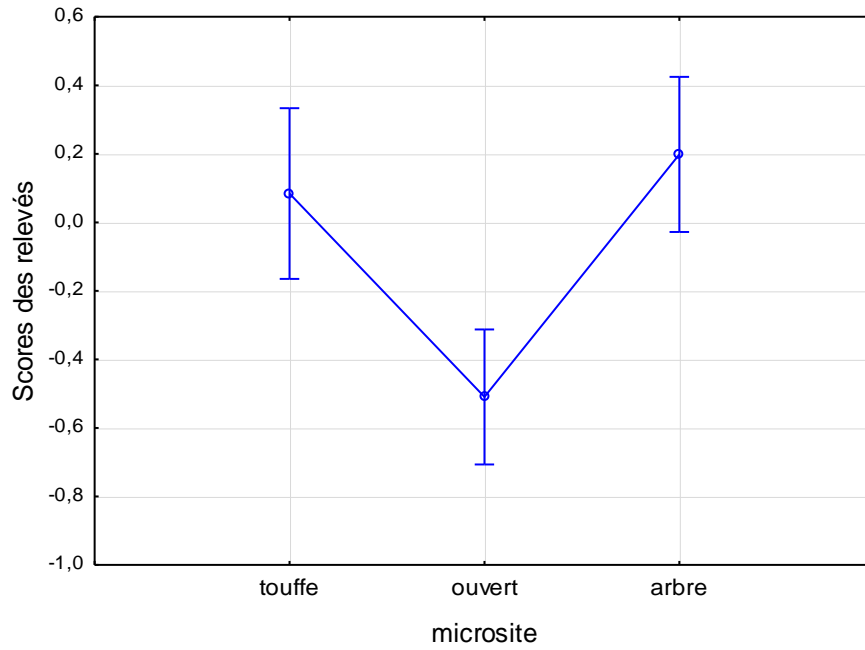


Figure - 42 - Effet du microsite sur la composition spécifique ($F(2,109)=12.85$, p^{****})

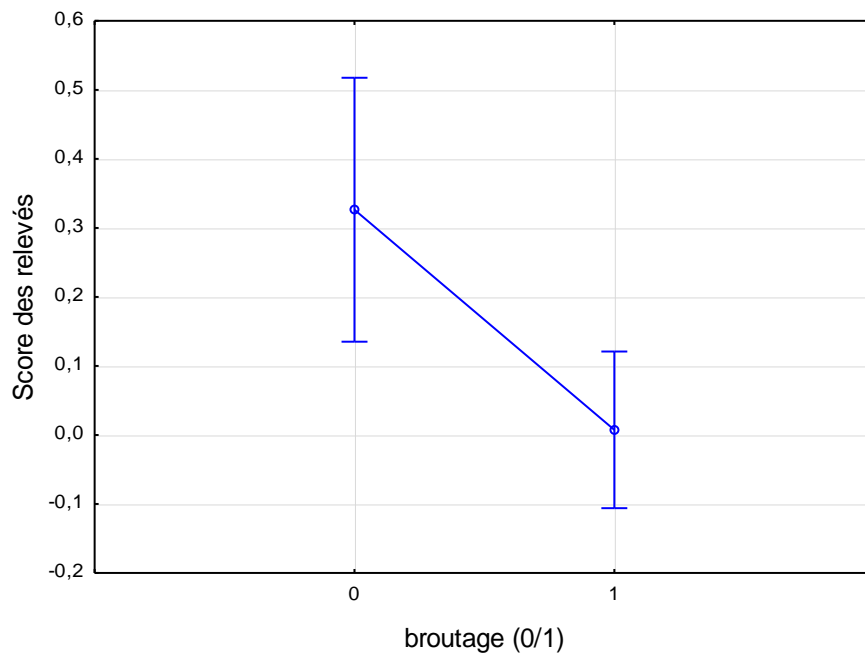


Figure -43 - Effet de la perturbation sur la composition spécifique ($F(2,109)=8.08$, p^{**})

La même analyse nous permet de voir l'effet de la perturbation sur la richesse spécifique (S). Cet effet se manifeste par une diminution significative de la richesse spécifique en présence de perturbation (broutage) (figure-43-).

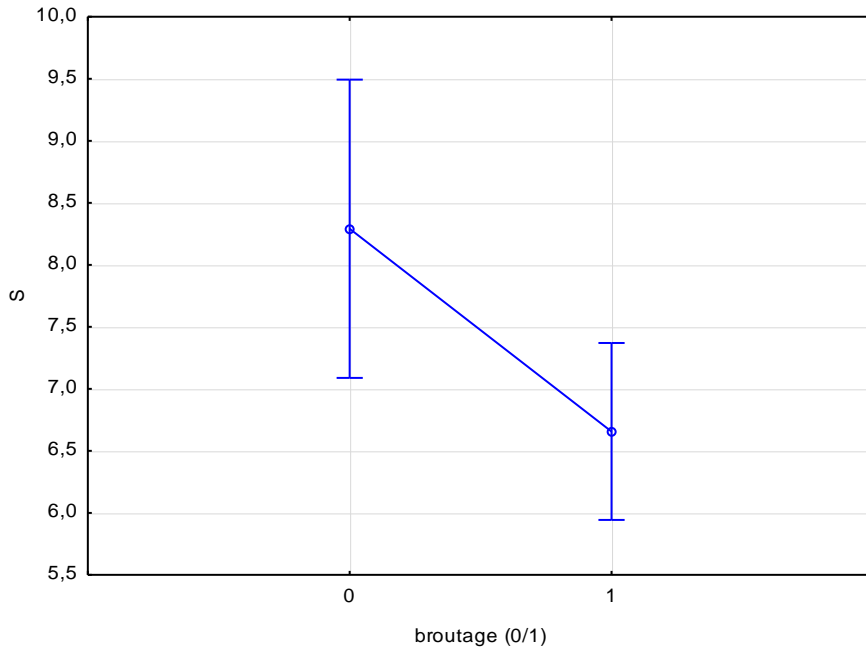
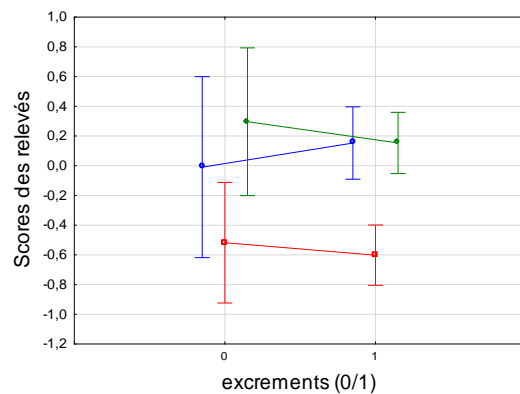
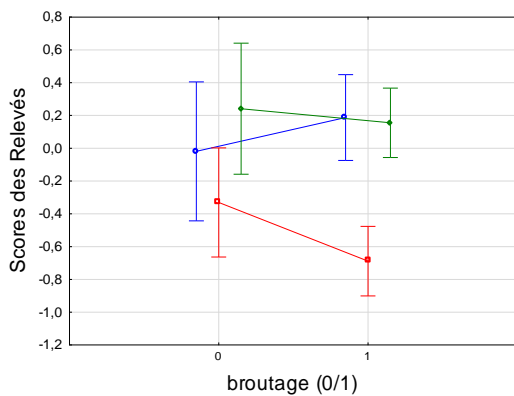


Figure - 44 - Effet de la perturbation sur la richesse spécifique ($F=5.36$; p^*)

Par ailleurs l'ANOVA factorielle nous a permis de percevoir (figure -44- et -45-) l'effet d'interaction des deux facteurs microsite*pâturage sur la composition spécifique ainsi que sur la richesse spécifique, c'est-à-dire l'effet de la présence de microsite touffe ou arbre sur l'effet de la perturbation en comparant au microsite ouvert (le pâturage étant exprimé ici par la présence de broutage, d'excréments et/ou de piétinement).



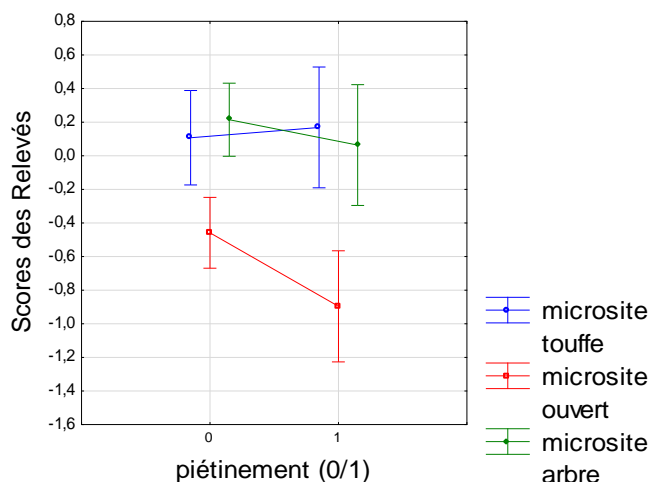


Figure - 45 - Effets de : microsite*broutage, $F(2,109)= 1.56$; $p=0.21$; microsite*excréments, $F(2, 109)= 0.27$; $p= 0.75$ et microsite*piétinement, $F(2, 109)=1.40$; $p=0.25$ sur la composition spécifique.

L'analyse graphique des effets de la présence de broutage, de piétinement ou d'excréments sur la composition spécifique révèle des variations de la composition spécifique semblables en réponse aux trois indices de pâturage. Ces réponses diffèrent selon les microsites mais elles sont similaires pour la même catégorie de microsite. L'effet de la perturbation dépend alors du microsite.

Les graphiques de la richesse spécifique en fonction de microsite*perturbation (figure -45-) montrent différentes formes de variation de la richesse spécifique dans chaque microsite en relation avec la présence ou l'absence des indicateurs de perturbation. Toutefois, l'approche statistique permet de conclure que les résultats sont significatifs pour la richesse spécifique en fonction de microsite*excréments, la richesse spécifique diminue au sein des microsites arbre et touffe dans les sites qui présentaient des traces de pâturages exprimés par les excréments, alors qu'elle augmente légèrement au sein du microsite ouvert.

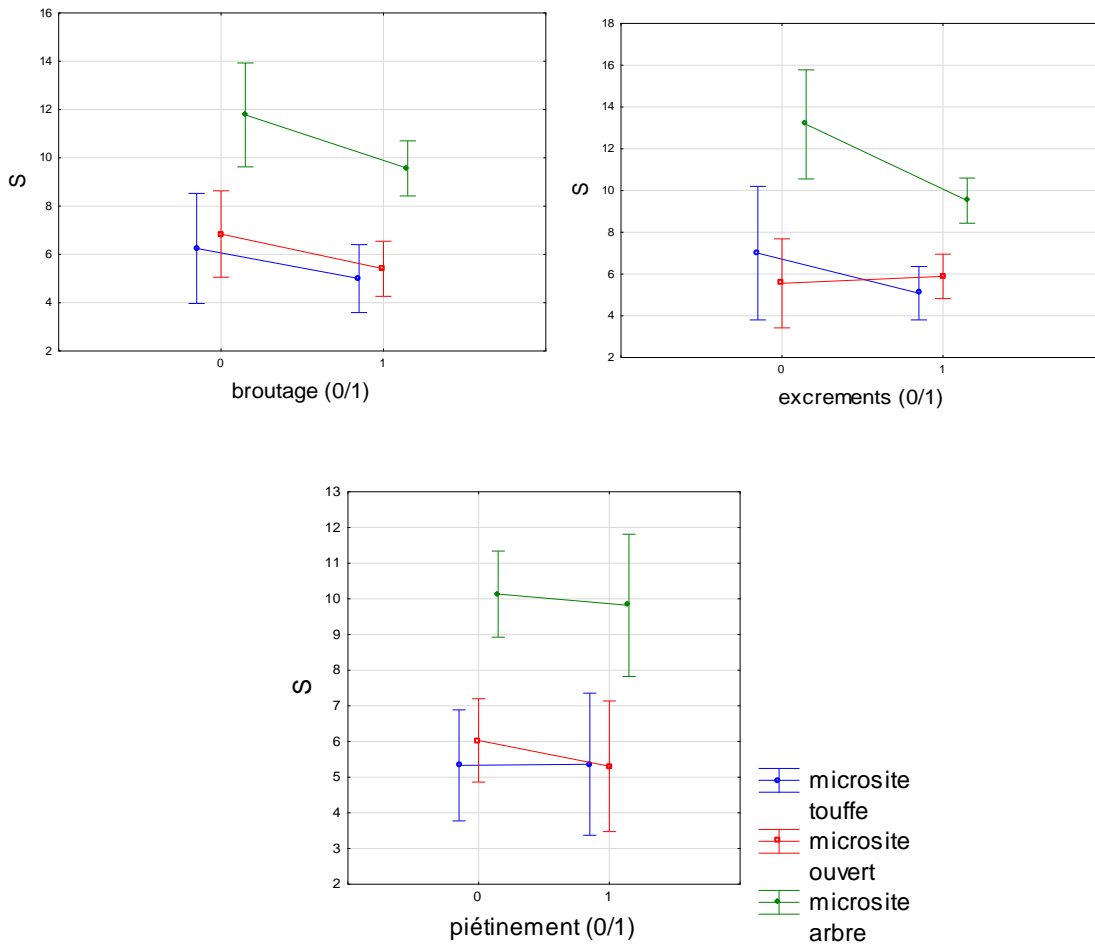


Figure -46- effets de : microsite*broutage, $F(2,109)= 0,16$; p non significatif ; microsite*excréments, $F(2, 109)= 2,32$; p (*) et microsite*piétinement, $F(2, 109)=0.10$; p non significatif, sur la composition spécifique

Ceci pourrait être expliqué par le fait que l'action de pâturage modifie considérablement la composition floristique, le taux des espèces appétibles diminue par rapport à celui des espèces refusées qui sont donc favorisées et se développent au niveau du microsite ouvert. Cet effet de la perturbation bouleverse selon (Dahmani, 1997) la répartition et le couvert végétal qui est déjà en état de dégradation sous l'effet des conditions climatiques et se traduit par l'abondance des espèces qui sont peu significatives phyto-sociologiquement dans les formations forestières et pré-forestières entraînant une nouvelle physionomie et une structure particulière caractérisée par l'appauvrissement de la composition floristique qui a pour conséquence la destruction du tapis végétal, qui est principalement liée à la dégradation de la partie supérieure du sol.

L'effet positif que procuraient les microsites touffes et arbres sur les espèces qui poussent sous leurs canopées en présence de stress abiotique disparaît, alors, en présence de pâturage. Les mêmes observations ont été signalées par plusieurs auteurs en régions arides, pour Michalet et *al.*, 2012 l'effet positif du microsite arbre était significatif pour les plantes herbacées en période de sécheresse dans une zone protégée mais cet effet disparaît en dehors de cette zone à cause de surpâturage, Alados, 2012, lors de son étude sur la réponse des associations d'espèces au pâturage dans un écosystème semi-aride a constaté que les associations entre les graminées de la même espèce ou espèces différentes et entre graminées et arbustes deviennent négatives à un niveau de pâturage fort.

En effet, sous les climats arides et sahariens qui sont caractérisés par leur haute température en été, l'arbre constitue, par son ombre, un abri pour les animaux. Cela pourrait accentuer l'effet de pâturage sur la zone couverte par les arbres. Ce pâturage est généralement sélectif, les espèces appréciées sont très menacées (Abdallah et *al.*, 2008). Le pâturage intense des parcours se traduit souvent par le remplacement des espèces appréciées par des espèces moins appréciées qui sont souvent considérées comme moins souhaitables ou même des plantes sans valeur telles que *Astragalus armatus* (Callaway et Tyler, 1999).

III.2. À l'échelle spécifique

Définir les réponses des différentes espèces au gradient abiotique et l'effet des microsites serait très important pour détecter les interactions de facilitations entre les espèces qui influenceraient significativement les communautés végétales. Les réponses des espèces peuvent être appréhendées à partir des caractères des espèces et leur variation le long du gradient de stress abiotique.

Pour cela, l'abondance et les traits fonctionnels mesurés des espèces (taille, largeur pour certaines espèces, et état phénologique) ont été mis en relation avec le gradient d'altitude et le gradient d'humidité de sol et classés selon les différentes catégories de microsite.

Réponse des espèces nurses

Il s'agit des espèces dominantes qui ont délimité les microsites arbre: *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis*, *Pistacia atlantica*, *Quercus ilex* et les microsites touffes : *Stipa tenacissima*.

Les relations établies à partir des graphiques catégorisés de l'abondance et la performance (hauteur, largeur, et état phénologique) de ces espèces en fonction de l'altitude résumés dans le tableau -20- montrent que :

i) L'abondance et la performance de *Juniperus phoenicea* augmentent en fonction de l'altitude dans le microsite arbre, cette espèce a constitué plusieurs fois le microsite arbre, néanmoins, elle a aussi été recensée, de nombreuses fois associée à d'autres arbres dans le même microsite, tels que : *Pinus halepensis* et *Pistacia atlantica*. L'abondance de *Juniperus phoenicea* augmente aussi dans le microsite touffe en fonction de l'altitude, il s'agit des jeunes individus qui ont été signalés plusieurs fois sous la touffe de *Stipa tenacissima*. Ce qui indique que la touffe facilite l'installation et la croissance de *Juniperus phoenicea* contre les conditions extrêmes qui se présentent le long du gradient altitudinal.

Le genévrier rouge est un petit arbre (jusqu'à 8-12 m de haut) réparti sur l'ensemble du bassin méditerranéen et de plus en plus dans un climat typiquement méditerranéen (Boratynski et al., 2009); il est considéré comme une espèce intolérante à l'ombre, et généralement tolérante au déficit hydrique et à la sécheresse (Martinez- Ferri et al., 2000 ; Boratynski et al., 2009). Il occupe dans notre zone d'étude des habitats forestiers, pré-forestiers caractérisés par des matorrals, et steppiques. Il est localisé en bas-versants, à mi-versants et en haut de versants.

Comme avec la plupart des Cupressacées, les jeunes semis produisent généralement des feuilles en aiguilles, qui prévalent souvent sur les feuilles en écailles des plantes adultes. Cette condition peut également se produire dans la production de repousses végétatives. Selon (Miller et al., 1995) la production de feuillage juvénile est moins coûteuse que celle de feuillage adulte. Ils ont démontré que les arbres juvéniles avaient une allocation plus forte de carbone au feuillage et aux racines fines, des taux plus élevés d'assimilation en CO₂, de conductance stomatique et de transpiration, par-contre

des investissements moins élevés en biomasse et en azote par unité de surface foliaire. L'ensemble des processus physiologiques associés avec le feuillage juvénile en forme d'aiguilles devrait améliorer l'installation et la croissance juvénile de *Juniperus phoenicea*. Cependant, les taux élevés de perte en eau associés aux taux élevés d'assimilation en CO₂ chez le feuillage juvénile semblent être un handicap pour un gros arbre dans l'environnement semi-aride. Par conséquent, après la phase d'installation, la transition vers une utilisation plus conservatrice des ressources associée au feuillage adulte squamiforme est compatible avec une stratégie de tolérance au stress chez les arbres à feuillage persistant et à grande longévité.

Lloret & Granzow-de la Cerda (2013) considèrent que le feuillage juvénile de *J. phoenicea* constitue une bonne forme d'adaptation pour une reprise rapide après la perte de biomasse aérienne causée par la sécheresse, tandis, qu'il peut aussi être considéré comme un indicateur de stress abiotique puisque la sécheresse tend à retarder la transition au feuillage en écailles.

Ces mêmes auteurs ont constaté, qu'après une période de sécheresse, la croissance était plus importante chez les plantules de *Juniperus phoenicea* libérés de la canopée d'arbre ou de grands arbustes avec une abondance des feuilles en aiguilles, indiquant une interaction de facilitation qui pourrait jouer un rôle important en cas des épisodes de sécheresse extrêmes liés au changement climatique.

ii) L'abondance et la performance (hauteur et état phénologique) de *Stipa tenassicima* augmentent significativement en fonction de l'altitude particulièrement dans le microsite arbre, alors que sa largeur diminue avec l'altitude dans le microsite touffe. Ce qui implique que *Stipa tenassicima* bénéficie de la présence de l'arbre le long du gradient altitudinal. En effet, l'alfa est une graminée pérenne rhizomateuse qui forme de grandes touffes. Sa croissance est radiale et lente. Il peut parvenir à prendre la forme d'un anneau suite à la mort de la partie centrale de la touffe. Les feuilles sont sclérophylles et après leur mort, elles restent dans la touffe durant plusieurs années. En outre, et comme mécanisme d'adaptation au stress hydrique, les feuilles s'inclinent et se replient de sorte à minimiser leur exposition à la radiation solaire et les pertes d'eau par évapotranspiration, ce qui pourrait expliquer la diminution de la largeur *S. tenacissima* en fonction de l'altitude dans le microsite touffe et pas dans le microsite arbre où elle est protégée par l'ombre. Ses stomates se situent à l'intérieur des sillons des feuilles, ses parois cellulaires

sont rigides et subissent des pertes de chlorophylle durant la sécheresse estivale. Cette série d'adaptations sert à affronter les conditions de sécheresse typiques des milieux arides et semi-arides (Cortina et *al.*, 2012). De plus, l'alfa possède des racines superficielles qui lui confèrent la capacité de profiter des petites impulsions d'eau. Ceci lui permettrait à son tour de jouer un rôle positif pour d'autres espèces ce qui a été le cas des jeunes individus de *Juniperus phoenicea*.

Des résultats similaires ont été trouvés par Maestre et *al.*, (2001) qui prouvent un effet de facilitation directe de *S. tenacissima* sur des arbustes introduits (*Medicago arborea*, *Quercus coccifera* et *Pistacia lentiscus*). Ils ont ainsi trouvé que les sols sous des touffes de *S. tenacissima* avaient un taux de matière organique et de disponibilité en eau plus élevés que ceux des zones ouvertes. *Stipa tenacissima* réduit considérablement le rayonnement photosynthétiquement actif et la température du sol. La survie des arbustes était significativement plus élevée près du microsite touffe que dans les microsites ouverts. La biomasse foliaire pour les plants récoltés avant et après l'été a été significativement plus élevée pour les semis plantés sur des microsites touffes en comparaison avec les microsites ouverts.

De son côté, Maestre et *al.* (2003) montrent que *Stipa tenacissima* facilite le recrutement de *Pistacia atlantica* dans les zones semi-arides d'Espagne. Dans le même contexte, Ludwig et *al.* (1999) notent que les touffes dispersées dans le paysage aride et semi aride, contribuent à la formation des « îlots fertiles », caractérisés par une amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, et de ses activités biologiques très importantes. Ils peuvent engendrer des microsites favorables au développement, et à la croissance de plusieurs espèces végétales (Callaway, 1997).

Les individus adultes de *S. tenacissima* facilitent les jeunes individus d'arbres contre la sécheresse tel qu'il a été démontré par Maestre et *al.* (2001, 2003a.) où la touffe a facilité des jeunes individus de *Pinus halepensis*.

Tableau -20 - Résumé des réponses des espèces cibles au gradient altitudinal

Espèces		Altitude					
		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>Juniperus phoenicea</i>	Abondance	0.11	ns	/	/	0.35	*
	Hauteur	0.13	ns	/	/	0.26	(*)
	Largeur	0.16	ns	/	/	0.22	ns
	Etat phénologique	0.11	ns	/	/	0.22	ns
<i>Pinus halepensis</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.30	*
	Hauteur	/	/	/	/	-0.31	*
	Largeur	/	/	/	/	-0.31	*
	Etat phénologique	/	/	/	/	-0.36	*
<i>Quercus ilex</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.11	ns
	Hauteur	/	/	/	/	-0.30	(*)
	Largeur	/	/	/	/	-0.39	*
	Etat phénologique	/	/	/	/	-0.47	*
<i>Stipa tenacissima</i>	Abondance	0.06	ns	/	/	0.12	ns
	Hauteur	0.008	ns	/	/	0.23	(*)
	Largeur	-0.12	ns	/	/	0.07	ns
	Etat phénologique	0.11	ns	/	/	0.30	(*)
<i>Pistacia atlantica</i>	Abondance	/	/	/	/	0.09	ns
	Hauteur	/	/	/	/	0.11	ns
	Largeur	/	/	/	/	0.09	ns
	Etat phénologique	/	/	/	/	0.09	ns

* P<0.05, (*) P<0.1, (/) absence de l'espèce.

iii) L'abondance et la performance de *Pinus halepensis* diminue en fonction de l'altitude, et aucun jeune individu n'a été recensé dans le microsite touffé. En effet, Kadik (1983) affirme que les principaux facteurs écologiques qui régissent l'extension du pin d'Alep en Algérie sont la pluviométrie, la sécheresse estivale, la moyenne des minimums du mois le plus froid (m). L'élévation de l'altitude présente des températures moins élevées ce qui implique des valeurs de « m » plus stressantes, qui s'ajoutent aux phénomènes d'érosion et l'augmentation de l'évapotranspiration. L'ensemble de ces facteurs limitent l'extension du pin d'Alep vers les hautes altitudes.

Toutefois, selon Boudy (1952) le pin d'Alep possède un tempérament très robuste qui se traduit par un grand pouvoir d'expansion. C'est la seule "essence forestière qui peut coloniser les autres". Le jeune semi est rigoureux et supporte le découvert mais cette affirmation n'est pas valable dans l'étage bioclimatique du semi-aride où le surpâturage d'une part, et la xéricité du climat d'autre part rendent la régénération difficile voire impossible (Kadik, 2005). Le pin d'Alep, est un arbre de taille moyenne ayant rarement plus de vingt mètres dans les stations les plus favorables avec une circonférence de 3,50 m (Boudy, 1952). Comme la majorité des essences forestières, la nature du système racinaire dépend de la nature du sol. Il est pivotant dans les sols profonds et superficiels sur les sols squelettiques. Les racines peuvent pénétrer entre les fissures de la roche mère pour puiser les éléments minéraux nécessaires à la survie de l'espèce. D'une manière générale, l'arbre est fortement accroché au sol, ce qui explique ses possibilités à s'adapter dans les milieux les plus précaires écologiquement et favoriser l'installation et la croissance de nombreuses espèces à son voisinage (telles que *Stipa tenacissima*, *Juniperus phoenicea*, *Quercus ilex...etc.*). Des effets positifs ont été signalés par plusieurs auteurs, par exemple Bautista (1999) et Maestre et al. (2003) qui ont montré qu'en zone semi-aride de l'Espagne, cette espèce améliore les propriétés physico-chimiques du sol.

iv) La performance de *Quercus ilex* diminue en fonction de l'altitude, et aucun jeune individu n'a été recensé dans le microsite touffé. Selon Terradas & Savé (1992) le chêne vert est limité en altitude par des facteurs associés à des basses températures de l'air et à la partie sud de son aire de répartition par l'augmentation de la sécheresse de l'été. Ainsi selon plusieurs autres auteurs la distribution du chêne vert est limitée par des températures minimales (Lo Gullo et Salleo 1993; Tretiach et al. 1997; Larcher 2000; Nardini et al., 2000).

Toutefois, *Quercus ilex* est considéré comme étant une espèce ayant une large amplitude écologique qui est associée à une capacité d'adaptation écophysologique souple en relation avec l'eau et le stress thermique. Le chêne vert est une espèce sclérophylle méditerranéenne à feuilles persistantes (Barbero et al., 1992) caractérisé par une utilisation conservatrice de l'eau, des faibles taux de transpiration cuticulaire, en d'autres termes, il optimise le taux d'assimilation-transpiration par le contrôle stomatique, une forte capacité d'ajustement osmotique et des caractéristiques xérophiiles de la morphologie des feuilles et la disposition de la canopée (Kyriakopoulos & Richter, 1991; Terradas & Save, 1992 ; Sala et al., 1994). En effet, il est bien connu que les traits morphologiques des feuilles varient en fonction : de leur position sur la couronne (la partie supérieure et externe étant plus sclérophylle, Terradas et Savé, 1992), le microclimat (Gratani, 1996) et les conditions hydriques (Sabaté et al., 1999) ainsi qu'il dispose d'une résistance élevée, relativement, au gel (Larcher, 2000).

C'est une espèce à croissance lente (Gratani, 1996) et une large tolérance édaphique (Canadell & Vilà 1992). Il est concevable que le phénomène de la régression de chêne méditerranéen pourrait être le symptôme précoce du réchauffement climatique (Brasier 1996). De ce fait, l'information écologique concernant la réponse de *Quercus ilex* à un microclimat spécifique à un site donné serait importante pour prévoir son potentiel de productivité en cas d'augmentation de sécheresse. Une augmentation de l'épaisseur et la densité de la feuille en relation avec la dégradation des conditions écologiques a été observée dans les feuilles de *Quercus ilex* (Grossoni et al., 1998; Bussotti et al., 2000). Toutes ces adaptations impliquent certains coûts métaboliques et les réserves sont distraites pour des usages différents de la croissance.

Enfin, le chêne vert est considéré comme une espèce clé des forêts du Bassin méditerranéen (Terradas, 1999;. Blondel et al., 2010) en raison de son importance pour le maintien des services écosystémiques (Plieninger et Wilbrand, 2001; Maran et al., 2009;. Gea-Izquierdo et al., 2010; Howlett et al., 2011; Plieninger et al., 2011). De ce fait, plusieurs recherches se penchent sur sa régénération et son interaction avec les autres espèces. Dans ce sens, par exemple, plusieurs études ont démontré des interactions positives entre des semis *Quercus ilex* et l'espèce *Retama sphaerocarpa* (Cuesta et al., 2010 ; Rolo et al., 2013). Ainsi, Mediouni et Yahi (1994) ont mis en évidence le rôle du *Quercus ilex* en tant qu'espèce facilitatrice, capable de fournir aux jeunes semis de *Cedrus atlantica* l'abri et les potentialités nécessaires au début de leur développement. Dans le cas

de notre étude il a souvent été retrouvé sous le couvert de *Pinus halepensis* ou à coté de *Juniperus phoenicea* et de *Pistacia atlantica* dans la forêt claire à pin d'Alep.

v) Pour *Pistacia atlantica* aucun effet significatif de l'altitude sur son abondance ou sa performance n'a été signalé. *Pistacia atlantica* est un arbre qui se régénère et se développe aussi bien dans les dayas, les lits d'oueds que dans les endroits les plus arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et se développer. Cet arbre endémique de l'Afrique du Nord (Quézel et Santa, 1963) présente une grande amplitude thermique bioclimatique qui lui permet de jouer un rôle très important grâce à son système racinaire bien développé. Il contribue à la conservation des sols des zones où l'érosion est potentiellement intense et s'adapte à des conditions climatiques très variées, cette essence en produisant, notamment, une grande quantité d'humus est susceptible d'améliorer les qualités physico-chimiques des sols (Boudy, 1952; Mirzaie-Nodoushan et Arefi, 2001). Dans notre dition il a été retrouvé au niveau des lits d'Oueds avec *Retama raetam* et *Nerium oleander*, dans la steppe arborée avec l'alfa et le genévrier rouge, dans les matorrals en bas versant, à mi-versant comme et en haut des versants, toujours avec *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima* et en foret claire avec le pin d'Alep, le chêne vert, le romarin, le genévrier rouge, l'alfa et *Globularia alypum*. Selon (Boudy, 1952) il est presque toujours mêlé à d'autres essences en haute altitude (1500 à 2000 m).

Pour (Monjauze, 1968) dans les forêts de l'Atlas Saharien, le « Bétoum » peut se développer à l'abri des touffes de *Phyllyrea media*, ainsi que dans les buissons constitués par les rejets de *Quercus ilex* ou en association avec le Jujubier (*Ziziphus lotus*). Selon (Monjauze, 1968 ; Quézel et Médail, 2003) il existe une association intime entre *Pistacia atlantica* et *Ziziphus lotus*, et le rôle du Jujubier en tant que plante-nurse permettant ou facilitant l'installation et la régénération du betoum mérite d'être évoqué. Benhassaini et al. (2007) à la lumière de leurs travaux sur la phytoécologie de *Pistacia atlantica* ont constaté qu'au sud de l'Algérie, il est souvent dominant et associé aux espèces thermophiles. Selon (Quézel, 2000) cela est vraisemblablement dû aux décrochements bioclimatiques vers plus d'aridité, causant ainsi la réduction de l'aire de répartition d'espèces sahariennes et de divers taxons épineux méditerranéens.

Tableau - 21- Résumé des réponses des espèces cibles au gradient d'humidité de sol

Espèces		Humidité					
		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>Juniperus phoenicea</i>	Abondance	0.12	ns	/	/	0.14	ns
	Hauteur	0.12	ns	/	/	0.11	ns
	Largeur	0.17	ns	/	/	0.09	ns
	Etat phénologique	0.12	ns	/	/	0.02	ns
<i>Pinus halepensis</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.12	ns
	Hauteur	/	/	/	/	-0.14	ns
	Largeur	/	/	/	/	-0.14	ns
	Etat phénologique	/	/	/	/	-0.14	ns
<i>Quercus ilex</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.08	ns
	Hauteur	/	/	/	/	-0.12	ns
	Largeur	/	/	/	/	-0.14	ns
	Etat phénologique	/	/	/	/	-0.13	ns
<i>Stipa tenacissima</i>	Abondance	0.12	ns	/	/	-0.23	(*)
	Hauteur	-0.06	ns	/	/	-0.11	ns
	Largeur	0.003	ns	/	/	-0.08	ns
	Etat phénologique	0.42	*	/	/	0.03	ns
<i>Pistacia atlantica</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.20	(*)
	Hauteur	/	/	/	/	-0.25	(*)
	Largeur	/	/	/	/	-0.21	(*)
	Etat phénologique	/	/	/	/	-0.24	(*)

* P<0.05, (*) P<0.1, (/) absence de l'espèce.

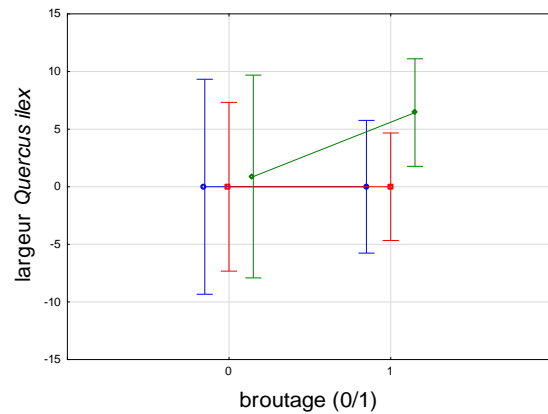
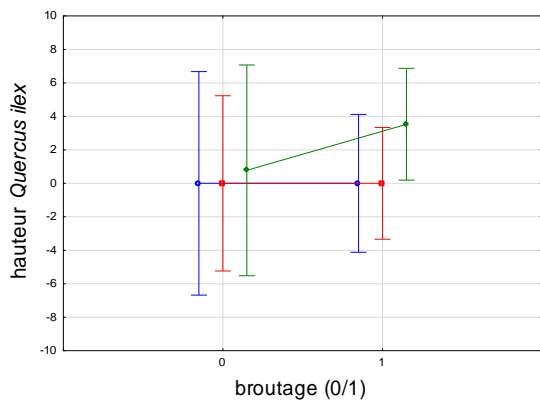
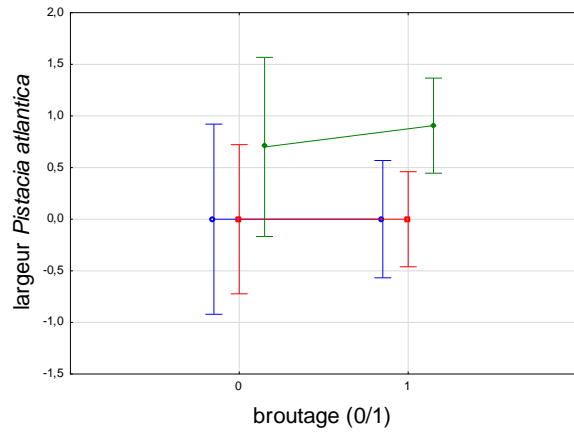
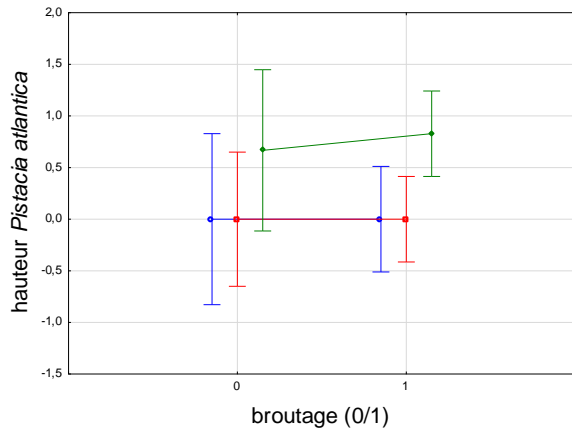
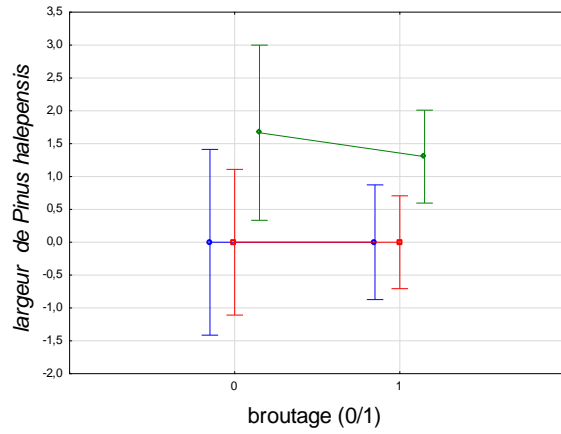
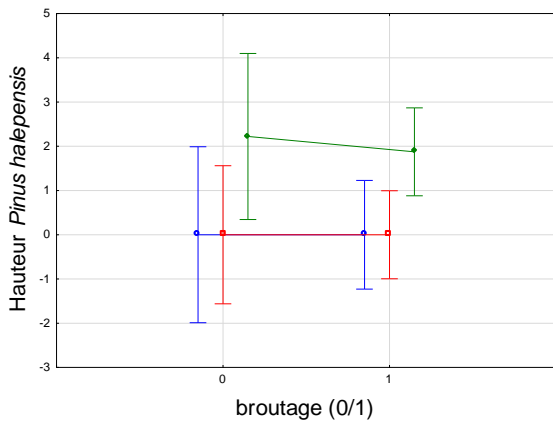
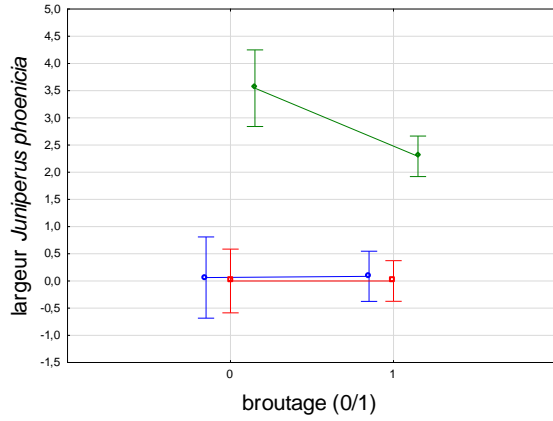
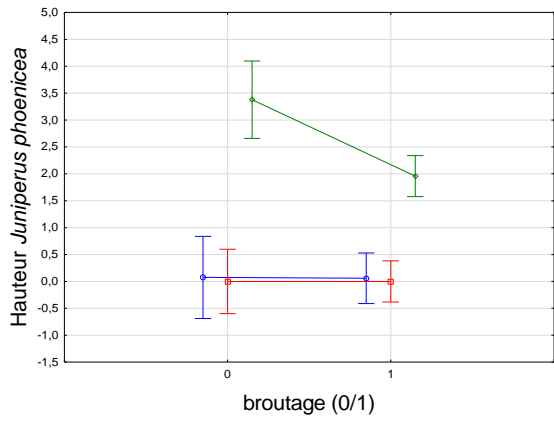
Le rôle de facilitation joué par la végétation (touffe, arbre) constitue, alors, une interaction écologique qui dépend du niveau de stress environnemental. Dans ce sens, il ne faut pas oublier que pour la touffe d'alfa ou l'arbre quelque soit l'espèce, dans des conditions de stress très élevé, les améliorations édaphiques et microclimatiques assurées par ces plantes peuvent ne pas compenser leur propre consommation d'eau tel qu'il a été rapporté par Maestre et Cortina (2004). Ceci va engendrer un effet net négatif sur les espèces avoisinantes. La formation d'« îles de ressources » et les interactions entre l'alfa ou l'espèce d'arbre et les autres organismes sont des processus qui opèrent à une échelle fine, pratiquement au niveau de l'individu, et qui sont affectés en grande mesure par des attributs comme l'abondance et la taille plantes.

De ce fait, l'identité et les caractéristiques des espèces sont particulièrement, importants dans l'efficacité des interactions de facilitations et ceci est principalement lié à la capacité d'une espèce à transformer l'environnement. En effet, chaque espèce a un seuil de résistance écophysologique à ne pas dépasser, et si la fréquence et la durée de stress environnemental vient à augmenter, il pourrait y avoir substitution progressive par des espèces plus résistantes.

L'autre facteur étudié et qui est déterminant dans la structuration des communautés, est le facteur lié à la perturbation anthropozoïque, que constitue, le pâturage. L'ANOVA de l'effet d'interaction des deux facteurs catégoriels broutage*microsite sur la hauteur et la largeur des espèces cibles révèle plusieurs types de réponses (figure-47-). La hauteur et la largeur de *Juniperus phoenicea* et *Pinus halepensis* diminuent en présence de la perturbation par pâturage, tandis que celles de *Pistacia atlantica* et *Quercus ilex* augmentent.

Concernant *Stipa tenacissima* sa hauteur diminue en conditions de perturbation dans le microsite arbre et touffe alors que sa largeur diminue dans le microsite arbre mais augmente dans le microsite touffe en présence de perturbation.

Ces résultats, sont en conformité avec le modèle de Michalet et *al.* (2006) qui explique la disparition de la facilitation en situation de stress extrême par la baisse de la taille des espèces nurses et l'augmentation de l'importance du phénomène de compétition par l'augmentation de la taille des espèces, ce qui pourrait être le cas de *Pistacia atlantica* et *Quercus ilex*.



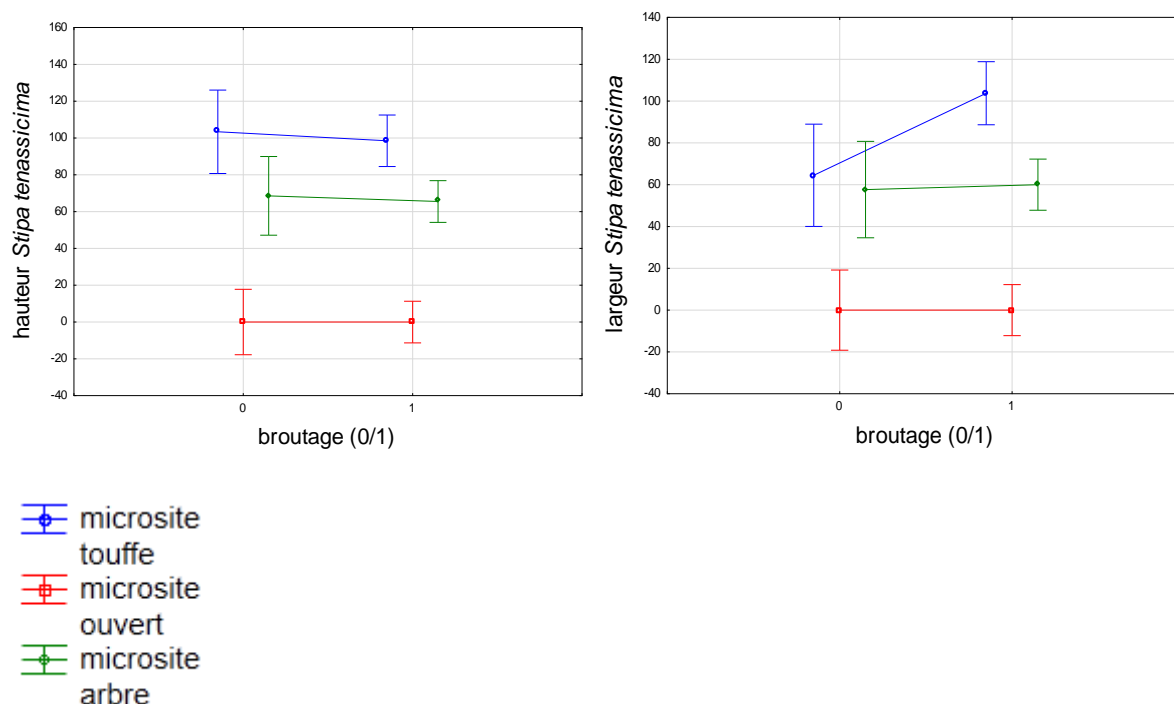


Figure -48- Réponse des espèces cibles à la perturbation par broutage $F(34, 186)=1.80$; P^{**}

Réponse des espèces avoisinantes

Après les espèces qui constituaient le couvert des microsites, il est à présent nécessaire de connaître la réponse des espèces qui étaient sous le couvert végétal ou qui étaient présentes dans les microsites ouverts aux différents facteurs, altitude, stress hydrique et perturbation.

Pour le gradient altitudinal, l'approche statistique des graphiques catégorisés (tableau-22-) permet de révéler l'effet positif significatif du microsite touffé sur l'abondance et la performance de *Calendula aegyptiaca* et *Erodium triangulare* et le microsite arbre sur l'abondance de *Echinops spinosus*.

Au niveau du microsite ouvert, l'abondance et la performance de *Atractylis humilis* et l'abondance de *Scorzonera undulata* augmente d'une façon significative en fonction de l'altitude. Toutefois, l'effet négatif du microsite ouvert le long de gradient d'altitude est significatif pour : l'abondance de *Lobularia lybica* et *Ammochloa pungens* ainsi que l'abondance et la performance de *Medicago hispida* et *Draba verna*.

Tableau -22 - Résumé des relations significatives entre (abondance, taille, largeur) des espèces et l'altitude en fonction du microsite.

Espèces		Altitude					
		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>Atractilys humilis</i>	Abondance	/	/	0,33	*	0.15	ns
	Hauteur	/	/	0.33	*	0.20	ns
<i>Calendula aegyptiaca</i>	Abondance	0.42	*	-0.06	ns	0.01	ns
	Hauteur	0.42	*	-0.12	ns	0.04	ns
	Etat phénologique	0.42	*	-0.03	ns	0.04	ns
<i>Draba verna</i>	Abondance	-0.05	ns	-0.29	(*)	-0.1	ns
	Hauteur	-0.05	ns	-0.14	ns	-0.27	(*)
	Etat phénologique	-0.05	ns	-0.31	*	-0.17	ns
<i>Echinops spinosus</i>	Abondance	-0.05	ns	0.19	ns	0.26	(*)
<i>Erodium triangulare</i>	Abondance	0.30	(*)	0.04	ns	0.04	ns
	Etat phénologique	0.33	(*)	0.05	ns	-0.01	ns
<i>Euphorbia falcata</i>	Abondance	0.17	ns	0.01	ns	-0.32	*
	Etat phénologique	0.16	ns	0.008	ns	-0.34	*
<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	Hauteur	-0.04	ns	-0.07	ns	-0.3	*
<i>Hyoseris radiata</i>	Hauteur	-0.02	ns	-0.21	ns	-0.61	***
	Etat phénologique	0.2	ns	-0.22	ns	-0.29	(*)
<i>Leontodon hispanicus</i>	Hauteur	-0.02	ns	-0.001	ns	-0.2	(*)
<i>Medicago hispida</i>	Abondance	0.18	ns	-0.43	**	0.24	ns
	Hauteur	0.2	ns	-0.39	**	0.09	ns
	Etat phénologique	0.18	ns	-0.38	**	0.17	ns

<i>Ammochloa pungens</i>	Abondance	/	/	-0.27	(*)	/	/
<i>Bromus rubens</i>	Abondance	/	/	/	/	-0.26	(*)
<i>Lobularia lybica</i>	Abondance	0.08	ns	-0.34	*	0.06	ns
<i>Plantago psyllium</i>	Abondance	0.0008	ns	/	/	-0.40	**
<i>Scorzonera undulata</i>	Abondance	/	/	0.26	(*)	/	/
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Abondance	-0.36	(*)	-0.20	ns	-0.28	(*)
	hauteur	-0.39	*	-0.20	ns	-0.40	**
	largeur	-0.35	(*)	-0.20	ns	-0.40	**

r, coefficient de corrélation

****P*<0.001 , ** *P*<0.01 , **P*<0.05 ,(*)*P*<0.1 , *ns* :non significatif, / : absence de l'espèce .

Au niveau du microsite arbre l'abondance et la performance de *Euphorbia falcata*, *Hyoseris radiata* et *Rosmarinus officinalis*, l'abondance de *Bromus rubens* et *Plantago psyllium* diminue significativement et très significativement pour certaines espèces le long du gradient altitudinal ainsi que la performance de *Draba verna*, *Hippocrepis multisiliquosa* et *Leontodon hispanicus*.

Au sein du microsite touffe, seule l'abondance et la performance de *Rosmarinus officinalis* diminue en fonction de l'altitude.

D'autre part l'analyse graphique des nuages de points de l'abondance des espèces en fonction de l'altitude catégorisés par microsite, permet d'observer la différence entre les pentes de régression indiquant l'augmentation ou la diminution de l'abondance des espèces le long du gradient dans chaque microsite (exemple : nuages de points de *Hyoseris radiata*, figure -48 -). Pour les espèces présentes dans les trois microsites, il en résulte :

- l'abondance de : *Aristida obtusa*, *Astragalus sinaicus*, *Plantago albicans*, *Schismus barbatus*, *Sedum album* augmente dans le microsite arbre le long du gradient altitudinal et diminue dans les microsites ouvert et touffe.
- L'abondance de : *Hyoseris radiata*, *Lappula redowskii*, *Paronychia argentea*, *Euphorbia falcata* augmente dans le microsite touffe le long du gradient d'altitude et diminue dans les microsites ouvert et arbre.

- L'abondance de : *Helianthemum croceum*, *Calendula aegyptiaca*, *Medicago hispida*, *Micropus bombycinus*, *Lobularia lybica* augmente dans les microsites arbre et touffe et diminue dans le microsite ouvert le long du gradient d'altitude.
- L'abondance d'aucune espèce n'a présenté une relation positive avec l'altitude spécifiquement dans le microsite ouvert par rapport aux microsites arbre et touffe.

Ces résultats conduisent à conclure que le microsite arbre facilite les espèces *Echinops spinosus*, *Aristida obtusa*, *Astragalus sinaicus*, *Plantago albicans*, *Schismus barbatus*, *Sedum album*, et le microsite touffe facilite les espèces *Erodium triangulare*, *Hyoseris radiata*, *Lappula redowskii*, *Paronychia argentea*, *Euphorbia falcata*, et un rôle positif est joué par les deux microsites arbre et touffe pour les espèces *Helianthemum croceum*, *Calendula aegyptiaca*, *Medicago hispida*, *Micropus bombycinus*, *Lobularia lybica*, le long de gradient altitudinal.

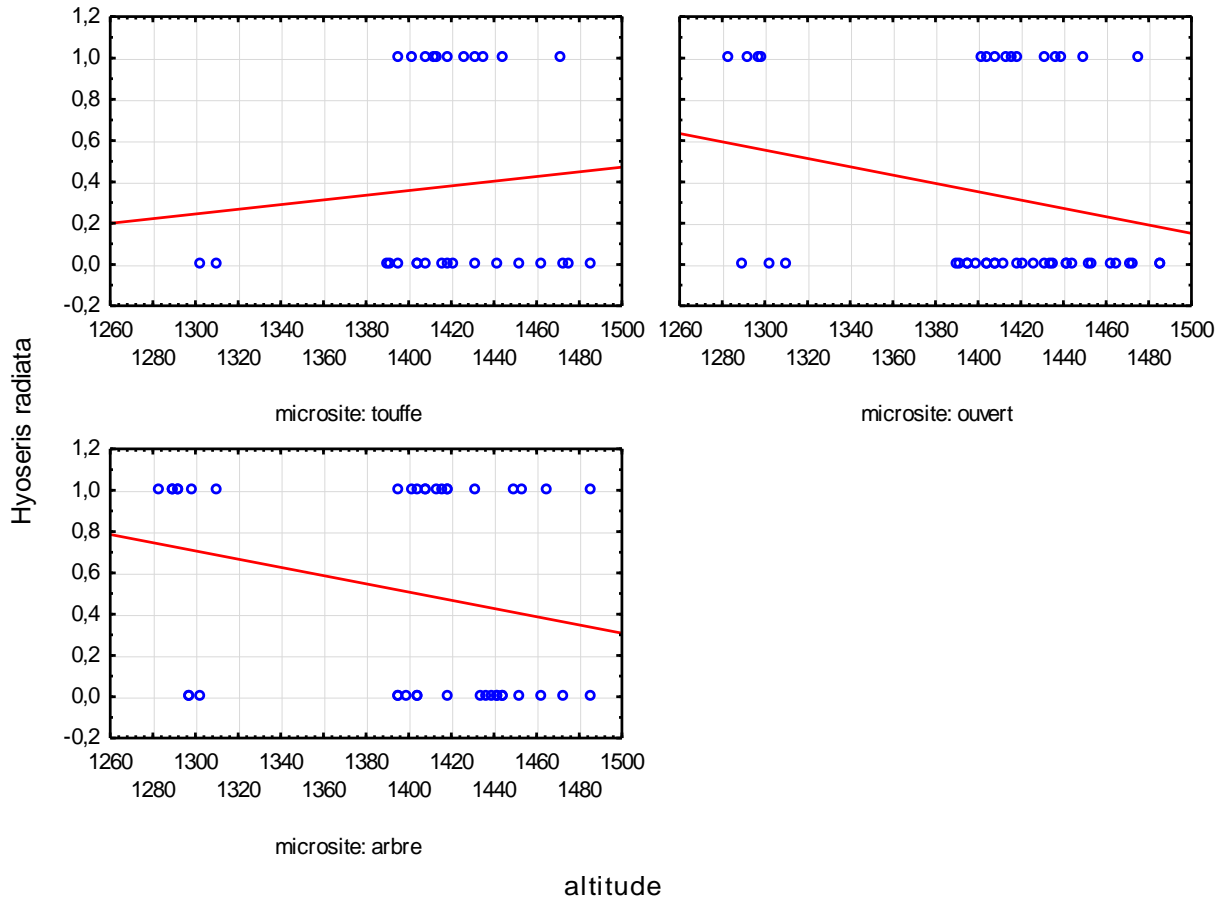


Figure -49 - Nuages de points de *Hyoseris radiata* en fonction de l'altitude catégorisés par microsites.

Les graphiques des espèces en fonction de l'altitude catégorisés par microsite permettent aussi d'observer les espèces qui apparaissent ou disparaissent au sein des microsites selon l'altitude (Tableau -23-). Nous avons classé des sites relativement bas et hauts qui caractérisent les deux extrémités du gradient d'altitude que nous avons établi.

Au niveau des sites hauts, un total de 45 et 33 espèces de plantes ont été recensées sous le microsite arbre et touffe, respectivement. Tandis que, ces chiffres sont de 26 et 3 au niveau des sites bas.

Tableau -23- Présence des espèces dans les microsites touffe, ouvert et arbre aux altitudes élevées (hauts des pentes) et altitudes basses (bas des pentes).

Espèces	Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
	bas	haut	bas	haut	bas	haut
<i>Alyssum granatense</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Ammochloa pungens</i>	--	--	x	--	--	--
<i>Androsace maxima</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Aristida obtusa</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Artemisia herba alba</i>	--	--	--	x	--	x
<i>Asparagus acutifolius</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Asparagus horridus</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Astragalus sinaicus</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Atractylis humilis</i>	--	--	--	x	--	x
<i>Bromus rubens</i>	--	--	--	--	x	--
<i>Calendula aegyptiaca</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Carduncellus pinnatus</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Centaurea parviflora</i>	--	--	--	--	x	x
<i>Ceratocephala falcata</i>	x	x	--	x	--	x
<i>Crucianella patula</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Draba verna</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Echinaria capitata</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Echinops spinosus</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Erodium triangulare</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Euphorbia bupleuroides</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Euphorbia falcata</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Ferula vesceritensis</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Filago spathulata</i>	--	x	x	x	--	--
<i>Globularia alypum</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Helianthemum croceum</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Helianthemum hirtum</i>	--	--	x	x	--	x
<i>Herniaria hirsuta</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Hordeum murinum</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Hyoseris radiata</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Lappula redowskii</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Launaea glomerata</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Launaea acanthoclada</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Leontodon hispanicus</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Lobularia lybica</i>	--	x	x	--	--	x

<i>Medicago hispida</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Micropus bombycinus</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Muscari comosum</i>	--	X	--	X	--	X
<i>Paronychia argentea</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Plantago albicans</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Plantago amplexicaule</i>	--	--	--	X	--	X
<i>Plantago psyllium</i>	--	X	--	--	X	--
<i>Polycnemum fontanesii</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Reseda alba</i>	--	--	--	X	--	X
<i>Rosmarinus officinalis</i>	X	--	X	--	X	--
<i>Scabiosa stellata</i>	--	--	--	X	--	X
<i>Schismus barbatus</i>	--	X	X	X	--	X
<i>Scorzonera laciniata</i>	--	X	--	--	--	X
<i>Scorzonera undulata</i>	--	--	--	X	--	--
<i>Sedum album</i>	--	X	X	X	--	X
<i>Sisymbrium coronopifolium</i>	--	--	--	--	--	X
<i>Stipa retorta</i>	--	X	X	X	X	X
<i>Suaeda fruticosa</i>	--	--	--	--	X	X
<i>Teucrium polium</i>	--	X	--	X	X	X

X présence de l'espèce ; -- absence de l'espèce

Ces résultats démontrent une forte facilitation par les microsites arbre et touffe à des niveaux d'altitudes élevés. Tout d'abord, en comptant que **81%** et **60%** de l'ensemble des espèces étaient associées au microsite arbre et touffe, respectivement, aux altitudes élevées. Alors qu'à des altitudes plus basses seulement **47%** et **5%** des espèces poussent sous ces microsites. Secondairement, aux altitudes élevées, 6 espèces, *Asparagus acutifolius*, *Crucianella patula*, *Ferula vesceritensis*, *Globularia alypum*, *Hordeum murinum*, *Sisymbrium coronopifolium*, ont été recensées uniquement sous l'arbre et une espèce (*Scorzonera laciniata*) a été associée uniquement à l'arbre et la touffe, alors qu'aux altitudes basses aucune espèce n'est associée uniquement à la touffe et une espèce seulement (*Bromus rubens*) a été associée à l'arbre spécifiquement. En fin, une espèce, *Lobularia lybica* se trouvait aux altitudes basses au niveau des microsites ouverts seulement, alors qu'elle disparaît de ce microsite et apparaît au niveau des microsites arbre et touffe à des niveaux plus élevés.

Deux espèces, *Centaurea parviflora* et *Suaeda fruticosa* se trouvent liées à la présence d'arbre uniquement en bas ou en haut du gradient de l'altitude, démontrant le rôle positif que joue ce microsite particulièrement.

Il faut aussi noter l'apparition des espèces, *Argyrobolium uniflorum*, *Asparagus horridus*, *Carduncellus pinnatus*, *Echinaria capitata* et *Scorzonera undulata* au niveau des microsites ouverts aux altitudes élevées.

Afin de vérifier l'effet des microsites sur l'impact du gradient abiotique sur les traits des espèces, des analyses GRM pour l'effet d'interaction altitude x microsite sur les traits des espèces ont été réalisées. Les résultats significatifs sont présentés sur les (tableaux -24))

Tableau -24 - Résumé des modèles généraux de régression pour les effets significatifs de l'altitude, de microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions significatives sur la taille, largeur ou état phénologique.

	Altitude		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre		Altitude x microsite touffe		Altitude x microsite ouvert		Altitude x microsite arbre	
	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P
Espèces														
Hauteur <i>Aristida obtusa</i>	-0.03	ns	-0.07	ns	0.29	*	0.06	ns	-0.08	ns	0.29	*	0.06	ns
Largeur <i>Artemesia herba alba</i>	0.02	ns	-0.07	ns	0.23	ns	-0.05	ns	-0.07	ns	0.23	(*)	-0.05	ns
Hauteur <i>Calendula aegyptiaca</i>	0.09	ns	-0.06	ns	-0.30	*	-0.06	ns	-0.05	ns	-0.30	*	-0.07	ns
Etat phénologique <i>Calendula aegyptiaca</i>	0.09	ns	-0.22	(*)	-0.36	**	-0.12	ns	-0.20	ns	-0.36	**	-0.12	ns
Hauteur <i>Draba verna</i>	-0.18	*	-0.15	ns	-0.10	ns	-0.36	**	-0.16	ns	-0.10	ns	0.37	**
Etat phénologique de <i>Draba verna</i>	-0.17	*	-0.16	ns	-0.08	ns	0.38	**	-0.17	ns	-0.09	ns	0.40	***
Hauteur <i>Echinops spinosus</i>	0.13	ns	-0.22	(*)	-0.25	(*)	-0.04	ns	-0.21	(*)	-0.24	(*)	-0.05	ns
Hauteur <i>Erodium triangulare</i>	0.07	ns	-0.03	ns	-0.02	ns	0.28	*	-0.03	ns	-0.03	ns	0.27	*
Etat phénologique de <i>Erodium triangulare</i>	0.07	ns	-0.03	ns	-0.006	ns	0.34	*	-0.03	ns	-0.01	ns	0.33	*
Etat phénologique de <i>Micropus</i>	0.03	ns	-0.36	**	-0.42	**	-0.76	ns	-0.35	**	-0.41	**	-0.15	ns

<i>bombycinus</i>														
Hauteur	-0.009	ns	-0.24	(*)	-0.02	ns	-0.114	ns	-0.24	(*)	-0.01	ns	-0.1	ns
<i>Plantago albicans</i>														
Etat	0.02	ns	-0.26	*	-0.01	ns	-0.10	ns	-0.26	*	-0.01	ns	-0.09	ns
<i>Plantago albicans</i>														

β , coefficient de régression
 ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$; ns, non significatif

L'effet d'interaction est significatif entre l'altitude et le microsite touffé sur la hauteur de *Echinops spinosus*, l'état phénologique de *Micropus bombycinus* et la hauteur et l'état phénologique de *Plantago albicans*. Ainsi, l'effet d'interaction est significatif entre l'altitude et le microsite arbre sur la hauteur et l'état phénologique de *Draba verna* et la hauteur et l'état phénologique de *Erodium triangulare*. L'effet de l'altitude sur ces traits dépend alors de l'effet du microsite.

En comparant avec les coefficients de corrélations (r) produits par les nuages de points des graphiques catégorisés, r est négatif pour la hauteur de *Echinops spinosus* et la hauteur et l'état phénologique de *Plantago albicans* (cette espèce a été trouvée à l'état végétatif ou en fleuraison) dans le microsite touffé en fonction de l'altitude, indiquant un effet négatif pour ces espèces. Un r positif caractérise la relation entre l'état phénologique de *Micropus bombycinus* (état végétatif, débourrement, fleuraison) et l'altitude dans le microsite touffé ce qui implique un effet positif de ce microsite sur cette espèce.

Concernant le microsite arbre, pour *Erodium triangulare*, r est positif. La facilitation jouée par ce microsite sur cette espèce est donc confirmée et pour *Draba verna* l'effet est négatif ($r < 0$).

A l'issue de ces résultats, nous pouvons résumer que les espèces facilitées par le microsite touffé le long de gradient de sévérité lié à l'altitude sont les suivantes :

- *Calendula aegyptiaca*
- *Erodium triangulare*
- *Euphorbia falcata*
- *Helianthemum croceum*
- *Hyoseris radiata*
- *Lobularia lybica*
- *Medicago hispida*
- *Micropus bombycinus*

- *Paronychia argentea*
- *Scorzonera laciniata*
- *Lappula redowskii*
- *Juniperus phoenicea*

Il existe alors, dans le système étudié un patron de distribution d'associations positives de certaines espèces aux terracettes formées par *S. tenacissima*. Ceci, soutient l'hypothèse que dans les pentes, les terracettes formées par la touffe d'alfa facilitent certaines espèces (Sanchez et Puigdefabregas, 1994 et Puigdefabregas et Sanchez, 1996). L'effet positif est montré particulièrement par la présence de l'espèce *Juniperus phoenicea*, la touffe d'alfa facilite l'installation et le développement des jeunes individus de genévrier rouge, plusieurs travaux dans le sud de l'Espagne ont montré l'effet positif de l'alfa sur les semis de plusieurs espèces (Barbera et al., 2006). Notons aussi la présence des espèces vivaces telles que, *Paronychia argentea* (ligneuse), *Helianthemum croceum* (semi-ligneuse) et *Hyoseris radiata*. Le même résultat a été trouvé par Garcia-Fayos et Gasque (2002) pour l'espèce *Paronychia argentea*, et qui ont montré que dans les pentes les terracettes formées par *S. tenacissima* facilitent les espèces ligneuses. Notons la présence aussi des espèces bisannuelles telles que *Medicago hispida* et *Scorzonera laciniata*.

Les espèces facilitées le long du gradient altitudinal par l'arbre sont les suivantes :

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| - <i>Aristida obtusa</i> | - <i>Hordeum murinum</i> |
| - <i>Asparagus acutifolius</i> | - <i>Lobularia lybica</i> |
| - <i>Astragalus sinaicus</i> | - <i>Medicago hispida</i> |
| - <i>Calendula aegyptiaca</i> | - <i>Micropus bombycinus</i> |
| - <i>Centaurea parviflora</i> | - <i>Plantago albicans</i> |
| - <i>Crucianella patula</i> | - <i>Schismus barbatus</i> |
| - <i>Echinops spinosus</i> | - <i>Scorzonera laciniata</i> |
| - <i>Erodium triangulare</i> | - <i>Sedum album</i> |
| - <i>Ferula vesceritensis</i> | - <i>Sisymbrium coronopifolium</i> |
| - <i>Globularia alypum</i> | - <i>Stipa tenacissima</i> |
| - <i>Helianthemum croceum</i> | - <i>Suaeda fructicosa</i> |

L'effet positif du microhabitat crée par l'arbre est mis en évidence par la présence des espèces telle que *Stipa tenacissima*, graminée vivace thermophile, *Globularia alypum*, espèce vivace connue pour être thermophile (Kadi Hanifi, 1997) et indicatrice de sol bien drainé (Pouget, 1980). L'espèce *Asparagus acutifolius* qui est une espèce mésophile (Barbeo et

Loisel, 1983) et indicatrice de sol humifère (Pouget, 1980) et la longueur des ses axes selon (Schnitzler et Arnold, 2010) la rend vulnérable à l'embolisme (c'est-à-dire l'interruption des flux de sève) provoqué par des périodes de gel ou de sécheresse et qui peut lui être fatal, sa présence sous le couvert de l'arbre reflète alors, une interaction de facilitation. Ainsi pour l'espèce *Suaeda fruticosa*, qui est aussi une espèce thermophile et indicatrice de sols riches en nutriments. On note aussi la présence de plusieurs espèces pérennes, ligneuses telles que, *Centaurea parviflora*, *Astragalus sinaicus*, semi-ligneuses telle que *Helianthemum croceum*, ou grasse telle que *Sedum album*.

Des résultats similaires ont été trouvés pour l'espèce *Globularia alypum* par Garcia-Fayos et Gasque (2002) qui ont noté un pourcentage de mortalité faible de cette espèce dans les microsites formés par la végétation au niveau des pentes par rapport aux surfaces nues après une longue période de sécheresse. De même pour *Stipa tenacissima*, Armas et Pugnaire (2005) ont observé que le microsite arbre a joué un « effet nursing », particulièrement sur les jeunes individus de *Stipa tenacissima*. Armas et al. (2009) ont montré que *S. tenacissima* a été facilitée à la limite supérieure de son aire de répartition par des arbustes.

La même analyse a été réalisée avec le gradient de l'humidité de sol (tableau-25-), les résultats montrent que l'abondance et la performance de *Draba verna* et l'abondance *Helianthemum hirtum* diminue significativement dans le microsite arbre le long d'un gradient croissant d'humidité, ce qui reflète que ces espèces s'associent à l'arbre qu'à des niveaux d'humidité faibles. Ceci démontre l'interaction positive du microsite arbre avec ces espèces à des niveaux de disponibilité en eau limités.

L'abondance et la performance de *Rosmarinus officinalis* diminue d'une façon significative au niveau du microsite touffé en fonction de l'humidité ce qui reflète aussi que cette espèce s'associe plus au microsite touffé en conditions de sécheresse qu'en conditions d'humidité relativement plus élevées.

Par ailleurs, on note l'augmentation de l'abondance et la performance très significative de *Atractylis humilis* et *Reseda alba* et significative de *Androsace maxima*, ainsi que l'abondance de *Centaurea parviflora*, *Echinops spinosus*, *Micropus bombycinus*, au niveau du microsite arbre avec l'augmentation de l'humidité de sol.

Tandis qu'au niveau du microsite ouvert l'abondance et la performance de *Androsace maxima* et *Carduncellus pinnatus* augmente significativement et celles de *Reseda alba* très significativement en fonction de l'humidité. Ainsi pour la performance d'*Atractylis humilis*.

Tableau -25 - Résumé des relations significatives entre (abondance, taille, largeur) des espèces et l'humidité de sol en fonction du microsite.

Espèces		Humidité					
		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
		<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
<i>Androsace maxima</i>	Abondance	0.06	ns	0.29	*	0.32	*
	Hauteur	0.10	ns	0.26	(*)	0.32	*
	Etat phénologique	0.10	ns	0.30	*	0.24	ns
<i>Atractylis humilis</i>	Abondance	/	/	0.15	ns	0.43	**
	Hauteur	/	/	0.32	*	0.50	***
<i>Carduncellus pinnatus</i>	Abondance	/	/	0.40	**	/	/
	Hauteur	/	/	0.40	**	/	/
	Etat phénologique	/	/	0.40	***	/	/
<i>Centaurea parviflora</i>	Abondance	/	/	/	/	0.30	(*)
<i>Draba verna</i>	Abondance	-0.19	ns	-0.13	ns	-0.11	(*)
	Hauteur	-0.19	ns	-0.14	ns	-0.30	*
	Etat phénologique	-0.19	ns	-0.15	ns	-0.39	*
<i>Echinops spinosus</i>	Abondance	0.14	ns	-0.05	ns	0.37	*
<i>Helianthemum hirtum</i>	Abondance	/	/	0.05	ns	-0.2	(*)
<i>Micropus bombycinus</i>	Abondance	-0.14	ns	-0.05	ns	0.26	(*)
<i>Reseda alba</i>	Abondance	/	/	0.5	***	0.4	**

	Hauteur	/	/	0.52	***	0.43	**
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Abondance	-0.3	(*)	-0.15	ns	-0.2	ns
	Largeur	-0.31	(*)	-0.15	ns	-0.23	ns

r, coefficient de corrélation

****P*<0.001 , ** *P*<0.01 , **P*<0.05 ,(*)*P*<0.1 , *ns* :non significatif, / : absence de l'espèce .

D'autre part, l'analyse graphique permet d'observer selon les pentes de régression que :

- L'abondance de *Lappula redowskii*, *Schismus barbatus*, *Stipa retorta* et *Teucrium polium* diminue dans le microsite arbre et augmente dans les autres microsites en fonction de l'humidité.
- L'abondance de *Alyssum granatense*, *Astragalus sinaicus* et *Herniaria hirsuta* diminue dans le microsite touffe et augmente dans les autres microsites en fonction de l'humidité.
- L'abondance de *Aristida obtusa*, *Calendula aegyptiaca*, *Echinops spinosus*, *Erodium triangulare*, *Leontodon hispanicus* diminue dans le microsite ouvert et augmente dans les autres microsites en fonction de l'humidité.

L'association de ces espèces aux microsites touffe et arbre à des niveaux faibles de l'humidité seulement reflète des interactions positives entre les espèces formant les microsites et celles qui poussent sous leur couvert à l'extrémité sèche du gradient d'humidité. Au niveau du microsite ouvert l'abondance plus importante des espèces aux faibles taux d'humidité reflète la tolérance de ces espèces à la sécheresse.

Pour bien détecter le rôle des microsites, il est important de classer les espèces selon leur présence ou absence aux niveaux relativement, secs ou humides du gradient établi, cette classification est possible par l'analyse des graphiques catégorisés de l'abondance des espèces en fonction de l'humidité (tableau -26-).

Tableau – 26 - Présence des espèces dans les microsites touffe, ouvert et arbre le long de gradient d'humidité.

Espèces	Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre	
	humide	sec	humide	sec	humide	sec
<i>Alyssum granatense</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Ammochloa pungens</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Androsace maxima</i>	x	x	x	--	x	x
<i>Argyrobium uniflorum</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Aristida obtusa</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Artemesia herba alba</i>	--	--	--	x	x	x
<i>Asparagus acutifolius</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Asparagus horridus</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Astragalus sinaicus</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Atractylis humilis</i>	--	--	x	x	x	x
<i>Bromus rubens</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Calendula aegyptiaca</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Carduncellus pinnatus</i>	--	--	x	--	--	--
<i>Centaurea parviflora</i>	--	--	--	--	x	x
<i>Ceratocephala falcata</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Crucianella patula</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Draba verna</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Echinaria capitata</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Echinops spinosus</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Erodium triangulare</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Euphorbia bupleuroides</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Euphorbia falcata</i>	x	x	--	x	x	x
<i>Ferula vesceritensis</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Filago spathulata</i>	--	x	x	x	--	--
<i>Globularia alypum</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Helianthemum croceum</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Helianthemum hirtum</i>	--	--	x	x	--	x
<i>Herniaria hirsuta</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Hordeum murinum</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Hyoseris radiata</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Lappula redowskii</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Launaea glomerata</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Launaea acanthoclada</i>	--	x	--	x	--	x

<i>Leontodon hispanicus</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Lobularia lybica</i>	x	--	--	x	--	x
<i>Medicago hispida</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Micropus bombycinus</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Muscari comosum</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Paronychia argentea</i>	--	x	--	x	x	x
<i>Plantago albicans</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Plantago amplexicaule</i>	--	--	--	x	--	x
<i>Plantago psyllium</i>	--	x	--	--	--	x
<i>Polycnemum fontanesii</i>	x	x	x	x	--	x
<i>Reseda alba</i>	--	--	x	--	x	--
<i>Rosmarinus officinalis</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Scabiosa stellata</i>	--	--	--	x	--	x
<i>Schismus barbatus</i>	--	x	x	x	--	x
<i>Scorzonera laciniata</i>	--	x	--	--	--	x
<i>Scorzonera undulata</i>	--	--	--	x	--	--
<i>Sedum album</i>	--	x	--	x	--	x
<i>Sisymbrium coronopifolium</i>	--	--	--	--	x	x
<i>Stipa retorta</i>	--	x	x	x	x	x
<i>Suaeda fruticosa</i>	--	--	--	--	--	x
<i>Teucrium polium</i>	--	x	--	x	--	x

x présence de l'espèce ; -- absence de l'espèce

À des faibles taux d'humidité de sol, 47 et 28 de l'ensemble des espèces inventoriées ont été retrouvées au niveau des microsites arbre et touffe, respectivement. Alors qu'à des niveaux d'humidité relativement élevés, un nombre de 25 et de 5 espèces seulement sont recensées au niveau de ces microsites, respectivement.

Ces chiffres indiquent que **85%** et **51%** des espèces s'associent aux microsites arbre et touffe, respectivement, lorsque le stress de disponibilité en eau augmente, alors qu'en conditions de stress relativement moins importantes seulement, **45%** et **9%** de ces espèces vont se trouver au niveau de ces microsites, respectivement.

De plus 7 espèces, *Asparagus acutifolius*, *Bromus rubens*, *Crucianella patula*, *Ferula vesceritensis*, *Globularia alypum*, *Hordeum murinum*, *Suaeda fruticosa*. ont été associées uniquement au microsite arbre à l'extrémité sèche du gradient, alors qu'aucune espèce se trouvait uniquement sous l'arbre aux niveaux plus humides. 3 espèces, *Androsace maxima*, *Plantago psyllium*, *Scorzonera laciniata* se trouvaient qu'aux niveaux humides ou étaient

absentes dans les microsites ouverts apparaissent avec la diminution de l'humidité dans les microsites arbre et touffe.

Il faut aussi noter la présence d'*Ammochloa pungens*, *Argyrolobium uniflorum*, *Asparagus horridus*, *Echinaria capitata*, *Scorzonera undulata* uniquement dans les microsites ouverts et à des niveaux d'humidité faibles.

Afin de vérifier l'effet des microsites sur l'effet du gradient d'humidité de sol sur les traits des espèces, des analyses GRM pour humidité x microsite, et leur interaction sur les traits des espèces ont été réalisées. Les résultats significatifs sont présentés sur les (tableau - 27-).

Tableau - 27- Résumé des modèles généraux de régression pour les effets de l'humidité de sol, et de microsite (touffe, ouvert, arbre) et de leurs interactions significatives sur la taille, largeur ou état phénologique

Espèces	humidité		Microsite touffe		Microsite ouvert		Microsite arbre		Altitude x microsite touffe		Altitude x microsite ouvert		Altitude x microsite arbre	
	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P	β	P
Etat phénologique <i>Alyssum granatense</i>	0.04	ns	0.001	ns	-0.05	ns	0.19	ns	-0.004	ns	-0.06	ns	0.20	(*)
Hauteur <i>Androsace maxima</i>	0.22	*	0.06	ns	0.04	ns	-0.06	ns	0.18	(*)	0.26	*	0.11	ns
Etat phénologique <i>Androsace maxima</i>	0.21	*	0.09	ns	-0.01	ns	-0.03	ns	0.22	*	0.18	(*)	0.14	ns
Hauteur <i>Artemisia herba alba</i>	0.09	ns	0.12	ns	0.13	ns	0.13	ns	-0.05	ns	0.24	***	0.04	ns
Largeur <i>Artemisia herba alba</i>	0.05	ns	-0.08	ns	0.22	ns	-0.06	ns	-0.06	ns	0.23	*	-0.04	ns
Hauteur de <i>Astragalus sinicus</i>	0.12	ns	-0.04	ns	0.12	ns	-0.03	ns	-0.0002	ns	0.26	*	0.03	ns
Etat phénologique <i>Astragalus sinicus</i>	0.14	ns	-0.04	ns	0.11	ns	-0.02	ns	0.004	ns	0.26	*	0.06	ns
Hauteur <i>Atractylis humilis</i>	0.30	***	-0.55	*****	-0.38	**	-0.51	****	-0.04	ns	0.29	**	0.15	ns

Hauteur <i>Calendula aegyptiaca</i>	-0.01 ns	-0.07 ns	-0.31 *	-0.08 ns	0.003 ns	-0.20 *	0.08 ns
Etat phénologique de <i>Calendula aegyptiaca</i>	0.04 ns	-0.22 (*)	-0.38 **	-0.14 ns	-0.02 ns	-0.17 (*)	0.14 ns
Hauteur <i>Carduncellus pinnatus</i>	0.25 **	-0.05 ns	0.06 ns	-0.05 ns	0.08 ns	0.40 ****	0.10 ns
Etat phénologique <i>Carduncellus pinnatus</i>	0.25 **	-0.05 ns	0.06 ns	-0.05 ns	0.08 ns	0.40 ****	0.10 ns
Etat phénologique <i>Centaurea parviflora</i>	0.006 ns	-0.035 ns	-0.039 ns	0.11 ns	0.03 ns	0.04 ns	0.35 ***
Hauteur <i>Ceratocephalus falcatus</i>	0.12 ns	0.13 ns	0.02 ns	-0.08 ns	0.21 *	0.14 ns	-0.01 ns
Hauteur de <i>Draba verna</i>	-0.20 *	-0.12 ns	-0.05 ns	0.42 ***	-0.28 **	-0.26 **	0.05 ns
Etat phénologique <i>Draba verna</i>	-0.20 *	-0.13 ns	-0.04 ns	-0.44 ***	-0.30 **	-0.27 **	0.08 ns
Hauteur <i>Echinops spinosis</i>	0.14 ns	-0.25 (*)	-0.28 *	-0.09 ns	0.009 ns	-0.02 ns	0.22 *
Hauteur <i>Erodium triangulare</i>	0.06 ns	-0.04 ns	-0.04 ns	0.26 ns	-0.01 ns	-0.06 ns	0.26 *
Etat phénologique <i>Erodium triangulare</i>	0.05 ns	-0.04 ns	-0.02 ns	0.32 *	-0.044 ns	-0.08 ns	0.28 **
Hauteur <i>Medicago hispida</i>	-0.16 (*)	-0.01 ns	0.009 ns	0.19 ns	-0.15 ns	-0.18 *	-0.04 ns
Etat phénologique <i>Medicago hispida</i>	-0.14 ns	-0.009 ns	0.013 ns	0.19 ns	-0.15 ns	-0.18 *	-0.007 ns
Hauteur <i>Micropus bombycinus</i>	0.02 ns	-0.13 ns	-0.12 ns	-0.03 ns	-0.12 ns	-0.13 ns	0.17 (*)
Hauteur <i>Reseda alba</i>	0.41 ****	-0.08 ns	0.04 ns	-0.01 ns	0.14 ns	0.49 ****	0.34 ***
Hauteur <i>Rosmarinus officinalis</i>	-0.18 *	-0.007 ns	-0.018 ns	0.23 ns	-0.18 (*)	-0.20 (*)	-0.03 ns
Largeur <i>Rosmarinus officinalis</i>	-0.21 *	0.03 ns	-0.02 ns	0.19 ns	-0.19 (*)	-0.23 *	-0.08 ns

β , coefficient de régression

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; (*) $P < 0,1$; ns, non significatif

Le terme d'interaction humidité x microsite touffe est significatif pour :

- Hauteur et état phénologique de *Androsace maxima*
- Hauteur de *Ceratocephalus falcatus*
- Hauteur et état de *Draba verna*

Seul le coefficient de corrélation de la hauteur de *Draba verna* en fonction de l'humidité est négatif, indiquant que cette espèce était facilitée par ce microsite aux niveaux les plus stressants de l'humidité de sol.

Le terme d'interaction humidité x microsite arbre est significatif pour :

- Etat phénologique de *Alyssum granatense*
- Etat phénologique de *Centaurea parviflora*
- Hauteur de *Echinops spinosus*
- Hauteur et état phénologique de *Erodium triangulare*
- Hauteur de *Micropus bombycinus*
- Hauteur de *Reseda alba*

Ici encore, seul le coefficient de corrélation de la hauteur de *Reseda alba* en fonction de l'humidité est négatif, indiquant que cette espèce était facilitée par ce microsite à des faibles taux d'humidité de sol.

Pour résumer l'effet du gradient d'humidité de sol sur les espèces et le rôle joué par les microsites arbre et touffe, il faut noter que, les espèces favorisées dans le microsite touffe le long de gradient d'humidité décroissante, sont les suivantes :

- *Alyssum granatense*
- *Androsace maxima*
- *Astragalus sinaicus*
- *Draba verna*
- *Herniaria hirsuta*
- *Plantago psyllium*
- *Rosmarinus officinalis*
- *Scorzonera laciniata*

L'effet positif du microsite touffe en conditions de stress lié à la disponibilité en eau est marqué, particulièrement, par la présence de l'arbrisseau *Rosmarinus officinalis*, la touffe de *Stipa tenacissima* facilite l'installation et la croissance de *Rosmarinus officinalis* en conditions de sécheresse tel qu'il a été rapporté par Garcia-Fayos et Gasque (2002). Notons

aussi la présence d'*Astragalus sinaicus*, espèce pérenne ligneuse, et *Alyssum granatense* qui selon Aidoud (1989) fait partie de la catégorie des éphémérophytes caractérisées par leur aptitude à se développer très rapidement à la faveur d'épisodes humides même de très courte durée; cette espèce, se développe bien en conditions de sécheresse dans le microsite touffe, ce qui pourrait être dû à l'amélioration de l'humidité liée à la présence de la touffe par rapport aux surfaces nues.

Nous pouvons aussi observer la présence des espèces indicatrices d'une action de perturbation anthropique telles que : *Androsace maxima*, *Draba verna*, *Herniaria hirsuta* et *Plantago psyllium*. Rappelons que le pâturage était plus important dans les sites qui présentaient les plus faibles taux d'humidité de sol, ces espèces ont été, alors, favorisées par le pâturage, et nous supposons aussi que l'association des espèces *Rosmarinus officinalis* et *Astragalus sinaicus*, qui sont particulièrement appréciés par le pâturage, à l'alfa représente aussi une forme d'association de défense contre ce type de perturbation.

Les espèces favorisées dans le microsite arbre sont les suivantes:

- *Androsace maxima*
- *Asparagus acutifolius*
- *Bromus rubens*
- *Centaurea parviflora*
- *Crucianella patula*
- *Draba verna*
- *Ferula vesceritensis*
- *Globularia alypum*
- *Helianthemum hirtum*
- *Hordeum murinum*
- *Lappula redowskii*
- *Plantago psyllium*
- *Reseda alba*
- *Schismus barbatus*
- *Scorzonera laciniata*
- *Stipa retorta*
- *Teucrium polium*
- *Suaeda fructicosa*

Le rôle positif joué par le microsite arbre en conditions de sécheresse est particulièrement montré par, la présence de plusieurs espèces vivaces et ligneuses telles que, *Asparagus acutifolius*, espèce mésophile (Barbeo et Loisel, 1983) et indicatrice d'ambiance

fraiche (Aimé, 1976) et de sols humifères et poussant à $P > 300$ mm (Pouget, 1980), *Globularia alypum*, indicatrice de sols bien drainés (Pouget, 1980), *Helianthemum hirtum* *Teucrium polium*, qui pousse à $300 < P < 430$ mm (Kadi hanifi, 1983) et *Centaurea parviflora*. Des résultats similaires ont été trouvés pour les espèces *Teucrium polium* et *Globularia alypum* après une période de sécheresse (Garcia-Fayos et Gasque, 2002).

Il faut aussi signaler la présence des espèces appréciées par le pâturage telles que, *Schismus barbatus* ($200 < P < 300$ mm, Kadi-hanifi, 1983) *Stipa retorta*, *Reseda alba* (indicatrice de présence de matière organique) et *Hordeum murinum*. Les mêmes résultats ont été observés par Michalet et al. (2012), pour *Schismus barbatus*, ils ont noté un taux de recouvrement élevé pour cette espèce sous le microsite arbre alors qu'elle disparaît du microsite ouvert après une saison de sécheresse.

En comparant avec l'effet de l'altitude le même schéma ressort pour les espèces *Asparagus acutifolius*, *Globularia alypum*, *Crucianella patula*, *Ferula vesceritensis*, , *Hordeum murinum* qui se retrouvent uniquement sous l'arbre et *Scorzonera laciniata* uniquement sous l'arbre et la touffe, à des altitudes élevées et des niveaux d'humidité faibles, ce qui confirme l'effet positif du microsite arbre et touffe sur ces espèces à des conditions de milieu sévères. La SGH « *stress gradient hypothesis* » est donc vérifiée pour ces espèces le long de gradient de stress abiotique (Bertness & Callaway, 1994; Callaway & Walker, 1997).

Toutefois, le long de gradient d'altitude ou d'humidité les espèces, *Argyrolobium uniflorum*, *Asparagus horridus*, *Echinaria capitata*, *Scorzonera undulata* apparaissent au niveau des microsites ouverts à des altitudes élevées et des taux d'humidité faibles. Ces espèces révèlent ainsi une tolérance à ces conditions abiotiques rigoureuses.

L'effet des interactions biotiques positives semble donc bien dépendant des conditions environnementales (Choler et al. 2001) mais aussi des espèces (Grime 1977, Liancourt et al. 2005a). L'ensemble de ces résultats permet de démontrer que les microhabitats formés par les microsites arbre et touffe permettent l'établissement et la croissance d'un nombre important d'espèce le long de gradient de sévérité lié à l'altitude où à la disponibilité en eau. Ces résultats corroborent ceux de Franco & Nobel (1989) ; Callaway, (1995); Pugnaire et al. (1996a). et Callaway et al. (2002) qui considèrent que les microhabitats fertiles créés par les canopées tamponnent les conditions environnementales extrêmes, et les plantes peuvent atteindre une performance physiologique supérieure à celle des individus non associés.

La facilitation apparait comme un processus important dans la structuration des communautés de notre région d'étude, ce qui est en accord avec les propos de Callaway, (1995); Michalet et *al.* (2006); Brooker et *al.* (2007), notamment dans des conditions environnementales extrêmes (Bertness et Callaway, 1994; Callaway et Walker, 1997). Le syndrome de la plante nurse est un exemple aujourd'hui bien documenté d'interactions positives entre plantes, et dans lequel les individus adultes de l'espèce nurse augmentent les performances (installation et croissance) des plantules d'une autre espèce (Callaway, 1995) et le cycle de végétation est plus étalé (Akpo, 1997).

Le plus souvent, les plantes nurses améliorent les conditions microclimatiques et les propriétés physico-chimiques du sol (facilitation directe). Protection contre les températures extrêmes, augmentation de l'humidité et de la matière organique du sol, ou protection contre les herbivores font également partie des avantages dont peuvent bénéficier indirectement les plantules à proximité de la plante nurse (facilitation indirecte).

Nous mettons le point, ici, sur l'adaptation locale, qui se produit lorsque la population a évolué par la sélection naturelle, en réponse à des conditions écologiques particulières (Ducousso et *al.*, 1996); l'adaptation se fait grâce à des changements dans les caractéristiques morphologiques et à la synchronisation des phases phénologiques, comportant un réglage de taux de photosynthèse et de modèle de stockage (Crescente et *al.*, 2002).

Ici, les changements de l'environnement étudiés, étaient liés, en premier lieu, aux facteurs qui se présentent avec l'augmentation de l'altitude, ceux-ci pourrait être une diminution de la température, une augmentation de l'évapotranspiration, de la vitesse de vent, ou de l'érosion...etc. Des mesures n'ont pas été faites dans ce sens, pour déterminer les différents facteurs qui covariant avec l'altitude, dans notre région et révéler ceux qui sont principalement déterminants de la structure des communautés le long de ce gradient. Cependant, cela mérite largement d'être précisé pour établir des gradients bien déterminés pour chaque facteur, puisque l'altitude reste un facteur complexe, et selon Körner (2007), il n'existe pas de règle générale à appliquer au gradient altitudinal concernant les autres facteurs, et les deux facteurs les plus importants pour la vie qui sont associés à l'échelle mondiale avec l'altitude sont la baisse de la température de l'air et la réduction de la superficie des terres par étage bioclimatique.

Concernant l'humidité de sol, c'est l'un des composants les plus difficiles des gradients environnementaux liés à l'altitude, comme en témoigne la littérature (Korner, 2003 et Khurshid-Alam, 1973) qui rapportent qu'il n'existe aucune règle sur la tendance des précipitations selon l'altitude et que les gradients de disponibilité en eau peuvent aller dans tous les sens. C'est ce que nous avons constaté dans notre étude, où, au départ, nous avons supposé que le long de chaque transect dans les différentes pentes échantillonnées, un gradient d'humidité de sol décroissante allant de bas en haut de la pente allait s'établir, puisque en haut des pentes les phénomènes d'érosion sont plus importants alors qu'en bas des pentes, il y a une possibilité d'accumulation de l'eau qui permettra au sol d'absorber plus de quantités d'eau. Or, les mesures ont montré des fluctuations de l'humidité le long des transects et il n'y avait pas de gradient d'humidité de sol déterminé le long de gradient altitudinal.

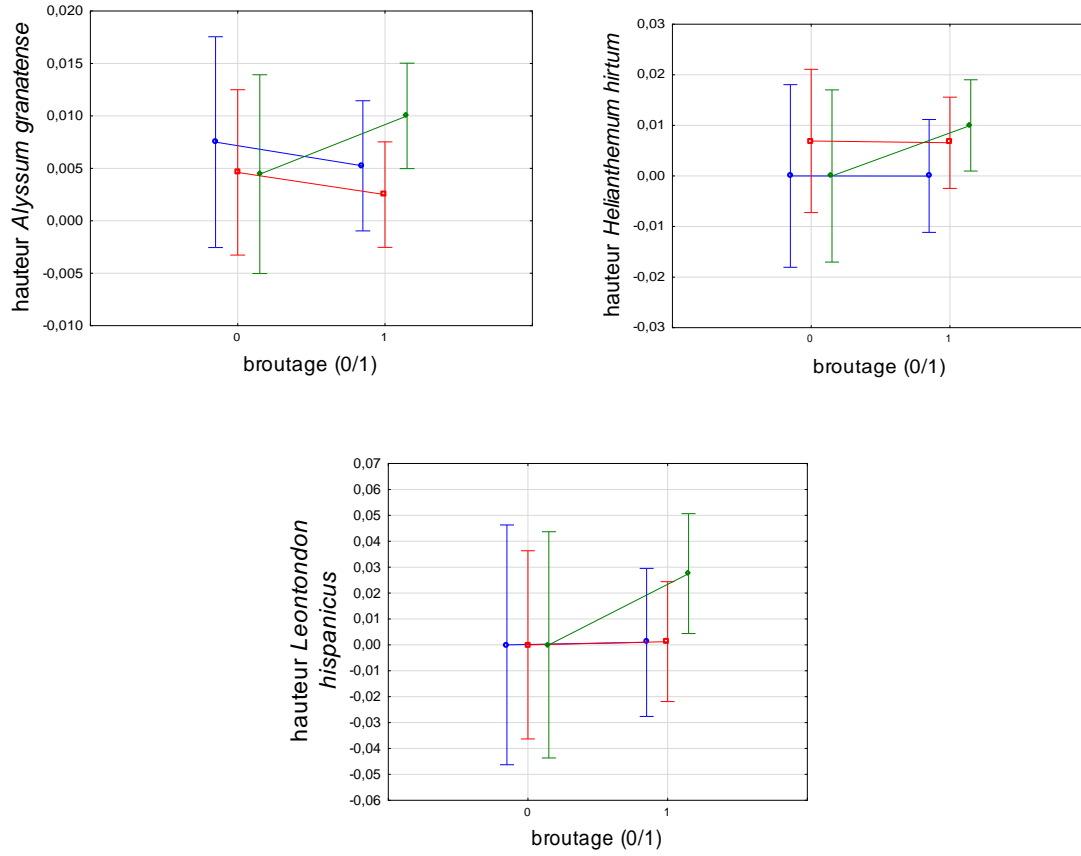
De ce fait, il nous a semblé plus judicieux de considérer le gradient d'humidité en tant que tel, même s'il peut localement suivre un gradient d'altitude. Et nous avons caractérisés des sites à déficit hydrique important (humidité volumique du sol allant de 0 à 8 %) et des sites à déficit hydrique, relativement, moins important (humidité entre 12 et 20 %). Les interactions de facilitations dominaient dans les sites considérés comme relativement secs.

Nous allons nous intéresser à présent au troisième facteur considéré, le pâturage, dont nous avons montré, précédemment, qu'il est plus important à des basses altitudes et au niveau des taux les plus stressants d'humidité de sol, l'ANOVA des effets d'interaction de microsite x broutage (comme indicateur de pâturage) sur la performance (ici exprimée par la hauteur) des espèces permet de vérifier le rôle du microsite sur l'effet de la perturbation des espèces.

Les résultats de cette analyse montrent que l'effet de la perturbation dépend, pour certaines espèces, du microsite. Ils permettent de classer les espèces selon leurs réponses à différents niveaux de perturbation dans chaque microsite.

Des espèces telles que *Helianthemum hirtum*, *Herniaria hirsuta*, *Leontodon hispanicus*, *Alyssum granatense*, *Bromus rubens* et *Suaeda fruticosa* voient leur performance réduire ou sont carrément absentes dans les microsites ouverts et touffés sous l'effet de perturbation, alors que leurs performances augmentent dans le microsite arbre (figure-49-). Les performances de *Plantago albicans*, *Helianthemum croceum* et *Scabiosa stellata*

augment dans le microsite arbre en présence de perturbation mais aussi dans le microsite ouvert, par contre elles sont moins performantes dans le microsite touffe (figure-50-).



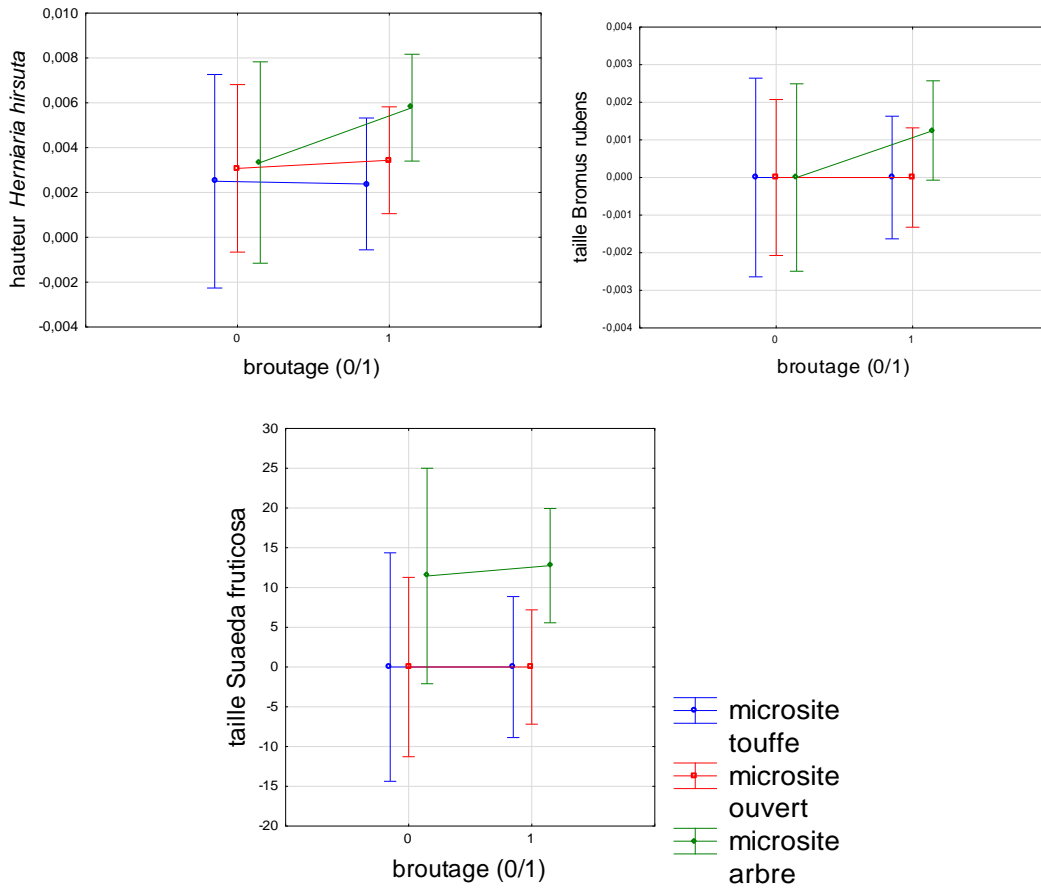
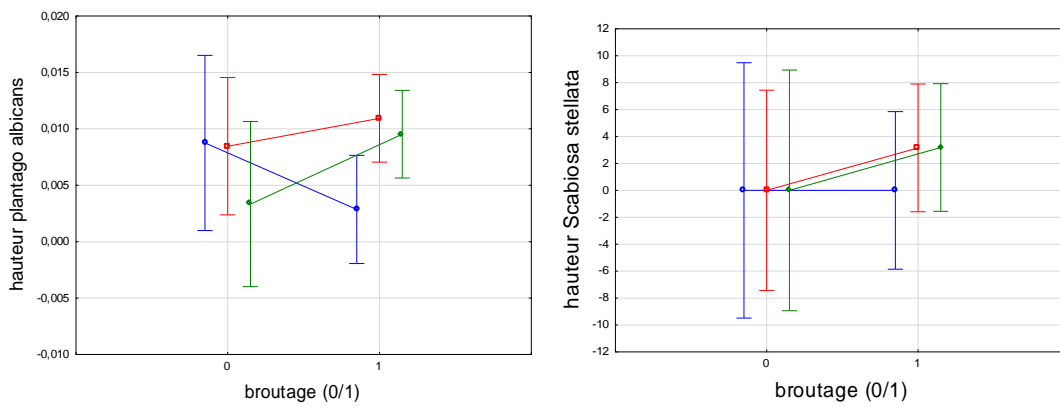


Figure -50 - Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces ($F(142, 78)=1.89 ; p^*$).
Espèces ayant une réponse similaire à la perturbation dans le microsite arbre.



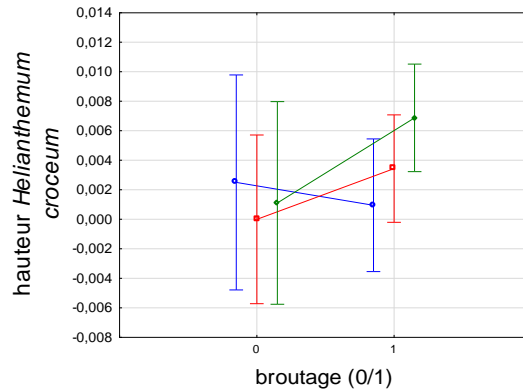


Figure - 51- effet de microsite*perturbation sur *Plantago albicans*, *Helianthemum croceum* et *Scabiosa stellata* (F (142, 78)=1.89 ; p^*).

Les espèces, *Ceratocephalus falcatus*, *Paronychia argentea*, *Medicago hispida*, *Erodium triangulare* et *Plantago psyllium* sont favorisées en présence de perturbation dans le microsite touffe. Quant à *Micropus bombycinus*, elle a une tendance positive dans les microsites ouverts et touffe (figure-51-). On note aussi l'apparition dans le microsite touffe de l'espèce *Euphorbia falcata*.

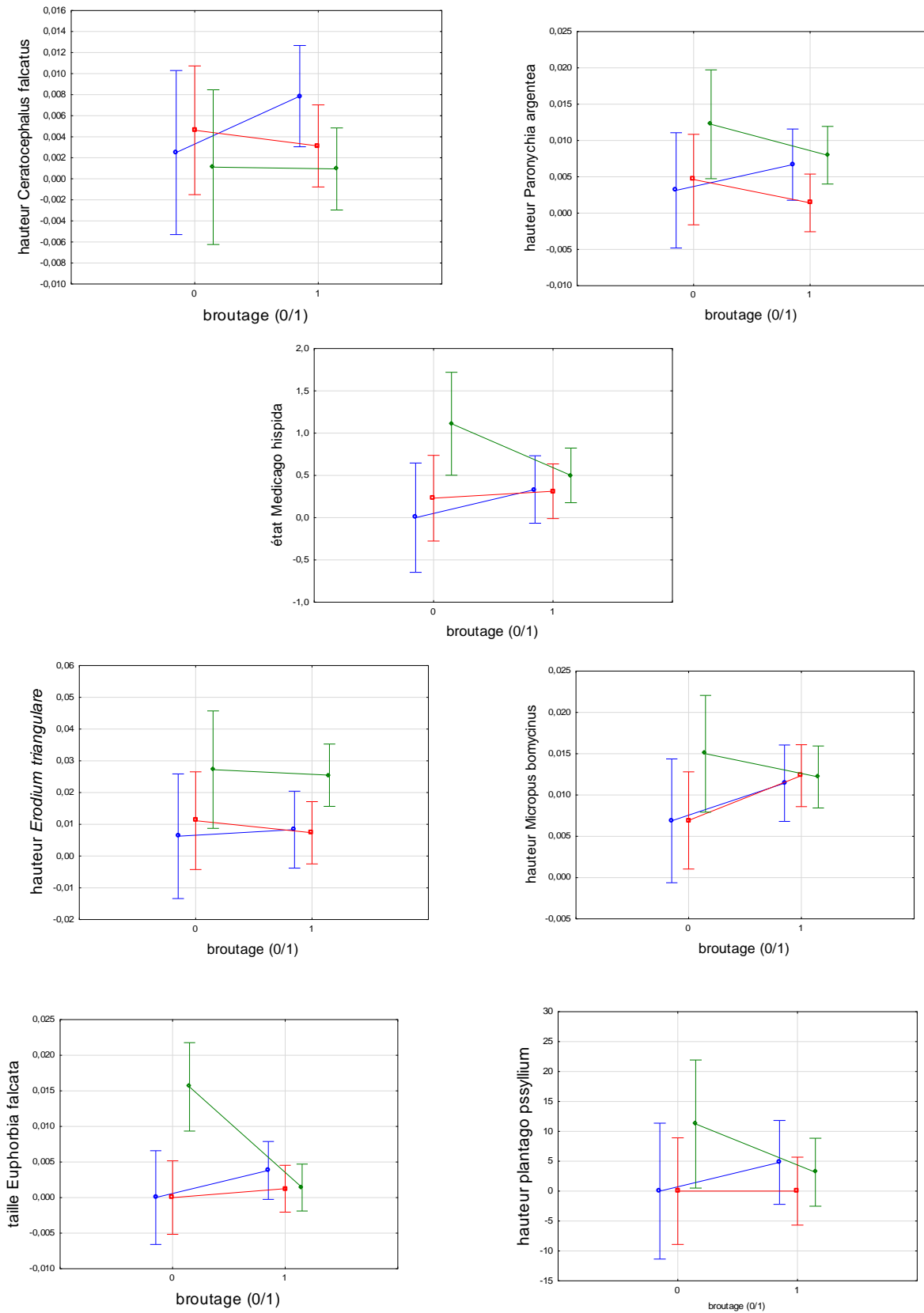


Figure -52- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces (F (142, 78)=1.89 ; p *).

Espèces ayant des réponses similaires à la perturbation dans le microsite touffe.

La performance de l'espèce, *Rosmarinus officinalis* diminue dans le microsite ouvert en présence de perturbation et augmente en s'associant au microsite touffé et arbre (figure - 52-). Ce qui implique une interaction positive des deux types de microsites avec cette espèce contre le pâturage.

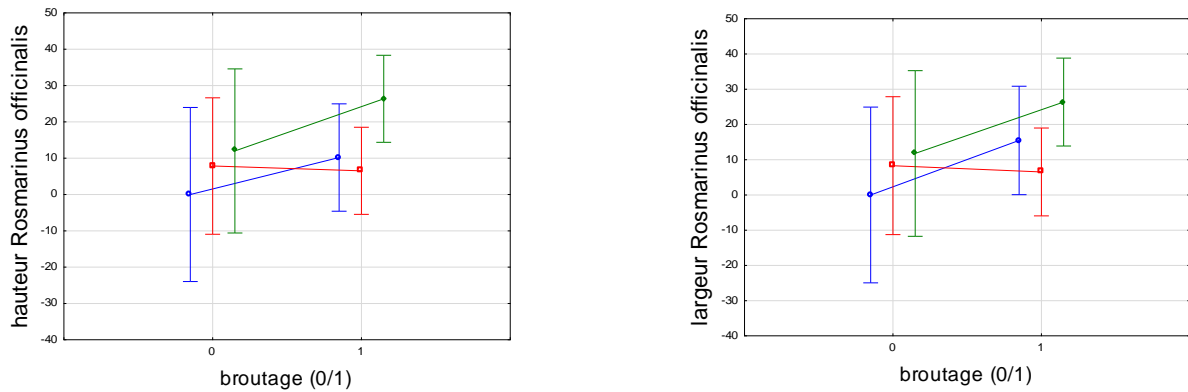


Figure -53 - Effet de microsite*broutage sur *Rosmarinus officinalis* et ($F(142, 78)=1.89$; p^*).

Les espèces *Astragalus sinaicus* et *Scorzonera laciniata* sont favorisées en conditions de perturbation sous les microsites touffé et arbre (figure-53-).

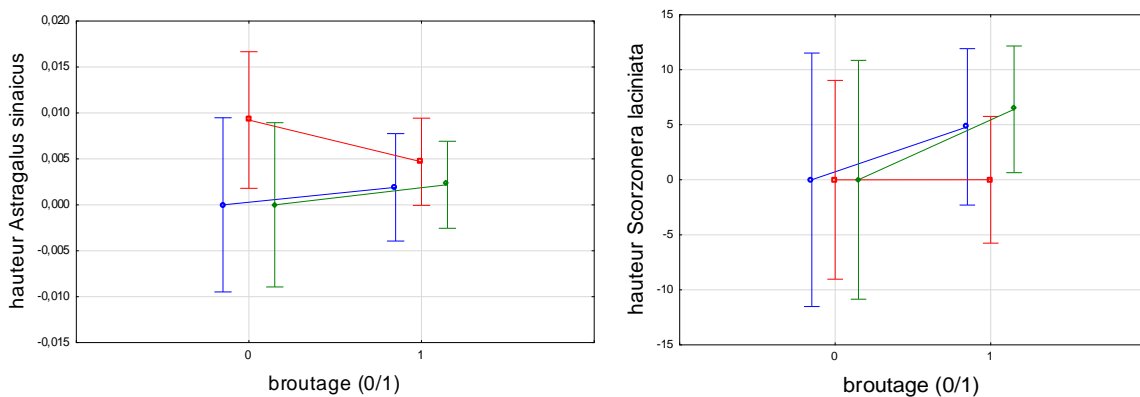


Figure -54 - Effet de microsite*broutage sur les espèces *Astragalus sinaicus* et *Scorzonera laciniata* et ($F(142, 78)=1.89$; p^*).

Les espèces *Aristida obtusa*, *Echinops spinosus*, *Lappula redowskii*, *Filago spathulata* et *Argyrolobium uniflorum* ont des tendances positives (figure-54-) en présence de pâturage dans le microsite ouvert.

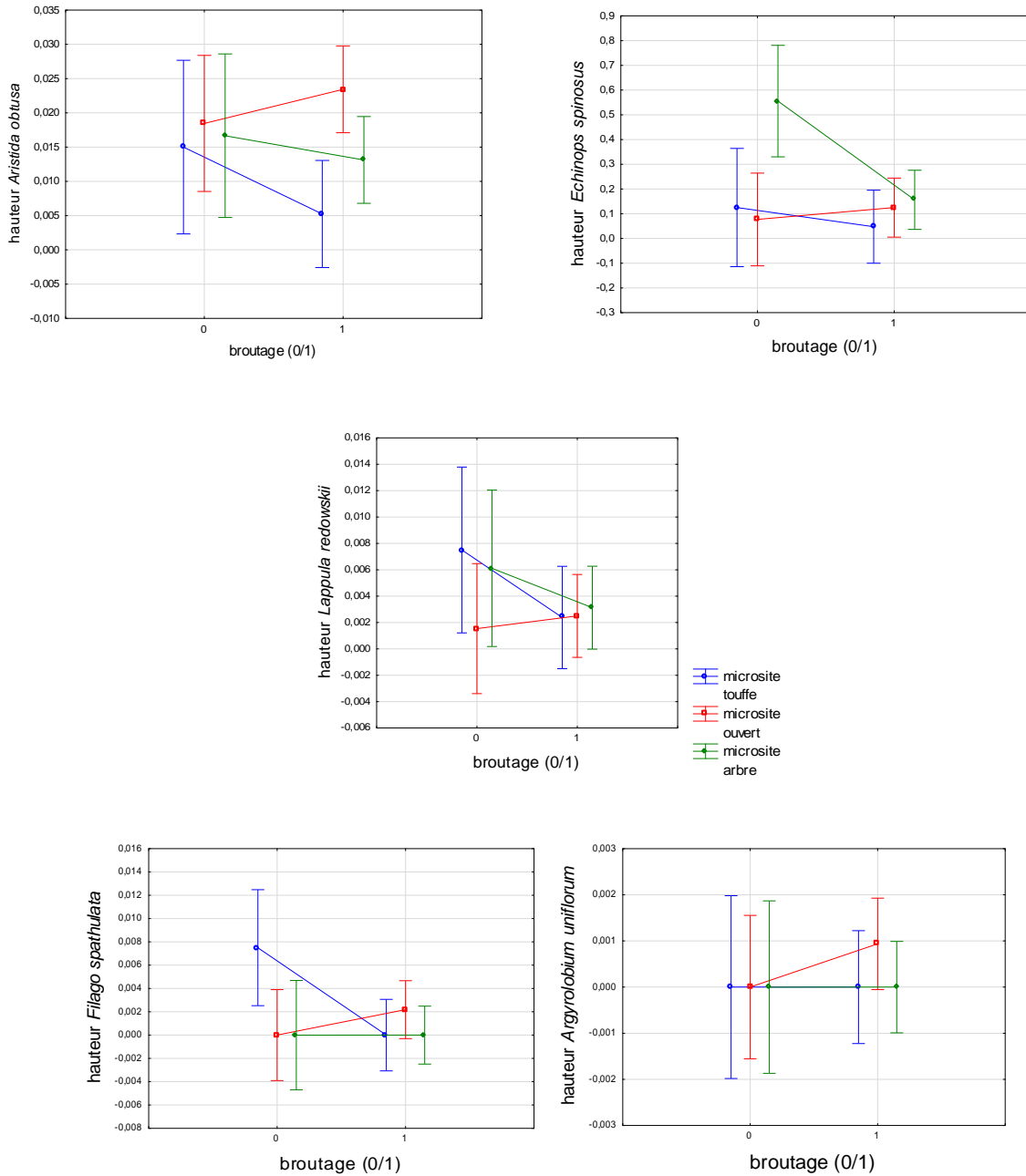
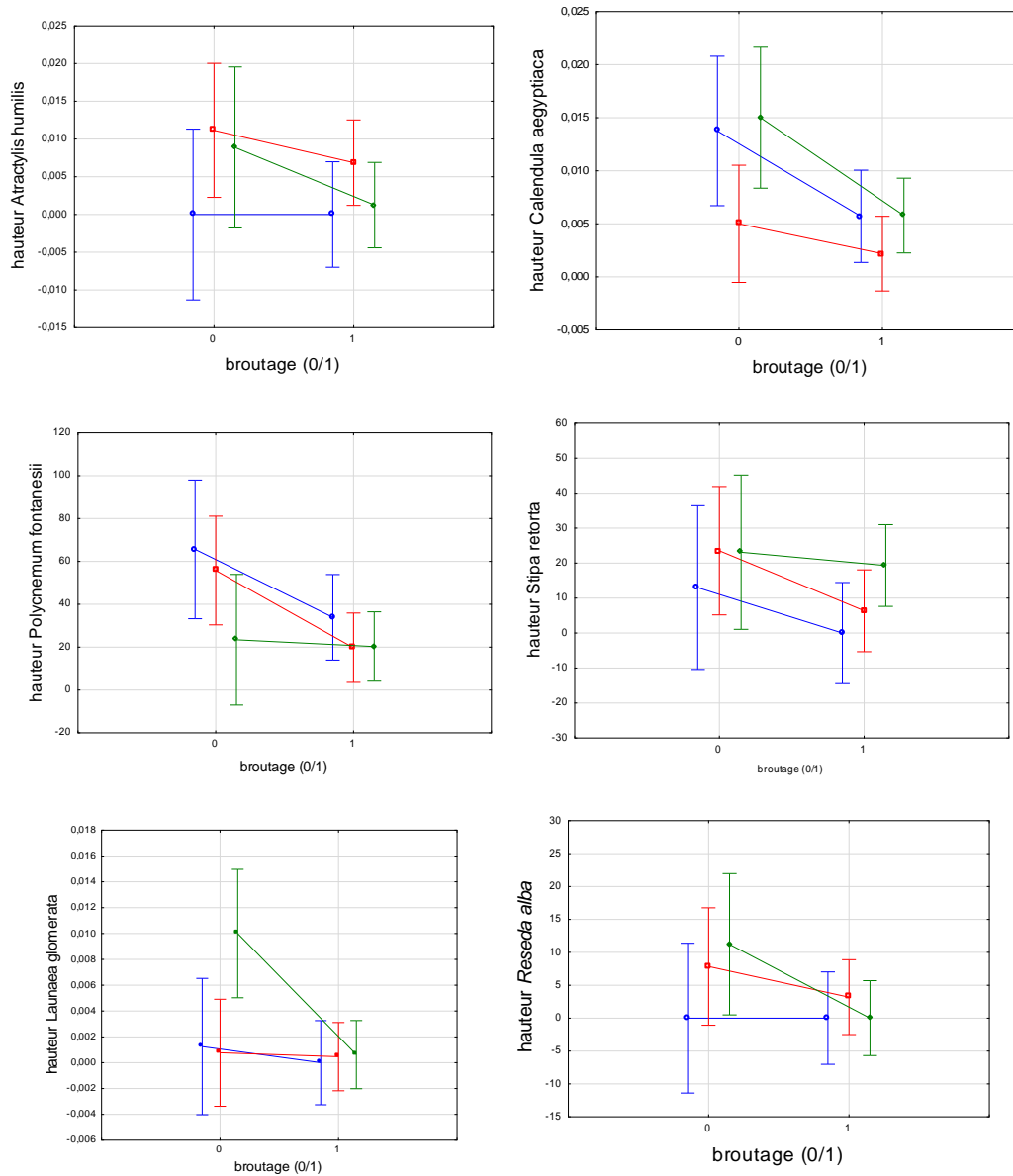


Figure -55 - Effet de microsite*brouillage sur la hauteur des espèces ($F(142, 78)=1.31 ; p(*)$). Espèces ayant des réponses similaires à la perturbation dans le microsite ouvert.

Certaines espèces, *Atractylis humilis*, *Calendula aegyptiaca*, *Polycnemum fontanesii*, *Stipa retorta* et *Launaea glomerata*, ont des tendances négatives dans les trois types de microsites (figure -55-). Toutefois, d'autres espèces telles que *Hippocrepis multisiliquosa*, *Schismus barbatus*, *Hyoseris radiata* et *Sedum album* voient leur performance augmenter dans les trois microsites (figure-56-).



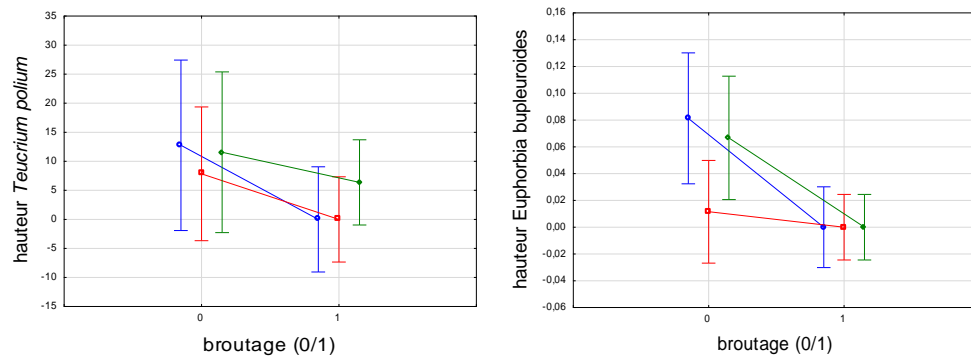


Figure -56- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces *Atractylis humilis*, *Calendula aegyptiaca*, *Polycnemum fontanesii*, *Stipa retorta*, *Launaea glomerata* (F (142, 78)=1.31 ; p *).

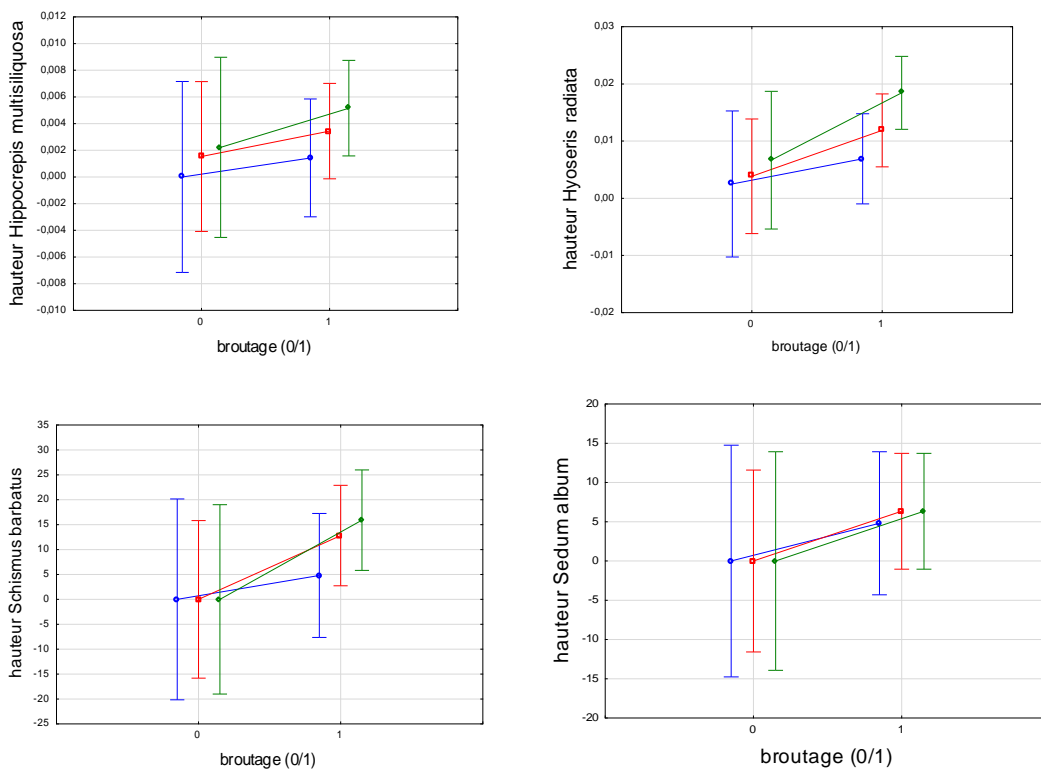


Figure -57- Effet de microsite*broutage sur la hauteur des espèces *Hippocrepis multisiliquosa*, *Schismus barbatus*, *Hyoseris radiata*, *Sedum album* (F (142, 78)=1.31 ; p *).

La réponse d'*Ammochloa pungens*, reste neutre (figure-57-) en présence ou en absence de perturbation dans les trois microsites.

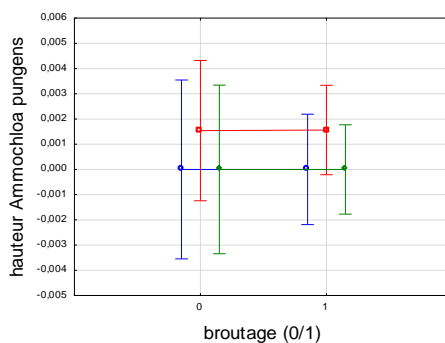


Figure -58 - Effet de microsite*broutage sur l'espèce *Ammochloa pungens* ($F(142, 78)=1,31$; p^*)

Des espèces telles que *Centaurea parviflora* et *Asparagus acutifolius* ne sont présentes que sous le microsite arbre (figure-58-) et leur performance diminue en présence de pâturage

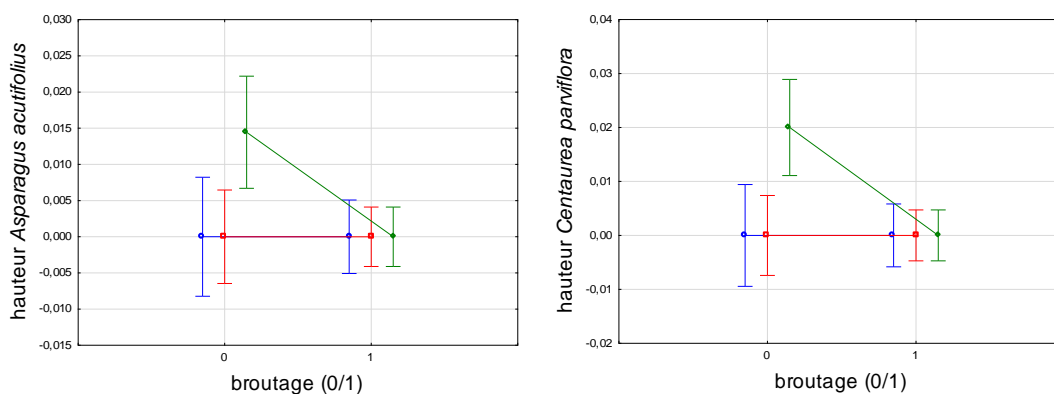


Figure - 59- réponse de *Centaurea parviflora* et *Asparagus acutifolius* sous le microsite arbre $F(56, 164)=1,4239$, p^*

Pour résumer ces différents résultats nous allons les classer selon les réponses positives des espèces au sein de chaque microsite.

Les espèces favorisées dans le microsite touffe en conditions de perturbation sont les suivantes :

- *Astragalus sinaicus*
- *Ceratocephala falcata*
- *Erodium triangulare*
- *Euphorbia falcata*

- *Hippocrepis multisiliquosa*
- *Hyoseris radiata*
- *Medicago hispida*
- *Sedum album*
- *Paronychia argentea*
- *Plantago psyllium*
- *Rosmarinus officinalis*
- *Schismus barbatus*
- *Scorzonera laciniata*
- *Micropus bombycinus*

Le rôle de facilitation du microsite touffe contre l'effet de perturbation, est montré par la présence des espèces pérennes particulièrement appréciées par le cheptel, *Astragalus sinaicus*, et *Rosmarinus officinalis*. Il faut aussi signaler que plusieurs espèces annuelles palatables ont été favorisées au niveau de ce microsite telles que, *Hippocrepis multisiliquosa*, *Micropus bombycinus*, *Schismus barbatus*, *Erodium triangulare*, *Ceratocephala falcata* et *Medicago hispida*. Par ailleurs, on note l'installation de l'espèce nitrophile non appétible *Euphorbia falcata*.

Les espèces favorisées dans le microsite arbre en conditions de perturbation sont les suivantes :

- *Astragalus sinaicus*
- *Bromus rubens*
- *Helianthemum croceum*
- *Helianthemum hirtum*
- *Herniaria hirsuta*
- *Hippocrepis multisiliquosa*
- *Hyoseris radiata*
- *Leontodon hispanicus*
- *Plantago albicans*
- *Rosmarinus officinalis*
- *Scabiosa stellata*
- *Schismus barbatus*
- *Sedum album*

- *Scorzonera laciniata*
- *Alyssum granatense*

Le rôle de l'arbre comme abri contre l'herbivorie est mis en évidence, particulièrement, pour les espèces pérennes appétibles, *Rosmarinus officinalis*, *Astragalus sinaicus*, *Helianthemum hirtum* et *Helianthemum croceum*. Nous pensons d'après les observations sur terrain que ce rôle a été particulièrement joué par *Juniperus phoenicea* qui se présentaient souvent en forme de nanophanérophite, rendant l'accès difficile aux espèces qui poussent sous sa canopée. Notons aussi la présence de l'espèce bisannuelle *Scorzonera laciniata* et d'un nombre d'espèces palatables annuelles telles que, *Bromus rubens*, *Herniaria hirsuta*, *Hippocrepis multisiliquosa*, *Plantago albicans*, *Schismus barbatus* et *Alyssum granatense*.

Dans la plupart des cas, les espèces facilitatrices semblent assurer un abri physique ou masquer les autres espèces des herbivores (Baraza et al., 2006, 2007).

Les espèces favorisées dans le microsite ouvert en conditions de perturbations sont les suivantes :

- *Aristida obtusa*
- *Echinops spinosus*
- *Lappula redowskii*
- *Helianthemum croceum*
- *Scabiosa stellata*
- *Plantago albicans*
- *Hippocrepis multisiliquosa*
- *Schismus barbatus*
- *Hyoseris radiata*
- *Sedum album*
- *Argyrolobium uniflorum*
- *Filago spathulata*

En général, les espèces qui ont montré une réponse positive au pâturage dans le microsite ouvert ont tendance à avoir une hauteur plus courte. Des plantes de faible hauteur et à petites feuilles, sont des mécanismes typiques de résistance au pâturage par la stratégie

d'évitement (*sensu* Briske 1996, 1999) et qui ont été documentés dans de nombreuses études (Sala et al 1986; McNaughton et Sabuni 1988; Noy-Meir, Gutman et Kaplan 1989 ; Diaz et al., 1992; Landsberg, Lavorel et Stol 1999).

La perturbation a tendance à réduire la compétitivité des espèces dominantes. Elle permet le développement des espèces du cortège favorisé par le pâturage, tel que *Echinops spinosus*, espèce épineuse décrite comme étant liée au surpâturage par plusieurs auteurs (Le Houérou, 1969 ; Le Houérou et al., 1975 et Aidoud, 1994) et *Argyrolobium uniflorum*, une légumineuse pastorale qui pousse spontanément dans les parcours steppiques (Zaouali) Elle est très appréciée par le bétail, présente une bonne valeur nutritive et a une production de matière verte étalée dans le temps (de septembre à juillet). Elle résiste au piétinement et au surpâturage (développement de bourgeons végétatifs latents à tous les niveaux de la plante, port prostré) et produit un nombre élevé de gousses (plus de 50 par individu) (Le Houérou & Ionsco, 1973 ; Floret & Pontanier, 1982 ; Zaouali, 1999 ; Ben Fadhel *et al.*, 2000). Selon Chaieb (1989) et Ould Sidi Mohamed (2003) elle a une grande aptitude à occuper des milieux moyennement perturbés.

Pour les trois microsites nous observons qu'un nombre importants d'espèces annuelles a été favorisé par le pâturage, nos résultats corroborent ceux de Diaz (2007) qui suggèrent que le pâturage va favoriser les plantes annuelles sur les plantes pérennes, les plantes courtes sur les plantes plus grandes, les plantes prostrées sur les plantes érigées, l'architecture stolonifère et en rosette sur l'architecture en touffe de la plante.

A l'issue de l'ensemble de ces résultats sur l'effet des gradients environnementaux (Altitude, aridité, Pâturage) sur la végétation, nous pouvons conclure que le voisinage joue un rôle particulièrement important, et qu'il existe une balance caractérisant les interactions entre les plantes, et dont l'aboutissement pour des effets positifs ou négatifs dépend de l'identité et les caractéristiques de ce voisinage et donc de sa capacité à affecter un facteur environnemental contraignant.

Enfin, dans un but d'intégrer le gradient de stress abiotique, généré par l'altitude ou la disponibilité en eau, et de perturbation biotique, représenté par la prédation par le pâturage, dans un seul Model conceptuel, une synthèse de l'ensemble des interactions positives ou négatives dans les microsites arbre et touffe s'avère cruciale (tableau -28 -).

Tableau - 28- Synthèse des interactions de microsite touffe et arbre avec les différentes espèces inventoriées dans le site le long des gradients des trois facteurs étudiés (altitude, humidité de sol, pâturage).

	Elévations en Altitude		Augmentation du Stress lié à la diminution d'humidité de sol		Présence Perturbation par le pâturage	
	Microsite touffe	Microsite arbre	Microsite touffe	Microsite arbre	Microsite touffe	Microsite arbre
<i>Alyssum granatense</i>			+		-	+
<i>Ammochloa pungens</i>						
<i>Androsace maxima</i>			+	+	-	-
<i>Argyrolobium uniflorum</i>						
<i>Aristida obtusa</i>		+			-	-
<i>Artemisia herba alba</i>						
<i>Asparagus acutifolius</i>		+		+		-
<i>Asparagus horridus</i>						
<i>Astragalus sinaicus</i>		+	+		+	+
<i>Atractylis humilis</i>						-
<i>Bromus rubens</i>				+		+
<i>Calendula aegyptiaca</i>	+	+			-	-
<i>Carduncellus pinnatus</i>						
<i>Centaurea parviflora</i>		+		+		-
<i>Ceratocephala falcata</i>					+	-
<i>Crucianella patula</i>		+		+		-
<i>Draba verna</i>		-	+	+		
<i>Echinaria capitata</i>						

<i>Echinops spinosus</i>	-	+			-	-
<i>Erodium triangulare</i>	+	+			+	-
<i>Euphorbia bupleuroides</i>					-	-
<i>Euphorbia falcata</i>	+	-			+	-
<i>Ferula vesceritensis</i>		+		+		-
<i>Filago spathulata</i>					-	
<i>Globularia alypum</i>		+		+		-
<i>Helianthemum croceum</i>	+	+			-	+
<i>Helianthemum hirtum</i>				+	-	+
<i>Herniaria hirsuta</i>			+		-	+
<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>		-			+	+
<i>Hordeum murinum</i>		+		+		-
<i>Hyoseris radiata</i>	+	-			+	+
<i>Lappula redowskii</i>	+			+	-	-
<i>Launaea glomerata</i>					-	-
<i>Launaea acanthoclada</i>					-	-
<i>Leontodon hispanicus</i>		-				+
<i>Lobularia lybica</i>	+	+				-
<i>Medicago hispida</i>	+	+			+	-
<i>Micropus bombycinus</i>	+	+			+	-
<i>Muscari comosum</i>						-
<i>Paronychia argentea</i>	+				+	-
<i>Plantago albicans</i>	-	+			-	+
<i>Plantago amplexicaule</i>						-
<i>Plantago psyllium</i>		-	+	+	+	-
<i>Polycnemum fontanesii</i>					-	-
<i>Reseda alba</i>				+		-
<i>Rosmarinus officinalis</i>	-	-	+		+	+
<i>Scabiosa stellata</i>						+
<i>Schismus barbatus</i>		+		+	+	+
<i>Scorzonera laciniata</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Scorzonera undulata</i>						
<i>Sedum album</i>		+			+	+
<i>Sisymbrium coronopifolium</i>		+				-
<i>Stipa retorta</i>				+	-	-
<i>Suaeda fructicosa</i>		+		+		
<i>Teucrium polium</i>				+	-	-
<i>Juniperus phoenicea</i>	+		+			
<i>Stipa tenacissima</i>		+		+		-

L'observation du Tableau -28- révèle une balance des effets positifs et négatifs qui soutient notre hypothèse de départ, que le rôle de facilitation joué particulièrement par l'arbre est affecté en cas de perturbation biotique par le pâturage, du fait que l'arbre constitue aussi un abri pour les herbivores, ce qui rend les espèces développées sous sa canopée plus exposées au pâturage. Cet effet est constaté pour les espèces vivaces: *Asparagus acutifolius* (dont les pousses de printemps sont particulièrement appréciés), *Centaurea parviflora*, *Globularia alypum*, *Teucrium polium*, et *Stipa tenacissima*. Ces espèces étaient facilitées par le microsite arbre le long de gradient de sévérité croissante lié à l'altitude ou à l'humidité de sol, et cet effet positif disparaît en conditions de perturbation liées au pâturage. Pour le microsite touffe, et concernant les espèces pérennes, ce résultat n'était observé que pour l'espèce *Helianthemum croceum*.

Des résultats similaires ont été observés par Alados (2012) qui a observé des associations négatives entre les espèces de plantes en cas de niveau de pâturage élevé, et Michalet et al. (2012) qui ont observé que la facilitation de l'arbre pour les autres espèces contre la sécheresse disparaît en présence de surpâturage.

Cependant, il faut remarquer que pour l'espèce *Rosmarinus officinalis*, aucun rôle n'a été joué par les microsites arbre et touffe le long de gradient altitudinal, alors qu'en conditions d'aridité cette espèce s'est associée au microsite touffe et en conditions de perturbation intense *Rosmarinus officinalis* est plus performante en s'associant aux deux microsites touffe et arbre.

En guise de conclusion, dans les écosystèmes arides et semi-arides, la végétation est distribuée d'une façon hétérogène, avec des espèces de plantes souvent associées en patches (taches). Toutefois, ces associations entre les espèces ne sont pas constantes, mais elles sont dépendantes de la réponse particulière de chaque espèce aux facteurs environnementaux.

Les associations positives dominent dans des conditions de stress abiotique, alors qu'elles sont moins fréquentes dans des conditions de perturbation *sensu* Grime, et l'effet positif en cas de stress pourrait s'inverser en cas de perturbation pour certaines espèces.

Les interactions entre les plantes doivent donc être considérées comme des relations dynamiques dans lesquelles les résultats, en termes de productivité ou de fitness des espèces en interaction, dépendent des conditions abiotiques.

La facilitation joue un rôle crucial en terme de Biodiversité, la plus part des plantes annuelles étaient plus abondantes sous l'arbre et sous la touffe que dans les surfaces nues ainsi que des espèces vivaces, et cette abondance augmente en cas de stress, la plus part du temps. Dans le cadre de notre étude l'influence des microsites arbre et touffe semble être due à l'amélioration physique de l'habitat ainsi qu'à l'atténuation de l'effet de l'aridité par l'augmentation de la disponibilité en eau ainsi que la procuration de l'ombre.

Conclusion générale et perspectives

L'objectif de notre travail était, l'étude de la diversité floristique et la structuration des communautés végétales d'une zone très remarquable faisant partie de la steppe de l'Atlas Saharien central, c'est la région d'El-Ghicha. Située dans le secteur des hauts plateaux sud algérois sous l'étage bioclimatique semi aride à aride et dont l'organisation des communautés végétales reflète une écologie particulière.

Une recherche approfondie a permis de concevoir une bibliographie conceptuelle dans laquelle s'inscrit notre problématique globale qui s'intéresse aux conséquences des changements globaux sur la biodiversité et la réalisation d'un modèle qui servira comme outil pour sa gestion et sa conservation. Cette partie nous a permis de cibler l'objectif immédiat qui s'est révélé nécessaire avant toute action de préservation et qui est celui de la description et la détermination des facteurs limitants. Comme nous nous intéressons plus particulièrement à la diversité floristique, l'objectif est alors la description de la végétation et les facteurs qui contrôlent sa répartition.

Avant de nous pencher sur cette composante, la description de l'environnement qui la renferme a été d'un intérêt primordial et a été possible grâce aux travaux antérieurs dans tous les domaines qui peuvent influencer cette diversité floristique de la région d'El Ghicha.

En résumé de cette partie, El Ghicha est située au cœur de Djebel Amour, centre de l'Atlas saharien. Comprenant en sa partie nord-est, une région appartenant aux parties hautes du Massif, caractérisée par une structure en synclinal et une géomorphologie de plateaux de grés et parcourue par plusieurs oueds. Elle est soumise à un climat semi-aride avec des influences montagnardes, l'altitude y entraîne un abaissement des températures et une augmentation de la pluviosité, c'est la dernière forêt à la limite du Sahara avec des sols peu humifères et pour la plus part insaturés. La partie Nord-ouest est une zone de dépressions, l'abaissement de l'altitude y génère une diminution des influences montagnardes et un assèchement du climat. La partie Sud d'El Ghicha est sise à la partie méridionale du massif des Amours, et qui commence par une dépression où coule un important oued et se termine par une chaîne anticlinale, qui est creusée transversalement en cluses par plusieurs oueds. Le climat y est plus aride est soumis à l'influence saharienne, les sols sont calciques et peu épais, sauf dans les oueds suite aux apports alluviaux. Enfin, le piémont saharien qui s'annonce avec son climat saharien et ses sols sablonneux et squelettiques.

Par la suite, la réalisation de notre double objectif a été possible grâce à l'élaboration d'une méthodologie permettant à la fois la description de la végétation, l'inventaire des espèces présentes, la détermination des facteurs écologiques qui interviennent dans sa distribution d'une façon globale, puis, plus précisément, la structuration des communautés en se focalisant sur les principales espèces « fondatrices » et leur interactions avec leur voisinage en fonction des changements des conditions de milieu d'ordre abiotique essentiellement liées à l'aridité et à l'altitude ou d'ordre biotique, le pâturage.

La première partie de notre objectif a été réalisée grâce au traitement de 50 relevés phyto-écologiques effectués dans l'ensemble des formations végétales distinguées. Ces relevés ont été soumis à des analyses multivariées d'ordination (Analyse Factorielle des Correspondances -AFC-) et de classification (Classification Hiérarchique Ascendante -CHA-) ce qui a permis de mettre en évidence trois groupements végétaux, dont la géomorphologie, l'aridité sont retenus comme les principaux facteurs responsables de leurs variations floristiques.

Ces groupements correspondent à (i) des formations forestières claires représentés par la dominance de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) de chêne vert (*Quercus ilex*) de genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*) et de pistachier l'Atlas (*Pistacia atlantica*). Ce sont les formations les moins dégradées parmi celles que nous avons identifiées et qui correspondent aux conditions les moins xériques. C'est la partie nord-est d'El-Ghicha qui fait partie de la région élevée de Djebel Amour et qui est donc en refuge des influences sahariennes et soumises plutôt aux influences montagnardes (ii) une végétation ripisylve au niveau des nombreux oueds qui caractérisent la région, représentée par la dominance des espèces *Retama raetam*, *Nerium oleander* et *Pistacia atlantica*, ainsi que plusieurs espèces liées aux accumulations sableuses qui caractérisent les oueds de cette région (*Thymelaea microphylla* et *Astragalus armatus*), (iii) des formations présteppe et steppe, représentées par la dominance de *Stipa tenacissima*, de *Juniperus phoenicea* et de *Pistacia atlantica*. Elles correspondent aux conditions les plus xériques et les plus dégradées des formations rencontrées.

La caractérisation biologique des groupements végétaux identifiés utilisant les spectres bruts a montré une prépondérance des thérophytes et cette thérophytisation augmente avec l'ensablement qui caractérise le lit d'Oued. A travers les spectres réels nous avons une dominance des phanérophytes dans la végétation de l'Oued, notamment les phanérophytes

ripisylves, et dans la forêt claire, due à la dominance du couvert végétal par *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Juniperus phoenicea* mais également à la présence de *Pistacia atlantica*. Alors que le spectre réel du groupement des matorrals, steppe arborée et steppe révèle une codominance des phanérophytes et des géophytes ce qui est essentiellement dû à la forte participation de *Stipa tenacissima* au tapis végétal avec *Juniperus phoenicea* et *Pistacia atlantica*.

La caractérisation des groupements sur le plan phytogéographique à travers les spectres bruts, montre une prédominance de l'élément méditerranéen dans les trois groupements, suivi de l'élément endémique et l'Euro-Asiatique qui présente un taux proche de ce dernier. Le reste des éléments (Méditerranéo-Saharo-Arabique, l'Irano-Touranienne et le Plurirégional) sont représentés par des taux très faibles.

L'analyse systématique des 81 espèces recensées nous a permis d'identifier les familles les plus représentées dans la flore de notre dition, ce sont : les Astéracées, les Poacées, les Fabacées et les Bracicacées.

L'évaluation de la diversité floristique par l'indice de Shannon montre une richesse spécifique plus importante dans le groupement qui correspond aux formations : steppe, steppe arborée et matorral, suivi par la forêt claire, et enfin les formations ripisylves. Le groupement le plus riche de point de vue spécifique est celui qui correspond aux formations les plus dégradées sous l'effet des conditions climatiques sévères et une forte pression anthropique. Ceci est lié au développement des espèces résistantes au pâturage en passant la période de pâturage sous une forme peu accessible aux herbivores, ou pour laquelle une destruction partielle de la biomasse n'aura pas d'effet délétère important, ce sont essentiellement, les espèces annuelles thérophytes qui passent la majeure partie de leur cycle phénologique sous forme de graine.

Le deuxième objectif tracé a été réalisé grâce à 116 relevés par microsites effectués au sein des relevés phytoécologiques carrés en ciblant les espèces dominantes, *Juniperus phoenicea*, *Stipa tenacissima*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* et *Pistacia atlantica* ainsi que les surfaces nues, ce qui nous a permis de comparer la richesse spécifique et la performance des plantes sous le couvert végétal et en dehors du couvert, et de révéler les interactions caractérisant les communautés de plantes. Pour observer la variation de ces interactions en réponse aux changements dans l'environnement, les relevés ont été distribués le long de

plusieurs transects selon plusieurs pentes, la variation en altitude le long des différentes pentes a entraîné des variations des conditions abiotiques (humidité de sol) et biotiques (intensité du pâturage).

Les données des relevés microsites (composition floristique, performance des espèces) ont été traitées par le biais de graphiques catégorisés qui nous ont permis d'observer la relation entre les différentes variables pour chaque microsite considéré (microsite touffe, pour *Stipa tenacissima* ; microsite Arbre, pour *Juniperus phoenicea*, *Stipa tenacissima*, *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, et *Pistacia atlantica* et microsite ouvert pour la surface nue considérée), l'utilisation des modèles généraux de régression -GRM- ont permis de révéler les effets d'interactions entre les prédictors continus (altitude et humidité) et les prédictors catégoriels (microsites) sur les variables dépendantes (richesse spécifique et performance des espèces), et enfin l'utilisation de l'ANOVA nous a permis d'analyser l'effet d'interaction des deux facteurs catégoriels (microsite et perturbation) sur la richesse spécifique et la performance des plantes.

A l'échelle de la communauté, l'ensemble des méthodes statistiques utilisées a permis de démontrer un rôle de facilitation joué par l'arbre et la touffe le long de gradient de sévérité lié à l'altitude. La richesse spécifique a significativement changé sous leur couvert végétal par rapport aux zones nues avec l'élévation en altitude, le mécanisme impliqué serait essentiellement, l'amélioration de l'habitat physique.

Le long du gradient de sévérité lié à l'aridité, l'augmentation de la richesse spécifique sous l'arbre et la touffe indique que leur présence tamponne le stress lié aux conditions hydriques et facilitent le développement des espèces sous leur canopées, le mécanisme de facilitation est attribué à la dynamique « source-puits » qui est générée par l'organisation en microsites de la végétation et qui augmente l'infiltration et la rétention de l'eau dans ces microsites.

La présence de pâturage modifie la composition spécifique et l'interaction des microsites avec leur voisinage, le rôle positif joué par l'arbre et la touffe le long des gradients abiotiques est affecté dans des conditions de perturbation. Ceci est expliqué par le fait que le couvert végétal de l'arbre plus spécialement, constitue aussi un abri pour les herbivores ce qui rend la végétation qui pousse sous leur couvert sujette au pâturage, particulièrement les

espèces appétibles qui seront remplacées par d'autres plus résistantes et moins appréciées par le pâturage.

A l'échelle spécifique, les résultats ont révélé que l'identité et les caractéristiques des espèces nurses sont particulièrement importantes dans l'efficacité des interactions de facilitations. Ceci est principalement lié à la capacité d'une espèce à transformer l'environnement ce qui est affecté en grande partie par des attributs comme l'abondance et la taille plantes. Une plasticité écologique intéressante a été révélée pour *Juniperus phoenicea* et *Stipa tenacissima* et des associations positives ont été observées entre les deux espèces le long de gradient d'altitude et d'aridité. Alors que la perturbation par le pâturage semble faire disparaître la facilitation assurée par les nurses et promouvoir les interactions négatives.

Pour les espèces avoisinantes les résultats ont démontré des patrons de distribution d'associations positives avec la touffe et l'arbre avec l'augmentation de la rugosité de l'environnement liée au stress abiotique (altitude, aridité) , 81% et 85% des espèces recensées étaient associées à l'arbre en haute altitude et en conditions d'aridité, respectivement. Ainsi que 60% et 51% des espèces ont été retrouvées sous la touffe à des altitudes élevées et des conditions de sécheresse.

L'augmentation de la richesse spécifique sous ces microsites avec la sévérité de l'environnement est associée à des espèces pérennes ligneuses telles que *Globularia alypum*, *Rosmarinus officinalis*, *Asparagus acutifolius*, *Astragalus sinaicus*, *Centaurea parviflora* ainsi qu'à des espèces annuelles telles que *Alyssum granatense*, *Micropus bombycinus*, *Calendula aegyptiaca*, *Erodium triangulare*.

Cependant, en présence de pâturage c'est les associations négatives qui dominent et le rôle positif des espèces nurses sur les espèces avoisinantes disparaît pour plusieurs espèces, sauf cas particulier, pour *Rosmarinus officinalis* des associations positives sont notées pour cette espèce avec les microsites touffe et arbre.

En conclusion les interactions entre les espèces de plantes dans le milieu étudié ne sont pas constantes et dépendent de la réponse de chaque espèce à un facteur environnemental.

Les interactions entre les plantes doivent donc être considérées comme des relations dynamiques dans lesquelles les résultats, en termes de productivité ou de fitness des espèces en interaction, dépendent des conditions abiotiques et biotiques.

Les patrons de distribution en taches de la végétation constituent, un élément clé de la structure, du fonctionnement et de la dynamique de l'écosystème aride que nous étudions et il a été démontré dans cette étude qu'ils augmentent la richesse et la diversité des plantes. Toutefois, les caractéristiques du site (altitude, humidité de sol, perturbation), les caractéristiques des plantes nurses (abondance et taille) et leurs identités influencent significativement l'occurrence des espèces sous le couvert de cette végétation.

Par conséquent, la composition des communautés végétales dépend de multiples interactions, notamment inter spécifiques, telles que la facilitation qui constitue un élément clé de détermination de la structure des communautés végétales. Ainsi, il est d'un intérêt particulier pour la recherche d'intégrer la facilitation pour une perspective de restauration.

Plusieurs espèces ont révélé des rôles clés dans les communautés végétales et peuvent être valorisées par leur implication dans un modèle de gestion basé sur le principe des interactions de facilitations entre les espèces qui permettraient « la régénération » de l'écosystème. L'espèce *Juniperus phoenicea* a montré des caractéristiques importantes, d'une part une capacité de résister à des conditions extrêmes et d'autre part la facilitation des autres espèces notamment les pérennes. Également, le rôle de facilitation joué par l'alfa constitue une interaction écologique clé pouvant améliorer l'introduction d'espèces arbustives d'intérêt pendant la restauration.

En outre d'autres espèces ont montré des tolérances aux conditions abiotiques extrêmes et une résistance à la perturbation dans les surfaces nues, c'est le cas de *Argyrobium uniflorum*, qui est considérée comme une bonne espèce pastorale et pouvant donc intervenir dans la réhabilitation des parcours en milieux arides.

Ces résultats constituent une valeur informative d'ordre écologique importante. Notre recherche participait à l'étude de l'impact des stress et de perturbation sur les systèmes écologiques pour permettre d'évaluer l'importance réelle des processus de dégradation et décrire l'état de végétation de notre région.

A valeur conceptuelle, ces premiers résultats ouvrent la piste à de nouvelles perspectives de recherche en particulier en ce qui concerne les stratégies d'adaptations des espèces végétales qui leur permettent « installation et développement » et leur capacités de changer le fonctionnement de l'écosystème et donc l'environnement.

La présente étude, ne présente, cependant, qu'une modeste contribution à la connaissance de la diversité floristique d'El Ghicha, des facteurs qui régissent la structuration des communautés végétales et les réponses des espèces aux changements environnementaux. L'échantillonnage est, en effet, loin d'être exhaustif. De nombreux sites ne sont pas prospectés et les données des relevés linéaires n'ont pas été exploitées. L'étude détaillée des conditions abiotiques correspondant à chaque type de microsite n'a pas été effectuée malgré l'intérêt crucial qu'elle présente dans la mesure où elle permet d'identifier plus exactement le mécanisme des interactions biotiques entre les espèces.

L'étude de facteur de perturbation était basée sur l'observation et n'a pas fait l'objet de mesures précises permettant d'établir, un véritable gradient avec des régions à faibles, à moyennes et à forte perturbation, l'utilisation de questionnaire pourrait dans ce sens amener des informations plus précises, notamment, l'intensité de pâturage sur un territoire donné.

En outre pour une meilleure compréhension du fonctionnement de l'écosystème, l'utilisation des traits fonctionnels des plantes afin de définir des règles générales associant les communautés végétales et leur environnement, et de réaliser des classifications fonctionnelles des espèces végétales, s'avère d'un intérêt fondamental.

Une bonne compréhension des processus naturels est nécessaire afin de pouvoir bien gérer les habitats naturels, prévenir les risques environnementaux, et d'assurer l'approvisionnement continu des services écosystémiques. Des processus complexes tels que les interactions plante-plante sont à la base la structure de l'écosystème dans des environnements arides et les connaître en détail pourrait améliorer considérablement notre compréhension du fonctionnement des écosystèmes et leurs réponses aux changements.

Références bibliographiques

- Abdallah F., Noumi Z., Ouled-Belgacem A., Michalet R., Touzard B., Chaieb M. (2012) The influence of *Acacia tortilis* (Forssk.) ssp. *raddiana* (Savi) Brenan presence, grazing, and water availability along the growing season, on the understory herbaceous vegetation in southern Tunisia. *Journal of Arid Environments* 76 (2012) 105-114.
- Abed S. (1982). Lithostratigraphie et sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Dj. Amour (Atlas saharien). *Thèse 3ème cycle, Univ. de Pau*. 242 p.
- Achour H. (1983) Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L.) du Sud oranais - Wilaya de Saïda. Thèse Doct. 3eme Cycle, Univ., H. BOUMEDIENE, Alger, 216 p + ann.
- Ackerly D.D. & Cornwell W.K. (2007) A trait-based approach to community assembly: partitioning of species trait values into within- and among-community components. *Ecology Letters* 10 : 135-145.
- Agnew, A.D.Q. (1997). Switches, pulses and grazing in arid vegetation. *Journal of Arid Environments*, 37: 609–617.
- Aidoud A. (1983) Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud-Oranais : phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse Doct. 3ème Cycle. Univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 256 p. + ann.
- Aidoud A. (1989) Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques steppiques pâturés des Hautes plaines Algéro-Oranaises (Algérie)., Th Doct. Etat, Univ. H. BOUMEDIENE, Alger 240p.+ ann.
- Aidoud-Lounis F. (1997) Le complexe à alfa-armoise-sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba-alba* Asso., *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie ; structure et dynamique des communautés végétales. Thèse Doct. Etat, Univ. AIX-MARSEILLE III, France, 214 p. + annexe.
- Aimé S., 1976.- Contribution à l'étude écologique du chêne liège, étude de quelques limites. Doct. spec., Univ. Nice. 182p.
- Akpo L.E. & Grouzis M. (1996) Influence du couvert sur la régénération de quelques espèces ligneuses sahéliennes (Nord-Sénégal, Afrique Occidentale). *Webbia*, 50 : 247-263.
- Akpo L.E. (1992) Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. Les déterminants écologiques. Thèse 3ème cycle, UCAD Dakar, 174 p.
- Akpo, L.E. (1997) Phenological interactions between tree and understory herbaceous vegetation of a Sahelian semi-arid savanna. *Plant Ecology*, 131, 241- 248.
- Akpo, L.E., Grouzis, M. (2004) Interactions arbre/herbe en bioclimat semi-aride: influence du pâturage (Interactions between tree and grasses under semi-arid bioclimates: influence of grazing). *Sécheresse* 15, 253-261.
- Akpo, L.E., Grouzis, M., (1997). Influence of tree cover on herbaceous above – and below – ground phytomass in the sahelian zone of Senegal. *Journal of Arid Environments*, 35: 285-296.
- Alados C.L. & Saiz H. (2012) Changes in Semi-Arid Plant Species Associations along a Livestock Grazing Gradient. *PLoS ONE* 7(7): e40551. doi:10.1371/ journal.pone.0040551.
- Alard D. & Poudevigne I. (2000) Diversity patterns in grasslands along a landscape gradient in northwestern France. *Journal of Vegetation Science* 11 : 287-294.
- Amghar F. (2002) Contribution à l'étude de la biodiversité quelques formations de dégradation en Algérie. Thèse Mag. Univ. Sci. Tech. H. BOUMEDIENE, Alger, 166 p. + ann.
- Amghar F. (2012) Restauration et réhabilitation des écosystèmes steppiques : Effet de la mise en défens et de l'introduction des plantes fourragères sur la biodiversité, le sol et sa surface. Thèse Doct. Etat, Univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 165 p + ann.
- Armas, C., Kikvidze, Z. and Pugnaire, F.I., (2009) Abiotic conditions, neighbour interactions, and the distribution of *Stipa tenacissima* in a semiarid mountain range. *Journal of Arid Environments* 73, 1084-1089.
- Armas, C., Pugnaire, F.I. (2005) Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community. *Journal of Ecology* 93, 978–989.
- Arnold J.F. (1955) Plant life-form classification and its use in evaluating range conditions and trend. *Journal of Range Management*, 8 : 176–181.
- Austin M. P. (1976) Performance of four ordination techniques assuming three different non-linear species response models. *Plant ecology* 33:43-49.

- Austin M.P. (1980) Searching for a model for use in vegetation analysis. *Vegetatio* 42 : 11-21.
- Austin M.P., Smith T.M. (1989) A new model for the continuum concept. *Plant ecology*, 83: 35-47.
- Bagnouls F. et Gaussen H. (1953) Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 88 : 193-239.
- Barbera G.G., Navarro-Cano J.A., Castillo V.M. (2006) Seedling recruitment in a semi-arid steppe: The role of microsite and post-dispersal seed predation Soil and Water Conservation Department, CEBAS-CSIC, Campus Universitario de Espinardo, PO box 164, 30100, Murcia, Spain.
- Barbero M. (1990) Méditerranée : bioclimatologie, sclérophyllie, sylvigénèse. *Ecologia Mediterranea XVI* : 1-12.
- Barbero M. et Loisel R. (1983) Les chênaies vertes du sud-est de la France méditerranéenne. Valeurs phytosociologiques, dynamiques et potentielles. *Phytocoenologia*. II, 2 :255-244.
- Barbero M. et Loisel R., (1980) Le chêne vert en région méditerranéenne. *Rev. For. Fr.*, 32 : 531-543.
- Barbero M., Loisel R. et Quézel P., (1989) Perturbations et incendies en région méditerranéenne. *Int. Estud. Pyrenaicos Jaca*. 12 : 409-419.
- Barbero M., Loisel, R. & Quézel, P. (1992): Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. – *Vegetatio* 99–100: 19–34.
- Barbero M., Quézel P. et Loisel R., (1990) Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt Méditerranéenne*, XII : 194-215.
- Barry J.P., Celles J.C., Faurel L., (1976) Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000. C.R.B.T., Alger : 42p.
- Ben Fadhel N., Zaouali Y. & Boussaid M., 2000. Aptitudes de deux légumineuses Pastorales (*Hedysarum carnosum* Desf. et *Argyrobolium uniflorum* Jaub. et *Spach.*) à la réhabilitation des parcours en milieu aride de la Tunisie, *Cah.Opt.Med.* 45 : 95-98.
- Benhassaini H., Mehdadi Z., Hamel L., Belkhodja M. (2007) Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* dans le Nord-ouest algérien. *Sécheresse*, 18 (3) : 199-205.
- Benzecri J.P. (1963) Cours de linguistique mathématique. Univ. Rennes, multigr.
- Benzecri J.P. et Benzecri F. (1980) Pratique de l'analyse des données. 1 : Analyse des correspondances, exposé élémentaire. Dunod, Paris, 424 p.
- Benzecri J.P. et coll. (1973) L'analyse des données. 1- La taxinomie. 2- L'analyse des correspondances. Paris, Dunod, 2 vol., 675 p.
- Bernhard-Reversat, F., (1982) Biogeochemical cycles of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38, 321-332.
- Bertness, M. & Callaway, R.M. (1994) Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9, 191–193.
- Bettahar A. (2009) Les accidents majeurs de l'Atlas saharien central et les structures associées. *Thèse de Doctorat d'Etat*, univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 210 pp.
- Blanc L.P. (1971). Vegetation stripes on sheet wash surfaces. *Journal of Ecology*, 59: 615–622.
- Blondel, J., Aronson, J. & Bodiou, J.Y. (2010) The Mediterranean region: biological diversity in space and time. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Boratynski, A., Lewandowski, A., Boratynska, K., Montserrat, J.M. & Romo, A. (2009) High level of genetic differentiation of *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae) in the Mediterranean region: geographic implications. *Plant Systematics and Evolution* 277: 163–172.
- Bouabdellah. H., (1991) Dégradation du couvert végétal steppique de la zone sud-ouest oranaise (Le cas d'El Aricha). Université d'Oran, Institut de géographie et de l'aménagement du territoire. Oran, 180 p.
- Boudy P. (1952) Guide du forestier en Afrique du Nord. Paris, Maison Rustique. 509 p.,94 fig., 1 carte. In : Kadik L. (2005) Etude phytosociologique et phytoécologique des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) de l'étage bioclimatique semi-aride algérien. Thèse Doct. es Sciences, 188p. + annexes.
- Boughani A., (1995) Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au Sud des monts du Zab (Ouled Djellal, wilaya de Biskra) : Phytomasse, application cartographique et aménagement. Thèse Magister. Univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 256 p.

- Bouzenoune A., (1984) Etude phytoécologique et phytosociologique des groupements végétaux du Sud Oranais (Wilaya de Saïda). Thèse Doct. 3ème Cycle. Univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 225 p+ ann.
- Brasier C. M. (1996): *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. – *Ann. Sci. For.* 53: 347–358.
- Briane, Lazare, Roux et Sastre (1974) L'analyse factorielle des correspondances et l'arbre de longueur minimum, exemple d'application. *Adansonia*, Ser. 2, 14, 1, pp. 111-137.
- Briske D. (1996) Strategies of plant survival in grazed systems: a functional interpretation. In: *The Ecology and Management of Grazed Systems* (eds Hodgson J, Illius A), pp. 37–67. CAB International, Wallingford.
- Brooker R.W., Maestre F.T., Callaway R.M., Lortie C.L., Cavieres L.A. (2008) Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *J. Ecol.* 96:18–34.
- Brooker, R.W. & Callaghan, T.V. (1998) The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos*, 81, 196–207.
- Brooker, R.W. (2006) Plant–plant interactions and environmental change. *New Phytologist*, 171, 271–289.
- Brooker, R.W., Travis, J.M.J., Clark, E.J. & Dytham, C. (2007) Modelling species' range shifts in a changing climate: the impacts of biotic interactions, dispersal distance and the rate of climate change. *Journal of Theoretical Biology*, 245 : 59–65.
- Bussotti, F., Borghini, F., Celesti, C., Leonzio, C., Bruschi, P. (2000) Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in Central Italy. *Trees* 14, 361–368.
- Calaway, R.M., (2007) *Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities*. Springer, Dordrecht.
- Callaway R.M., Brooker R.W., Choler P., Kikvidze Z., Lortie C.J., Michalet R., Paolini L., Pugnaire F.I., Newingham B., Aschehoug E.T., Armas C., Kikodze D., & Cook B.J. (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417, 844-848.
- Callaway RM, Walker LR (1997) Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*.
- Callaway, R.M. & Pugnaire, F.I. (1999). Facilitation in plant communities. In: Pugnaire, F.I. & Valladares, F. (Eds), *Handbook of Functional Plant Ecology*, pp. 623–648. New York: Marcel & Derek Inc. 901 pp.
- Callaway, R.M. (1995) Positive interactions among plants. *Botanical Review*, 61, 306–349.
- Callaway, R.M. (2006) Do biotic interactions shape both sides of the humped-back model of species richness in plant communities? *Ecology Letters* 9, 767-773.
- Callaway, R.M., DeLucia, E.H., Moore, D., Nowak, R., Schlesinger, W.H., (1996) Competition and facilitation: contrasting effects of *Artemisia tridentata* on desert vs. montane pines. *Ecology* 77, 2130-2141.
- Callaway, R.M., Nadkarni, N.M., Mahall, R.E., (1991) Facilitation and interference of *Quercus douglasii* on understory productivity in central California. *Ecology* 72 (4), 1484-1499.
- Callaway, R.M., Pennings S.C. (2000) Facilitation may buffer competitive effects: indirect and diffuse interactions among salt marsh plants. *American Naturalist*, 156, 416-424.
- Callaway, R.M., Tyler, C. (1999) Facilitation in Rangelands: Direct and Indirect Effects. In: *People and Rangelands Building the Future*, vols. 1 and 2, pp. 197-202.
- Callaway, R.M., Walker, L.R. (1997) Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78, 1958-1965.
- Callaway, Ragan M.; Pennings, Steven C.; and Richards, Christina L., "Phenotypic Plasticity and Interactions Among Plants" (2003). *Biological Sciences Faculty Publications*. Paper 307. http://scholarworks.umt.edu/biosci_pubs/307.
- Canadell, J. & Vilà, M. (1992) Variation in tissue element concentrations in *Quercus ilex* L. over a range of different soils. – *Vegetatio* 99–100: 273–282.
- Carles J. (1949) Le spectre biologique réel. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 95: 340-343.
- Cavender-Bares, J., Kozak, K., Fine, P. & Kembel, S. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12: 693–715
- Cavieres L.A., Quiroz C., Molina-Montenegro M., Pauchard A. (2005) Nurse effect of the native cushion plant *Azorella monantha* on the invasive non-native *Taraxacum officinale* in the high-

- Andes of central Chile. *Perspectives in Plant Ecology, Systematics and Evolution*. doi:10.1016.
- Cavieres, L. A., E. I. Badano, A. Sierra-Almeida, S. Gomez-Gonzalez, and M. A. Molina-Montenegro. (2006) Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist* 169:59-69.
- Cavieres, L., Arroyo, M.T.K., Penaloza, A., Molina-Montenegro, M. & Torres, C. (2002) Nurse effect of *Bolax gummifera* cushion plants in the alpine vegetation of the Chilean Patagonian Andes. *Journal of Vegetation Science*, 13, 547–554.
- Celles J.C. (1975) Contributions à l'étude des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèse Doct., Univ., Nice : 364 p.
- Cerda , A., Garcí'a-Fayos, P. (2002) The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. *Catena* 48 : 293–301.
- Cerda A., (1997) The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* L. on runoff and erosion. *Journal of Arid Environments* 36 : 36–51.
- Chaieb M., 1989. Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. Thèse de Doctorat (PhD), Univ. Montpellier-II, 293 p.
- Chapin III F.S., Autumn K. & Pugnaire F. (1993) Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *American Naturalist* 142(suppl), S78-S92.
- Chapin III F.S., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C. & Díaz S. (2000) Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234-242.
- Choler P., Michalet R. & Callaway R.M. (2001) Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology* 82, 3295-3308.
- Cody M.L. (1975) *Towards a theory of continental species diversities*. Harvard University Press, Cambridge.
- Coley PD, Bryant JP, Chapin FS (1985) Resource availability and plant anti-herbivore defense. *Science*, 230, 895–899.
- Connell J.H. (1990). Apparent versus real competition in plants. Academic Press, San Diego, 9-26.
- Cordier B. (1965) Sur l'analyse factorielle des correspondances. Thèse 3ème cycle, Univ. Rennes : 66 p.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Díaz S.M., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G. & Poorter H. (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51, 335-380.
- Cornwell W.K., Cornelissen J.H.C., Amatangelo K., Dorrepaal E., Eviner V.T., Godoy O., Hobbie S.E., Hoorens B., Kurokawa H., Perez-Harguindeguy N., Quested H.M., Santiago L.S., Waedle D.A., Wright I.J., Aerts R., Allison S.D., van Bodegom P., Brovkin V., Chatain A., Callaghan T.V., Diaz S., Garnier E., Gurvich D.E., Kazakou E., Klein J.A., Read J., Reich P.B., Soudzilovskaia N.A., Vaieretti M.A. & Westoby M. (2008) Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters* 11: 1065-1071.
- Cortina J, Ruiz-Mirazo J, Amat B, Amghar F, Bautista S, Chirino E, Derak M, Fuentes D, Maestre FT, Valdecantos A, Vilagrosa A (2012). Les bases de la restauration écologique des steppes d'alfa. UICN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne. VI + 26 p.
- Cortina, J., Maestre, F.T., (2005) Plant effects on soils in drylands. Implications for community dynamics and dryland restoration. In 'Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change'. pp. 85-118. (Eds D. Binkley and O. Menyailo. (NATO Science Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.)
- Craine J.M., Froehle J., Tilman D.G., Wedin D.A. & Chapin F.S. III. (2001) The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos* 93: 275-285.

- Craine J.M., Tilman D., Wedin D., Reich P., Tjoelker M. & Knops J. (2002) Functional traits, productivity and effects on nitrogen cycling of 33 grassland species. *Functional Ecology* 16: 563-574.
- Cramer W., Bondeau A., Woodward F.I. (2001) Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, 7, 357–373.
- Crescente M.F., Gratani L. & Larcher W. (2002) Shoot growth efficiency and production of *Quercus ilex* L. in different climates. *Flora*, 197 : 2–9
- Cuesta B., Villar-Salvador P., Puertolas J., Rey Benayas J.M. and Michalet R. (2010) Facilitation of *Quercus ilex* in Mediterranean shrubland is explained by both direct and indirect interactions mediated by herbs. *Journal of Ecology*, 98, 687–696.
- Daget P., (1977) Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, méthodes de classification. *Vegetation*, 34, 1 : 20.
- Daget P.H., Poissonet J. (1971) Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'applications. *Ann. Agron.*, 22 (1), pp. 5-41.
- Daget Ph., (1980) Sur les types biologiques en tant que stratégie adaptative. (cas des thérophytes). *in* : Recherches d'écologie théorique, les stratégies adaptatives. Paris : 89-114.
- Dahmani - Megrrouche M. (1997) Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse. Doct. Etat, Univ. H. BOUMEDIENE, Alger, 330 p + ann
- Dahmani M. et Kadi-Hanifi H. (1998) Contribution à l'étude de la biodiversité de l'Algérie et à la mise en place d'une stratégie algérienne de conservation de la diversité biologique. Cas des plantes supérieures. 173 p.
- Danin A. et Orshan G., 1990 - The distribution of Raunkiaer life forms in Israel in relation to the environment. *Journal of Vegetation Science* 1 : 41-48.
- Darwin, C. 1859. On the origin of species by means of natural selection. John Murray, London.
- Despois J. (1957) Le Djebel Amour (Algérie). Publications de la faculté des lettres d'Alger. IIe série — Tome XXXV. 158p.
- Diamond J.M. (1975). Assembly of species communities. *In* : Cody M.L. & Diamond J.M. (eds) *Ecology and Evolution of Communities*. Harvard University Press, Cambridge, 342-444.
- Diaz S. & Cabido M. (2001) Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *TRENDS in Ecology and Evolution* 16: 646-655.
- Diaz S., Cabido M. & Casanoves F. (1998) Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science* 9: 113-122.
- Diaz, S., Acosta, A. & Cabido, M. (1994) Community structure in montane grasslands of central Argentina in relation to land use. *Journal of Vegetation Science*, 5, 483-488.
- Dicastri F. (1981) Mediterranean-type shrublands of the world. *In* Di Castri, F. (eds), *Mediterranean-type Shrublands*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-52.
- Djebaili S. (1978) Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien. Thèse Doct., Univ. Sci. Tech. Langue doc, Montpellier : 229p.
- Djebaili S. (1984) Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppique et de l'Atlas saharien. O.P.U Alger, 177p+Ann.
- Djebaili S. (1990) Syntaxonomie des groupements préforestiers et steppiques de l'Algérie aride. *Ecologia Mediterranea*. XVI : 231-244.
- Djellouli Y., (1981) Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud oranais, wilaya de Saida : comportement des espèces vis à vis des éléments du climat. Thèses Doct. 3ème cycle, Univ. H. Boumediene, Alger. 178p + ann et cartes.
- Djellouli Y., (1991) Flores et plantes en Algérie septentrionale. Déterminisme de la répartition des plantes. Thèse doct. es sci, H. Boumediene, Alger, 262p + ann.
- Djellouli Y., Djebaili S. (1984) Synthèse des relations flore-climat en zone aride : cas de la wilaya de Saida. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 181, Actual. Bot. 2, 3, 4: 249-264.
- Dobignard, A. & C. Chatelain (2010-2013) Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord. vol. 1-5. "Base de données des plantes d'Afrique (version 3.4.0). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria" < <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>>.

- Doebeli, M., and U. Dieckmann. (2003) Speciation along environmental gradients. *Nature* 421:259-264.
- Ducouso, A. ; Guyon, J. P. & Krémer, A. (1996): Latitudinal and altitudinal variation of bud burst in western populations of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt) Liebl.). – *Ann. Sci. Forest.* 53: 775–782.
- Dyksterhuis EJ (1949) Condition and management of rangelands based on quantitative ecology. *Journal of Range Management*, 2, 104–115.
- Emberger L. (1930) La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gén. Bot.*, 42, 641-662.
- Emberger L., (1955) Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot.*, Montpellier, 7, 3-43.
- Escofier B., et Pages J. (1990) Analyses factorielles simples et multiples, objectifs, méthodes et interprétation. Dunod, Paris, 267 p.
- Fisher, R. A. (1926) The arrangement of field experiments. *Journal of the Ministry of Agriculture*, 33, 503-513. In : www.statsoft.fr
- Floret C. & Pontanier R. (1982) L'aridité en Tunisie pré-saharienne : climat-sol-végétation et aménagement. Thèse de doctorat d'État, USTL, Montpellier. *Travaux et documents de l'ORSTOM*, n° 150, 544 p.
- Floret C. (1990) Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient: tools for studying vegetation. *Journal of Vegetation Science* 1, 71-80.
- Floret C., Mtimet A. et Pontanier R., (1989/1990) –Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). *Cahier ORSTOM*, série Pédologie. 53-69.
- Franco, A.C., Nobel, P.S. (1989) Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77, 870-886.
- Furbish C.E. & Albano M. (1994) Selective Herbivory and Plant Community Structure in a Mid-Atlantic Salt Marsh. *Ecology* 75, 1015-1022.
- Garcia-Fayos P. & Gasque M. (2002) Consequences of a severe drought on spatial patterns of woody plants in a two-phase mosaic steppe of *Stipa tenacissima* L. *Journal of Arid Environments* , 52: 199–208.
- Gause, G. F. (1934) *The struggle for existence*, Williams & Wilkins. edition, Baltimore.
- Gausson H., 1963 - Ecologie et phytogéographie. In : *Précis de Sciences biologiques : Botanique*. 926-972.
- Gea-Izquierdo, G., Allen-Dí'az, B., San Miguel, A. & Can˜ ellas, I. (2010) How do trees affect spatio-temporal heterogeneity of nutrient cycling inMediterranean annual grasslands? *Annals of Forest Science* 67: 112–122.
- Godron M. (1968) Quelques applications de la notion de fréquence enécologie végétale. *Oecol. Plant.*, 3 : 185-212.
- Gounot M. (1961) Les méthodes d'inventaires de la végétation., *Bull. Serv. Carte phyogeogr.*, série B. carte des groupements végétaux. CNRS. Tome VI, Fascicule 1 : 7-73.
- Gounot M. (1969) Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie, Edit. Paris, 314p.
- Grace J.B. (1990) On the relationship between plant traits and competitive ability. Academic Press, San Diego, 51-63.
- Gratani L. (1996) Leaf and shoot growth dynamics of *Quercus ilex* L. – *Acta Oecol.* 17: 17–27.
- Grime J.P. (1974) Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* 250, 26-31.
- Grime J.P. (1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111, 1169-1194.
- Grime J.P. (1979) *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester.
- Grime J.P., Brown V.K., Thompson K., Masters G.J., Hillier S.H., Clarke I.P., Askew A.P., Corker D. & KIELTY J.P. (2000) The response of two contrasting limestone grasslands to simulated climate change. *Science* 289: 762-765.
- Gross, N., P. Liancourt, P. Choler, K. N. Suding, and S. Lavorel. (2009b) Strain and vegetation effect on local limiting resources explain the outcome of biotic interactions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and systematics* in Press.
- Grossoni, P., Bussotti, F., Tani, C., Gravano, E., Santarelli, S., Bottacci, A. (1998). Morpho-anatomical alterations in leaves of *Fagus sylatica* L. and *Quercus ilex* L. in different environmental stress conditions. *Chemosphere* 36, 919– 924.

- Grouzis, M. (1991) Réhabilitation des terres dégradées au nord et au sud du Sahara. Utilisation des légumineuses pérennes et des micro-organismes associés pour l'établissement des formations pluristrates. Contrat Union européenne STD3, TS3*TT92-0047, Dakar, ORSTOM, 80 p.
- Guinochet M. (1973) Phytosociologie. Masson Edit., Paris, 227 p.
- Herms DA, Mattson WJ (1992) The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, 67, 283–335.
- Holmgren, M., Scheffer, M. & Huston, M.A. (1997). The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78: 1966–1975.
- Holt R.D. (2009). Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 106, 19659-19665.
- Howlett, D.S., Moreno, G., Losada, M.R., Nair, P.K. & Nair, V.D. (2011) Soil carbon storage as influenced by tree cover in the Dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 1897–1904.
- Hubbell S.P. (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Hutchinson, G. E. (1957) A treatise on limnology, Geography, Physics and Chemistry. Wiley. edition.
- Jauffret, S., (2001) Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides: application au suivi de la désertification dans le sud tunisien. Thèse de Doctorat, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille, 360 pages.
- Joffre, R., Rambal, S. (1988) Soil water improvement by trees in the rangelands of Southern Spain. *Acta Oecologica* 9, 405-422.
- Kaabeche M. (1990) Les groupements végétaux de la Région de Bou-Saada. Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse de Doct. es Sce. Univ. Paris- Sud. Fac. Sces. Orsay.94p+ann.
- Kadi-hanifi H. et Loisel R. (1997) Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation.
- Kadi-Hanifi Achour H., (1998) L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relation milieu-végétation, Dynamique et perspectives d'avenir. Thèse. Doct. Es science. Univ. Sci. Tech. H. BOUMEDIENE. Alger. 270 p.
- Kadi-Hanifi H. (2003) Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. Laboratoire d'écologie végétale, Faculté des sciences biologiques, Université des sciences et technologie Houari Boumediène, Alger. Sécheresse. Volume 14, Numéro 3, 169-79.
- Kadik B. (1983) Contribution à l'étude du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie, OPU, Alger, 581p.
- Kadik L. (1984) Contribution à l'étude phytoécologique des formations à *Pinus halepensis* Mill. Dans le Senalba Chergui et Gharbi (Atlas Saharien). Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. H. BOUMEDIENE, Alger.313p.
- Kadik L., (2005) Etude phytosociologique et phytoécologique des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) de l'étage bioclimatique semi-aride algérien. Thèse Doct. es Sciences, 188p. + annexes.
- Kattge J, Díaz S, Lavorel S, Prentice IC, Leadley P, Bönsch G, Garnier E, WestobyM, Reich PB, Wright IJ, Cornelissen JHC, Violle C, Harrison SP, Van Bodegom PM, Reichstein M, Enquist BJ, Soudzilovskaia NA, Ackerly DD, Anand M, Atkin O, Bahn M, Baker TR, Baldocchi D, Bekker R, Blanco CC, Blonder B, Bond WJ, Bradstock R, Bunker DE, Casanoves F, Cavender-Bares J, Chambers JQ, Chapin III FS, Chave J, Coomes D, Cornwell WK, Craine JM, Dobrin BH, Duarte L, Durka W, Elser J, Esser G, Estiarte M, Fagan WF, Fang J, Fernández-Méndez F, Fidelis A, Finegan B, Flores O, Ford H, Frank D, Freschet GT, FyllasNM, Gallagher RV, GreenWA, Gutierrez AG, Hickler T, Higgins SI, Hodgson JG, Jalili A, Jansen S, JolyCA, Kerkhoff AJ, Kirkup D, Kitajima K, Kleyer M, Klotz S, KnopsJMH, KramerK, Kühnl, KurokawaH, Laughlin D, Lee TD, Leishman M, Lens F, Lenz T, Lewis SL, Lloyd J, Llusià J, Louault F, Ma S, Mahecha MD, Manning P, Massad T, Medlyn BE, Messie J, Moles AT, Müller SC, Nadrowski K, Naeem S, Niinemets Ü, Nöllert S, Nüske A, Ogaya R, Oleksyn J, Onipchenko VG, Onoda Y, Ordoñez J, Overbeck G, Ozinga

- WA, Patiño S, Paula S, Pausas JG, Peñuelas J, Phillips OL, Pillar V, Poorter H, Poorter L, Poschod P, Prinzing A, Proulx R, Rammig A, Reinsch S, Reu B, Sack L, Salgado-Negret B, Sardans J, Shiodera S, Shipley B, Siefert A, Sosinski E, Soussana J-F, Swaine E, Swenson N, Thompson K, Thornton P, Waldram M, Weiher E, White M, White S, Wright SJ, Yguel B, Zaehle S, Zanne AE, Wirth C., (2011) TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology* 17, 2905–2935. www.try-db.org
- Keddy P. (1992) Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3: 157-164.
- Kellman, M. (1979) Soil enrichment by neotropical savanna trees. *Journal of Ecology* 67, 565-577.
- Khurshid-Alam, F.C. (1973) Distribution of precipitation in mountainous areas of West Pakistan. WMO 326, 290–306
- Korner Ch.(2007) The use of ‘altitude’ in ecological research .TRENDS in Ecology and Evolution Vol.22 No.11
- Korner, Ch. (2003) *Alpine Plant Life* (2nd edn), Springer.
- Koudri M. (2013) Contribution à l'étude de l'avifaune nicheuse de la région de l'Atlas saharien.Doc.Bio animal.Univ.BADJI MOKTAR ANNABA.
- Kyle G. & Leishman M.R. (2009) Functional traits differences between extant exotic, native and extinct native plants in the Hunter River, NSW: a potential tool in riparian rehabilitation. *River Research and Applications* 25: 892-903.
- Kyriakopoulos E. & Richter, H. (1991) Desiccation tolerance and osmotic parameters in detached leaves of *Quercus ilex* L. – *Acta Oecol.* 12: 357–367.
- Landsberg, J., Lavorel, S. & Stol, J. (1999) Grazing response groups among understory plants in arid rangelands. *Journal of Vegetation Science*, 10, 683-696.
- Larcher W. (2000) Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. – *Plant Biosystems* 134: 279–295
- Lavorel S, Di'az S, Cornelissen H. (2007) Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? In: *Terrestrial Ecosystems in a Changing World* (eds Canadell J, Pataki D, Pitelka L), pp. 171–186. Springer-Verlag, New York.
- Lavorel S. & Garnier E. (2002) Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16, 545-556.
- Lavorel S., McIntyre S. & Grigulis K. (1999) Plant response to disturbance in a Mediterranean grassland: how many functional groups? *Journal of Vegetation Science* 10: 661-672.
- Le Houérou H.N. (1969) La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 42, 5, 624 p.
- Le Houérou H.N., (1992) An overview of vegetation and land degradation in world arid lands. In: DREGNE H.E. (ed), *Degradation and restoration of arid lands*, 127-163. International Center for Arid and semi-arid Land Studies Texas Tech. Univ., Lubbock.
- Le Houérou H.N., (1995 b) Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique., In : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* (PONTANIER R., M'HIRI A., AKRIMI N., ARONSON J., LE FLOC'H Edits), Paris, 65-102.
- Le Houérou H.N., (1995) Considérations biogéographiques sur les steppes arides du Nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 6: 167-182.
- Le Houérou H.N., Claudin J. et Pouget M. (1997) Etude bioclimatique des steppes algériennes. Avec une carte bioclimatique 1/1.000.000 ème *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord Alger*, t. 68, fasc. J et 4. *Ecologia mediterranea* 23 (314), 33-43 (1997)
- Le Roux P. C., and M. A. McGeoch. 2008. Spatial variation in plant interactions across a severity gradient in the sub-Antarctic. *Oecologia* 155:831-844.
- Lebart L.& Fenelon (1971) *Statistique et informatique appliquées*. Dunod, Paris 457p.
- Legendre L. & Legendre P. (1984a)*Ecologie numérique*. 1. Le traitement multiple des données écologiques. Collection d'écologie 12, 2ème édition, Masson, Paris. 260 p.
- Leniere A. & Houle G. (2009) Short-term responses of the understory to the removal of plant functional groups in the cold-temperate deciduous forest. *Plant Ecology* 201: 235-245.
- Liancourt, P., Callaway, R.M. & Michalet, R. (2005) Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology*, 86 : 1611–1618.

- Lloret F & Granzow-de la Cerda I (2013) Plant competition and facilitation after extreme drought episodes in Mediterranean shrubland: does damage to vegetation cover trigger replacement by juniper woodland?. *Journal of Vegetation Science* 24 :1020–1032.
- Lo Gullo MA, Salleo S (1993) Different vulnerabilities of *Quercus ilex* to freeze- and summer drought-induced xylem embolism: an ecological interpretation. *Plant Cell Environ* 16:511–519.
- Long G. (1954) Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale. *Ann. Serv. Bot. Agro. Tunis*, 27, 388 p.
- Lortie C.J., Brooker R.B., Kikvidze Z. & Callaway R.M. (2004) The value of stress and limitation in an imperfect world: A reply to Körner. *Journal of Vegetation Science* 15, 577-580.
- Louault F., Pillar V.D., Aufrere J., Garnier E. & Soussana J.-F. (2005) Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science* 16: 151-160.
- Lubchenco J. (1998) Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science* 279, 491- 497.
- Ludwig J.A., Tongway D.J., Eager R.U., Williams R.J., and Cook G.D. (1999) Fine-scale vegetation patches decline in size and cover with increasing rainfall in Australia savannas. *Landscape Ecol.* 14:557-566.
- Ludwig, J.A., Tongway, D.J., Bastin, G.N., James, C.D. (2004) Monitoring ecological indicators of rangeland functional integrity and their relation to biodiversity at local to regional scales. *Aust. Ecol.* 29, 108–120.
- MacArthur R. & Levins R. (1967) The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *American Naturalist* 101, 377-385.
- MacGillivray C.W. & Grime J.P. (1995) Testing predictions of the resistance and resilience of vegetation subjected to extreme events. *Functional Ecology* 9: 640-649.
- Maestre F.T. and Cortina J. (2014) Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Universidad de Alicante, Departamento de Ecología, Apartado de correos 99, 03080 Alicante, Spain. Proc. R. Soc. Lond. B (Suppl.)* 271, S331–S333.
- Maestre F.T., Bautista S., Cortina J., Diaz G., Honrubia M., Vallejo R. (2002) Microsite and mycorrhizal inoculum effects on the establishment of *Quercus coccifera* in a semi-arid degraded steppe. *Ecological Engineering* 19 : 289-295.
- Maestre F.T., Huesca M., Zaady E., Bautista S., Cortina J. (2002) Infiltration, penetration resistance and microphytic crust composition in contrasted microsites within a Mediterranean semi-arid steppe. *Soil Biology and Biochemistry* 34 : 895-898.
- Maestre, F.T., Bautista, S. & Cortina, J. (2003a) Positive, negative, and net effects in grass–shrub interactions in Mediterranean semiarid grasslands. *Ecology*, 84, 3186–3197.
- Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J., 2003. Positive, negative, and net effects in grass–shrubs interactions in Mediterranean semiarid grasslands. *Ecology*, 84, 3186–3187.
- Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J., Bellot, J., 2001. Potential of using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 11, 1641-1655.
- Maestre, F.T., Callaway, R.M., Valladares, F., Lortie, C.J., 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of Ecology*, 97, 199–205.
- Maestre, F.T., Cortina, J., 2004. Insights into ecosystem composition and function in a sequence of degraded semiarid steppes. *Restoration Ecology*, 12, 494–502.
- Maestre, F.T., Cortina, J., Bautista, S., Bellot, J., 2003. Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations? *Forest Ecology and Management*, 176, 147-160.
- Maestre, F.T., Valladares F., Reynolds, J.F. 2005. Is the change of plant-plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology*. 93, 748-757.
- Maestre, F.T., Valladares F., Reynolds, J.F., 2006. The stress-gradient hypothesis does not fit all relationships between plant-plant interactions and abiotic stress: further insights from arid environments. *Journal of Ecology*. 94, 17-22.

- Mahaney W. (2010) Plant control on decomposition rates: the benefits of restoring abandoned agricultural lands with native prairie grasses. *Plant and Soil* 330: 91-101.
- Maran T., Pugnaire, F. & Callaway, R.M. (2009) Mediterranean- climate oak savannas: the interplay between abiotic environment and species interaction. *Web Ecology* 9: 30–43.
- Martinez-Ferri, E., Balaguer, L., Valladares, F., Chico, J.M. & Manrique, E. (2000) Energy dissipation in drought-avoiding and drought-tolerant tree species at midday during the Mediterranean summer. *Tree Physiology* 20: 131–138.
- McGill B.J., Enquist B.J., Weiher E. & Westoby M. (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21, 178 -185.
- McNaughton, S.J. & Sabuni, G.A. (1988) Large African mammals as regulators of vegetation structure. *Plant Form and Vegetation Structure* (eds M.J.A. Werger, P.J.M. van der Aart, H.J. During & J.T.A. Verhoeven), pp. 339-354. SPB Academic Publications, The Hague, the Netherlands.
- Mediouni K. et Yahi N. (1994) Phytodynamique et autoécologie du cèdre (*Cedrus atlantica*, Manetti) dans le Djurdjura. *Ann. Rech. Forest. Maroc*, 27 (spécial), 1: 77-104. In : Yahi N. (2007) Les cédraies d'Algérie : phytoécologie, phytosociologie, dynamique et conservation des peuplements. thèse.doct.univ.H.BOUMEDIENE. Alger. 225p.
- Michalet, R., 2006. Is facilitation in arid environments the result of direct or complex interaction? *Commentary. New Phytologist* 169, 3-6
- Michalet, R., 2007. Highlighting the multiple drivers of change in interactions along stress gradients? *New Phytologist*, 173, 3–6.
- Michalet, R., Brooker, R.W., Cavieres, L.A., Kikvidze, Z., Lortie, C.J., Pugnaire, F.I., Valiente-Banuet, A. & Callaway, R.M. (2006) Do biotic interactions shape both sides of the humped-back model of species richness in plant communities? *Ecology Letters*, 9, 767–773.
- Milchunas DG, Sala OE, Lauenroth WK (1988) A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *The American Naturalist*, 132, 87–106.
- Miller, P.M., Eddleman, L.E. & Miller, J.M. (1995) *Juniperus occidentalis* juvenile foliage – advantages and disadvantages for a stress-tolerant, invasive conifer. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 470–479.
- Mirzaie-Nodoushan H. and Arefi H.M. (2001) Variability in seed blankness in *Pistacia atlantica* Desf. in a natural habitat. *PGR Newsletter. FAO-Biodiversity. Bull. Res. Phytogén.* 127: 46-48.
- Monjauze A. (1968) Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie. *Bull. Soc. Nat. Afrique du Nord.* P. 128.
- Nardini A, Salleo S, Lo Gullo MA, Pitt F (2000) Different responses to drought and freeze stress of *Quercus ilex* L. growing along a latitudinal gradient. *Plant Ecol* 148:139–147.
- Nedjraoui D. (1990) Adaptation de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) aux conditions stationnelles. Contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique. Thèse Doct. ; Uni. H. BOUMEDIENE. Alger, 256 p.
- Negre R., 1966 - Les thérophytes. *Mem. Soc. Bot. Fr.* : 92-108.
- Newingham, B., Aschehoug, E.T., Armas, C., Kikodze, D., Cook, B.J., 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, 417, 844–848.
- Noble, I. R., and R. O. Slatyer. 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Plant ecology* 43:5-21.
- Noumi Z. (2010) *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan en Tunisie pré-saharienne : structure du peuplement, réponses et effets biologiques et environnementaux . thèse.doct.Faculté des Sciences de Sfax.Université de Bordeaux 1
- Noumi, Z., Touzard, B., Michalet, R., Chaieb, M., (2010) The effects of browsing on the structure of *Acacia tortilis* (Forssk) Hayne ssp. *raddiana* (Savi) Brenan along a gradient of water availability in arid zones of Tunisia. *Journal of Arid Environments* 74, 625-631
- Noy-Meir, I., Gutman, M. & Kaplan, Y (1989) Responses of Mediterranean grassland plants to grazing and protection. *Journal of Ecology*, 77, 290- 310.
- Ozenda P., 1977 - Flore du Sahara 2ème Ed. CNRS, Paris, 622 p.
- Pennings S.C., Bestorgrant M. & Bertness M.D. (2005) Plant zonation in low-latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition. *Journal of Ecology* 93, 159-167.

- Pickett S.T.A. & Bazzaz F.A. (1978) Organization of an assemblage of early successional species on a soil moisture gradient. *Ecology* 59, 1248-1255.
- Plieninger, T. & Wilbrand, C. (2001) Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agroforestry Systems* 51: 23–34.
- Plieninger, T., Schaich, H. & Kizos, T. (2011) Land-use legacies in the forest structure of silvopastoral oak woodlands in the Eastern Mediterranean. *Regional Environmental Change* 11: 603–615.
- Pontes L. da S., Soussana J.-F., Louault F., Andueza D. & Carrere P. (2007) Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology* 21: 844- 853.
- Pouget M., 1980. – Les relations sol-végétation dans les steppes sud algéroises. Trav. Et doc. ORSTOM, Paris, 555p.
- Pugnaire, F.I., Haase, P. (1996) Comparative physiology and growth of two perennial tussock grass species in a semi-arid environment. *Annals of Botany* 77 : 81–86.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. (1996a) Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology* 77, 1420-1426.
- Puigdefabregas J. & Sanchez G., 1996. Geomorphological implications of vegetation patchiness on semiaride slopes. In: M.G. Anderson & S.M. Books (eds). *Advances in Hillslope processes* (volume 2), 1028-1060.
- Quezel P et Santa S., 1962.- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS Paris 1170p.
- Quezel P. (1999) Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire
- Quezel P. (2000) *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. Paris : Ibis Press,.
- Quezel P. et Barbero M., (1993) Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène ; enseignement de la flore et de la végétation actuelle. *Bull. Ecol.*, 24 (2/3/4) : 191-202.
- Quézel P. et Médail F. (2003) *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Environmental series. Elsevier. P. 571.
- Quezel P. Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: facteurs déterminants dans leur mise en place. [Putting in place the present-day large vegetation structures around the Mediterranean impact of different parameters] *GEOBIOS*, 32, 1: 19-32.
- Quezel P., (1978) Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 65(2) : 479-533.
- Quezel P., (1983) Flore et végétation 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 : 411-416.
- Quezel P., (1995) La flore du bassin méditerranéen : origine, mise en place, endémisme. *Ecologia mediterranea* XXI (1/2) : 19-39.
- Ramade F. (1984) *Éléments d'écologie*. Ecologie fondamentale. Edition Mc Graw- Hill. Paris. 397p.
- Rand T.A. (2002) Variation in insect herbivory across a salt marsh tidal gradient influences plant survival and distribution. *Oecologia* 132, 549-558.
- Raunkiaer C. , (1934) *The life form of plants and statistical plant geography*. Oxford Univ. Press.
- Ryser P. (2006) The mysterious root length. *Plant and Soil* 286: 1-6.
- Sabat S., Sala A., Gracia C.A. (1999) Leaf traits and canopy organization. In: Rod_ F, Retana J, Gracia CA, Bellot J (eds) *Ecology of Mediterranean evergreen oak species*. Ecological studies 137. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 121– 133.
- Sala A., Tenhunen J.D. (1994) Site-specific water relations and stomatal response of *Quercus ilex* in a Mediterranean watershed. *Tree Physiol* 14:601–617
- Sala A., Tenhunen, J.D. (1994) Site-specific water relation and stomatal response of *Quercus ilex* in a Mediterranean watershed. *Tree Physiol*. 14, 601–617.
- Sala O.E., Oesterheld M, Leon R.J.C.(1986) Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio*, 67, 27–32.
- Sala, O. E., F. S. Chapin, III, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M.

- Oosterheld, iacute, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker, and D. H. Wall. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100 . Science 287:1770-1774.
- Sanchez G. & Puigdefabregas J., 1994. Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. *Geomorphology* 9, 243-260.
- Sauvage Ch., 1961 - Recherches botaniques sur les subéraies marocaines. *Trav. Inst. Sci. Cherifien Bot.* 21 : 1-462
- Schluter, D. 2000. The ecology of adaptive radiation. Oxford university press, Oxford, UK.
- Schnitzler A. et Arnold C. (2010) Contribution des lianes à la biodiversité forestière méditerranéenne *Contribution of vines to forest biodiversity in the Mediterranean basin Revue internationale d'écologie méditerranéenne International Journal of Mediterranean Ecology Vol. 36 (1).*
- Schnitzler A., Arnold C. Contribution des lianes à la biodiversité forestière méditerranéenne *Contribution of vines to forest biodiversity in the Mediterranean basin.*
- Seltzer P. (1946) Le climat de l'Algérie. Carbonnel, ALGER, 219 p.
- Selzert. P. (1946) Le climat de l'Algérie, Institut de météo. Et de phys. Du globe de l'Univ. d'Alger, 219 p.
- Slimani H. (1998) Effet du pâturage sur la végétation et le sol et désertification. Cas de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de Rogassa des Hautes plaines occidentales algériennes. Thèse Mag. Univ. Sci.Thechnol. H. BOUMEDIENE, Alger, 123p.+ ann.
- Stambouli M. (2004) Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien, l'exemple de Djebel Amour. Thèse de Doctorat : Institut des Sciences de la terre d'Oran, 329p.
- Suding K.N., Lavorel S., Chapin III F.S., Cornelissen J.H.C., Díaz S., Garnier E., Goldberg D., Hooper D.U., Jackson S.T. & Navas M.-L. (2008) Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-andeffect framework for plants. *Global Change Biology* 5, 1125-1140.
- Terradas J. & Savé, R. (1992) The influence of summer and winter stress and water relationships on the distribution of *Quercus ilex* L. – *Vegetatio* 99–100: 137–145.
- Terradas, J. (1999) Holm oak and Holm oak forests: an introduction. In: Roda´, F., Retana, J., Gracia, C.A. & Bellot, J. (eds.) *Ecology of Mediterranean evergreen oak forest, ecological studies*, pp. 145–144. Springer, Berlin, DE.
- Tielborger, K. & Kadmon, R. (2000). Temporal environmental variation tips the balance between facilitation and interference in desert plants. *Ecology*, 81: 1544–1553.
- Tilman D. (2001) Functional diversity. In : Levin S. (ed) *Encyclopedia of Biodiversity, Vol. 3.* Academic Press, San Diego, 109-120.
- Tilman, D. (1982) *Resource competition and community structure*, Princeton University Press edition, Princeton, New Jersey, USA.
- Tilman, D. (1990) Mechanisms of plant competition for nutrients: the elements of a predictive theory of competition. Pages 117-141 in J. Grace and D. Tilman, editors. *Perspectives on plant competition.*
- Tomaselli R. (1976) La dégradation du maquis méditerranéen. In: Forêt et maquis méditerranéen : écologie, conservation et aménagement. Note technique du MAB n°2, UNESCO: 35- 76.
- Trabut C.L., (1888)- Les zones botaniques de l'Algérie.A.F.A.S. Congrès d'Oran. 2 : 286-294.
- Trabut L., (1889). Etude sur l'Halfa. Jourdan, Alger, 90p.
- Tréca, B., Tamba, S., Akpo, L.E., Grouzis, M., (1996) Importance de l'avifaune sur les apports en azote et en phosphore dans une savane sahélienne du nord Sénégal. *Rev. Ecol., (Terre Vie)* 51 : 259-373.
- Tretiach M, Bolognii G, Rondi A (1997) Photosynthetic activity of *Quercus ilex* at the extremes of a transect between mediterranean and submediterranean vegetation (Trieste, NE Italy). *Flora* 192:369–378
- Valentin, C., d'Herbe's, J.M & Poesen, J. (1999). Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena*, 37: 1–24.
- Valladares, F., Puignaire, F.I. (1999) Tradeoffs between irradiance capture and avoidance in semi-arid environments assessed with a crown architecture model. *Annals of Botany* 83, 459–469.
- Victor R., Plieninger T. & Moreno G. (2013). Facilitation of holmoak recruitment through two contrasted shrubs species inMediterranean grazed woodlands. *Journal of Vegetation Science* 24 : 344–355.

- Violle, C., M.-L. Navas, D. Vile, E. Kazakou, C. Fortunel, I. Hummel, and E. Garnier. (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116:882-892.
- Walker B., Kinzig A. & Langridge J. (1999) Plant attribute diversity, resilience and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems* 2: 95-113.
- Wartenber D., Ferson S. et Rohlf F.J., (1978) Putting things in order: a critique detrended correspondence analysis. *American Naturalist*, 129, 434-448
- Weihner, E., A. van der Werf, K. Thompson, M. Roderick, E. Garnier, and O. Eriksson. (1999) Challenging theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of vegetation science* 10:609-620.
- Westoby M., Falster D., Moles A., Vesk P. & Wright I. (2002) Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33, 125-159.
- Westoby, M. (1998) A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* 199:213-227.
- Whitford, W.G., Anderson, J. & Rice, P.M. (1997). Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*. *Journal of Arid Environments*, 35: 451-457.
- Whittaker, R. H. (1967) Gradient analysis of vegetation. *Biological Review* 42:207-264.
- Woodward F. & Diament A.D. (1991) Functional approaches to predicting the ecological effects of global change. *Functional Ecology* 5, 202-212.
- Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin III F.S., Cornelissen J.H.C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P.K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B.B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J.J., Navas M-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E. & Villar R. (2004) The world-wide leaf economics spectrum. *Nature* 428, 821- 827.
- Yahi N. et Mediouni K. (1997) Phytosociologie des groupements à cèdre "*Cedrus atlantica*, Manetti" du massif de Téniet El Had (Algérie). *Colloques phytosociologiques*, XXVII: 479-490.
- Zaouali Y., (1999) Polymorphisme isoenzymatique de douze populations naturelles d'*Argyrolobium uniflorum* Jaub. et Spach. en Tunisie. *Mémoire de DEA. Fac. Sci.Tunis*, 78 p.
- Zaouali Y., Ben Fadhel N., Boussaid M. (2002) Diversité génétique des populations naturelles de l'*Argyrolobium uniflorum* Jaub. et Spach. (Fabaceae) en Tunisie *Genetic diversity in Tunisian populations of Argyrolobium uniflorum Jaub. et Spach. (Fabaceae) Ecologia mediterranea*, 28 : 23-37.
- Zobel M. (1997) The relative role of species pools in determining plant species richness: an alternative explanation of species coexistence. *TRENDS in Ecology and Evolution* 12: 266-269.

Annexes

Tableau -I - Liste des espèces, types phytogéographiques, biologiques et familles (nomenclature d'après Quezel et Santa (1962-1963) actualisée d'après Dobignard et Chatelain (2010-2013, les noms en gras sont les dernières appellations acceptées pour la flore d'Afrique du Nord).

N°	Espèce	Auteurs	TP	TB	Famille
1	<i>Alyssum granatense</i>	Boiss et Reut	E.A	Th	Brassicaceae
2	<i>Alyssum scutigerum</i>	Dur.	END	Th	Brassicaceae
3	<i>Ammochloa pungens</i>	(Schreb.) Boiss	END	Th	Poaceae
4	<i>Androsace maxima</i>	L.	E.A	Th	Primulacea
5	<i>Argyrolobium uniflorum</i>	(Desc.) Jaub. et Spach	M	He	Fabaceae
6	<i>Aristida obtusa</i> = <i>Stipagrostis obtusa</i>	Del (Delile) Ness.	E.M	He	Poaceae
7	<i>Artemisia herba alba</i>	Asso	M	Ch	Asteraceae
8	<i>Asparagus acutifolius</i>	L.	M	Ge	Liliaceae
9	<i>Asparagus horridus</i>	(L.f.) M. et W	M	Ge	Liliaceae
10	<i>Astragalus armatus</i>	Willd	END	Ch	Fabaceae
11	<i>Astragalus sinaicus</i>	Boiss.	M.I.T	Th	Fabaceae
12	<i>Atractylis humilis</i>	L.	M	He	Asteraceae
13	<i>Bromus rubens</i> = <i>Anisantha rubens</i>	L. (L.) Nevski	M	Th	Poaceae
14	<i>Calendula aegyptiaca</i> = <i>Calendula arvensis</i>	Pers. (Vaill.) L.	S.A	Th	Asteraceae
15	<i>Carduncellus pinnatus</i> = <i>Carthamus pinnatus</i>	(Desf.) DC Desf.	M	He	Asteraceae
16	<i>Centaurea parviflora</i>	Desf.	M	Ch	Asteraceae
17	<i>Ceratocephala falcata</i>	(L.) Pers	M.I.T	Th	Rononculaceae
18	<i>Crucianella patula</i>	L.	END	Th	Rubiaceae
19	<i>Draba verna</i> = <i>Erophila verna</i>	L. (L.) Chevall.	E.A	Th	Brassicaceae
20	<i>Echinaria capitata</i>	(L.) Desf.	M	Ch	Poaceae
21	<i>Echinops spinosus</i>	L.	S.A	Ch	Asteraceae
22	<i>Erodium hymenodes</i> = <i>Erodium trifolium</i>	L'Her. (Cav.) Guitt.	END	Th	Geraniaceae
23	<i>Erodium triangulare</i> = <i>Erodium laciniatum</i>	(Forsk.) Musch (Cav.) Willd.	M	Th	Geraniaceae
24	<i>Eryngium campestre</i>	L.	E.M	He	Apiaceae
25	<i>Euphorbia bupleuroides</i>	Desf.	M	Ch	Euphorbiaceae
26	<i>Euphorbia falcata</i>	L.	M	Th	Euphorbiaceae
27	<i>Ferula vesceritensis</i>	Coss. & Durieu ex Batt.	END	He	Apiaceae
28	<i>Filago spathulata</i> = <i>Filago pyramidata</i>	Presl. L.	M	Ch	Asteraceae
29	<i>Gagea arvensis</i> = <i>Gagea villosa</i>	(Pers.) Dumort. (M. Bieb.) Sweet	E.A	Th	Liliaceae
30	<i>Globularia alypum</i>	L.	M	He	Globulariaceae
31	<i>Helianthemum croceum</i>	(Desf.) Pers.	M	Th	Cistaceae
32	<i>Helianthemum hirtum</i>	(L.) Mill.	END	Ch	Cistaceae
33	<i>Helianthemum lippii</i> var. <i>sessiliflorum</i> = <i>Helianthemum lippii</i>	(Desf.) Murb (L.) Dum. Cours.	M.S.A	Ch	Cistaceae
34	<i>Helianthemum virgatum</i>	(Desf.) Pers.	M	Ch	Cistaceae
35	<i>Herniaria hirsuta</i>	L.	M	Th	Paronychioideae

36	<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	L.	M	Th	Fabaceae
37	<i>Hordeum murinum</i>	L.	M	Th	Poaceae
38	<i>Hyoseris radiata</i>	L.	E.M	He	Asteraceae
39	<i>Hypecoum procumbens</i>	L.	M.I.T	Ch	Papaviraceae
40	<i>Iris sisyrinchium</i> = <i>Moraea sisyrinchium</i>	L. (L.) Ker Gawl.	M	Ge	Iridaceae
41	<i>Juniperus phoenicea</i>	L.	M	Ph	Cupressaceae
42	<i>Lappula redowskii</i> = <i>Lappula patula</i>	(Hornem) Greene (Lehm.) Gürke	M	Th	Bouraginacea
43	<i>Launaea glomerata</i> = <i>Launaea capitata</i>	(Cass.) Hook. F. (Spreng.) Dandy	M	Ch	Asteraceae
44	<i>Launaea acanthoclada</i> = <i>Launea lanifera</i>	M Pau.	M	Ch	Asteraceae
45	<i>Leontodon hispanicus</i> = <i>Picris hispanica</i>	Poir. (Willd.) P. D. Sell	M	Th	Asteraceae
46	<i>Lobularia lybica</i>	(Viv.) Webb	M	He	Brassicaceae
47	<i>Lygeum spartum</i>	L.	M	Ge	Poaceae
48	<i>Lythrum thymifolia</i>	L.	M	Th	Lythraceae
49	<i>Malva aegyptiaca</i> = <i>Malva aegyptia</i>	L. L.	S.A	Th	Malvaceae
50	<i>Marrubium deserti</i> = <i>Maropsis deserti</i>	de Noé (de Noé) Pomel	S.A	Ch	Lamiaceae
51	<i>Matthiola inaca</i>	(L.) R. Br.	M	Th	Brassicaceae
52	<i>Medicago hispida</i> = <i>Medicago</i> <i>polymorpha</i>	Gaertn. L.	M	Th	Fabaceae
53	<i>Micropus bombycinus</i> = <i>Bombycilaena discolor</i>	Lag. (Pers.) M. Lainz	P	Th	Asteraceae
54	<i>Muscari comosum</i>	(L.) Mill	M	Ch	Hyacinthaceae
55	<i>Nerium oleander</i>	L.	M	Ph	Apocynaceae
56	<i>Papaver rhoeas</i>	L.	P	Th	Papaviraceae
57	<i>Paronychia argentea</i>	(Pourr.) Lamk .	M	He	Paronychioideae
58	<i>Peganum harmala</i>	L.	I.T	Ch	Zygophyllaceae
59	<i>Pinus halepensis</i>	Mill	M	Ph	Pinaceae
60	<i>Pistacia atlantica</i>	Desf	END	Ph	Anacardiaceae
61	<i>Plantago albicans</i>	L.	M	Th	Plantaginacea
62	<i>Plantago amplexicaule</i>	Cav	M	Th	Plantaginacea
63	<i>Plantago psyllium</i>	L.	M	Th	Plantaginacea
64	<i>Polycnemum fontanesii</i>	Dur. Et Moq	END	Ch	Amaranthaceae
65	<i>Quercus ilex</i>	L.	M	Ph	Fagaceae
66	<i>Reseda alba</i>	L.	E.A	Th	Resedaceae
67	<i>Retama raetam</i>	Webb	S.A	Ph	Fabaceae
68	<i>Rhaponticum acaule</i>	(L.) DC	END	Ch	Asteraceae
69	<i>Rosmarinus officinalis</i>	L.	M	Ph	Lamiaceae
70	<i>Salvia verbenaca</i>	(L.) Briq	M	He	Lamiaceae
71	<i>Scabiosa stellata</i> = <i>Lomelosia</i> <i>stellata</i>	L. (L.) Raf.	M	Th	Dipsacaceae
72	<i>Schismus barbatus</i>	(L.) Thell	M	Th	Poaceae
73	<i>Scorzonera laciniata</i> = <i>Podospermum laciniatum</i>	L. (L.) DC.	M	He	Asteraceae
74	<i>Scorzonera undulata</i>	Vahl	M	He	Asteraceae
75	<i>Sedum album</i>	L.	E.A	Ch	Crassulaceae

76	<i>Sisymbrium coronopifolium</i> = <i>Nasturtiopsis coronopifolia</i>	Desf (Desf.) Boiss.	M	Th	Brassicaceae
77	<i>Stipa retorta</i> = <i>Stipa capensis</i>	Cav Thunb.	M	Th	Poaceae
78	<i>Stipa tenacissima</i> = <i>Macrochloa tenacissima</i>	L. (L.) Kunth	M	Ge	Poaceae
79	<i>Suaeda fruticosa</i> = <i>Suaeda vera</i>	L. Forssk. ex J.F. Gmel.	P	Th	Amaranthaceae
80	<i>Teucrium polium</i>	L.	E.M	Ch	Lamiaceae
81	<i>Thymelaea microphylla</i>	Coss. Et Dur	END	Ch	Thymeleaceae

Légende

TB : Type biologique

Ph : Phanérophyte

Ch : Chaméphyte

Hem : Hémicryptophyte

Ge : Géophyte

Th : Thérophyte

TP : Type Phytogéographique

M : Méditerranéen

M-S : Méditerranéen-Saharo Sindienn

E-M : Euro- Méditerranéen

M-I-T : Méditerranéo-Irano-Touranienne

END : Endémique

P : Plurirégional