

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mustapha STAMBOULI de Mascara
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie



THÈSE

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Biologie
Option : Ecologie

Présentée par :

Mme TADJEDDINE Nadia Oum Keltoum

Sous le thème :

Intégration des données multi-sources dans un Système d'Informations Géographiques (SIG) pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes au niveau de l'interface région steppique-région Saharienne: Cas du territoire test d'El-Bayadh, Algérie.

Devant le jury composé de :

BENABDELI Khéloufi	Professeur	Président du jury	Université de Mascara
MEDERBAL Khaladi	Professeur	Directeur de these	Université de Tiaret
BELABID Lakhdar	Professeur	Examineur	Université de Mascara
DELLAL Abdelkader	Professeur	Examineur	Université de Tiaret
MAATOUG M'Hamed	Professeur	Examineur	Université de Tiaret

Année Universitaire 2014-2015

Dédicaces

A la mémoire de ma mère Zerga MAHBOUBI, elle qui a si bien nourri en moi le désir de persévérance, le devoir de transmettre et le plaisir dans la quête du Savoir.

A Abderrahmane et Mireille pour leur affection et pour l'assurance de leur présence qui défie les distances et les aléas du temps.

A mon aîné Zohra et son époux Houcine pour leurs affections inestimables.

A Abdelaziz et Yamina qui par leur disponibilité m'ont assuré sérénité et confiance en toute circonstance.

A mes Frères LATIF et KRIMO et leurs épouses

A Mohamed mon mari pour sa tolérance et son inépuisable assistance.

A mes enfants Halima Khaoula, Ismail et Mourad

A ma belle famille Benouaz et ma belle mère Tata

A mes nièces et neveux

Remerciements

Ce travail à été réalisé aux laboratoires LREEG et S.N.V. de l'université de Mascara sous la direction du Professeur **MEDERBAL Khaladi**, les mots du monde ne suffiront à vous exprimer Monsieur Le Professeur ma reconnaissance et ma profonde gratitude pour m'avoir accueillie dans votre équipe de laboratoire, former et associée à des projets de recherche passionnants qui m'ont permis de finaliser ce travail. Vous m'avez dirigée et accompagnée à toutes les étapes de ce travail, y compris les sorties sur le terrain qui se sont déroulées sur plus de cinq années. Vous avez investi votre temps pour m'aider, j'ai bénéficié de vos connaissances du terrain, de votre parfaite maîtrise du sujet, de votre total dévouement face aux problèmes de la steppe, de votre rigueur scientifique, de vos qualités humaines, de la simplicité des relations que vous avez établies et qui m'ont permis de mener à bien cette contribution. Je vous remercie infiniment de votre disponibilité et votre soutien.

Professeur **BENABDELI Khéloufi**, vous avez accepté de juger ce travail et de présider le Jury. J'en suis honorée et je voudrais saisir cette occasion pour vous renouveler mes sentiments de gratitude et vous assurer de mon profond respect.

Professeur **BELABID Lakhdar**, je vous remercie pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail en acceptant d'être membre de mon jury et pour toute la confiance que vous m'avez témoignée entant Doyen de la faculté des sciences de la nature et de la vie, toujours à l'écoute de nos préoccupations de doctorants et enseignants.

Je remercie Le Professeur **DELLAL Abdelkader** et Le Professeur **MAATOUG M'Hamed** de l'université de Tiaret, d'avoir accepté d'évaluer ce travail et de participer au Jury. J'en suis très honorée et je vous prie de croire en mes sentiments les plus distinguées.

Mes sincères remerciements s'adressent également aux Professeurs **JOSA Ramon**, **MAS Maité T.** et **VERDU Antoine.M.C.** de l'université « Politècnica de Catalunya » DEAB, ESAB de Barcelone (Espagne) qui m'ont accueillie dans leur université et pour ces moments agréables, studieux et enrichissantes que nous avons partagés sur le terrain et au laboratoire.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent à la Famille **REGAGBA, El hadj Abdallah, Mounoun** et leurs enfants pour leur grand cœur, si ouvert, si accueillant. Votre amitié et votre disponibilité resteront à jamais gravées dans ma mémoire.

Je remercie chaleureusement Madame Le Professeur **TIR TOUIL MEDDAH Aicha** ; votre disponibilité, vos conseils, votre rôle moteur sont et resteront pour moi d'une valeur inestimable.

Professeur **KHALDI Abderkader**, je vous remercie d'avoir toujours été à l'écoute de mes préoccupations et l'attention que vous avez manifestée à mon égard.

J'adresse une pensée spéciale à Madame Le Docteur **MOUMEN CHENTOUF Ouahiba** qui m'a assistée et accompagnée tout au long de ce travail ; un vrai bras droit et même aussi le bras gauche, mille fois merci mon amie !

Docteur **BENARBA Bachir** : Je tiens beaucoup à vous exprimer mes sincères remerciements pour votre disponibilité, votre précieuse aide et pour l'intérêt que vous avez porté à l'aboutissement de ce travail. Malgré vos multiples obligations vous avez toujours prêté une pleine écoute à mes sollicitations.

Monsieur **FREHA Mohamed** sans aucune hésitation vous avez accepté de m'aider et m'orienter dans l'univers des chimistes : merci beaucoup.

Madame Le Docteur **MEDJDOUB Houria** m'a fait bénéficiaire de sa compétence et de son savoir-faire, je la remercie pour ses conseils et pour tout le temps qu'elle m'a consacré.

Je tiens à remercier profondément Monsieur **REGAGBA Mohamed** pour sa précieuse collaboration ainsi à que Madame Le Docteur **MEDERBAL Zineb** mon amie pour sa complicité et son soutien moral indéfectible.

Mes vifs remerciements s'adressent à Monsieur Le Docteur **DARKAOUI Mahi** et à Monsieur Le Professeur **LATIGUI Ahmed** pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes recherches et pour avoir accepté sans hésitation, et malgré leurs lourdes charges de m'aider.

Je ne remerciais jamais assez mon frère **Abderrahmane TADJEDDINE** qui a corrigé et orienté mon travail en temps réel et cela malgré les lourdes tâches ainsi que **Mireille** qui m'a toujours témoigné un amour et une tendresse infinie.

A **Zohra** ma sœur et à son mari **Houcine BELGRAINET** qui m'ont toujours été d'un aide et d'une affection inestimable.

A mes frères, **Abdelaziz, Abdellatif et Abdelkrim** qui sont toujours disponibles pour moi, pour leurs précieux conseils et pour l'intérêt qu'ils ont porté à l'aboutissement de ce travail, à mes belles- Sœurs **YAMINA, AICHA et DJAMILA** et à mes **neveux et nièces**

A **MOHAMED SEGHIR** mon époux, mes enfants **Mourad, Ismail et Halima Khaoula** qui m'ont soutenues et supportée tout au long de cette rude épreuve qu'est la thèse.

A ma belle famille Benouaz au sein de laquelle j'ai trouvé toute la complicité nécessaire dans la quête du savoir.

A mes collègues enseignantes et enseignants, aux personelles du laboratoire, de la bibliothèque, de l'administration de l'université de Mascara.

Ma reconnaissance va également au personnel des différentes directions de la Wilaya d'El-Bayadh M. **BOUSMAHA Abdelmadjid, LOUAKEL Cheikh, TADJEDDINE Abdelfatah.**

A tous ces acteurs et d'autres que je n'ai pu citer nominativement, j'exprime ici ma gratitude et mes remerciements.

Enfin un vif remerciement à toutes celles et ceux qui ont permis de mener à bien les plans d'expériences de cette thèse à la fois sur le terrain et en laboratoire ; en particulier à **Arbi Khadidja, Fatima Abdi, Wahiba Baffou, Zineb Taouch, Amina Yahaoui, Imane Habib et Hanane Chenoufi** et à travers elles l'ensemble de mes étudiantes et mes étudiants.

Résumé

Le présent travail a été réalisé au niveau de l'interface région steppique- région présaharienne par une collecte sur terrain des données socio-économiques, climatiques, bioclimatiques et végétales. L'étude a été couronnée par la création d'un herbier traditionnel et un d'herbier électronique recensant une centaine d'espèces végétales et par une analyse floristique qui nous a permis d'identifier une flore spécifique adaptée aux conditions du milieu.

Nous avons effectué une évaluation du fonctionnement de l'écosystème en appliquant une nouvelle approche dite Landscape Function Analysis « LFA ». Une approche avérée très efficace et a révélé des indicateurs simples dont l'utilisation permet de faire des mesures répétées dans le temps, et d'accéder ainsi à l'évolution temporelle du système. Elle est très souple et applicable aussi bien dans les zones arides que semi arides.

La caractérisation microbiologique et physico- chimique du sol de cette région a porté sur six (06) stations, réparties selon un transect Nord-Sud dans l'axe El Bayadh– Brezina. Les analyses physicochimiques des sols des six stations indiquent la nature squelettique, sableuse et calcaire du sol ($\text{CaCO}_3 > 20$), à un pH alcalin (8,10-8,70) et une capacité de rétention d'eau variant entre 17,47% et 36,02%. La particularité de ces sols est leur richesse en matière organique (>4%), avec un bon rapport de fertilité (C/N) <12). Les analyses microbiologiques montrent une présence bactérienne très variable d'une station à l'autre avec prédominance de *Pseudomonas sp*, *Staphylocoques sp*, *Clostridium Sulfito-réducteurs*, *Enterobactéries* et *Streptocoques sp*.

Dans une optique de valorisation des ressources naturelles, nous avons étudié l'espèce végétale *Eruca vesicaria* largement utilisée. La plante récoltée de la région de Boussemghoun (El Bayadh) a subi des tests phytochimiques pour comparer la composition de la plante fraîche et de la plante spontanément séchée. Nos résultats montrent que la plante fraîche est très riche en eau (61,46%) ; elle contient plus, de fibres de cellulose (18,35%), de protéines (1,13%) et de matière minérale (3,1%) ; par contre la plante sèche contient plus de sucres (4,27%) et de composés phénoliques (0,4%).

Les résultats nous permettent de conclure qu'*Eruca vesicaria* consommée à l'état frais est intéressante pour l'alimentation humaine, alors qu'à l'état sec, elle peut être considérée comme un aliment fourrager d'une importance capitale dans les régions steppiques, sans risque de toxicité aigüe.

Mots clés : Interphase région steppique-région présaharienne, El-Bayedh, Végétation, *Eruca vesicaria*, Systèmes d'information géographique(SIG).

Abstract

The present study has been carried out at the pre-Saharan region and stepic - region interface by collecting on field socio-economic, climatic, vegetal and bioclimatic data. At the end of the study we have created traditional and electronic Herbariums and we identified a hundred plant species. The floristic analysis allowed us to identify a specific flora adapted to environmental conditions.

The ecosystem functioning evaluation has been realized using a new approach called Landscape Function Analysis "LFA". The approach has been shown to be of marked effectiveness and revealed simple indicators allowing us to do repeated measurements over time, and thus access to the temporal evolution of the system. It is very flexible and applicable both in arid and semi arid.

Microbiological and physico-chemical characterization of the region's soil has been carried out on six (06) stations, distributed in a north-south transect of the axis El Bayadh- Brezina. Our results showed a skeletal and sandy nature of the soil and limestone ($\text{CaCO}_3 > 20$) at alkaline pH (8.10 to 8.7). Furthermore, the water retention capacity was estimated to be between 17.47% and 36.02%. The studied soils are rich in organic matter ($> 4\%$), with good fertility ratio.

On the other hand, microbiological findings revealed a variable bacterial flora in the different stations. *Pseudomonas sp*, *Staphylocoques sp*, *Clostridium Sulfito-réducteurs*, *Enterobactéries et Streptocoques sp*. were the predominant species.

Moreover, in the context of valorization of natural resources, we studied the plant species *Eruca vesicaria*; a local plant widely used both as edible and medicinal plant. Phytochemical composition of the harvested plant from Bousseghoun region (El Bayadh) (resh plant vs the plant spontaneously dried). Our results showed that the fresh plant is rich in water (61.46%) and contains more cellulose fibers (18.35%), proteins (1.13%) and minerals (3.1%). By contrast, the dry plant contains more sugars (4.27%) and phenolic compounds (0.4%).

Although the fresh *Eruca vesicaria* could be of great interest when used in human nutrition, the dried plant could be considered as a forage diet in the steppe regions with no risk of acute toxicity.

Key words: Interphase steppe region pre-Saharan region, El-Bayedh, Vegetation, *Eruca vesicaria*, geographical information systems (GIS).

Sommaire

	<i>Page</i>
Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
Sommaire	
Index des tableaux, des figures, des photos	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 1 : Problématique de la dégradation de l'écosystème	
I.1. Exposé introductif sur les zones arides et la désertification.....	4
I.1.1. Définition des zones arides.....	5
I.1.2. Définition de la désertification.....	6
I.1.3. Caractéristique du milieu.....	7
I.1.4. Causes de la désertification.....	8
I.1.5. Transhumance et parcours.....	10
Chapitre 2 : Choix techniques et méthodologiques	
I.2. Démarche méthodologique préconisée pour la mise en place du SIG	12
I.2.1. Problématique.....	12
I.2.2. Objectifs visés.....	13
I.2.3. Résultats prévus	13
I.2.4. Présentation du Systèmes d'Informations Géographiques (SIG).....	13
I.2.5. Cheminement méthodologique général.....	19
I.2.6. Démarche méthodologique générale	21
I.2.6. Expérimentation et mise en place du SIG.....	25
Chapitre 3 : Présentation du terrain d'étude	
I.3. Steppe Algérienne.....	27
I.3.1. Caractéristiques générale du milieu steppique Algérien	27
I.3.2. Cadre administratif de la wilaya d'EL Bayadh.....	29

I.3.3. Végétation.....	31
I.3.4. Pédologie.....	32
I.3.5. Hydrologie	36
I.3.6. Hydrogéologie.	39
I.3.7. Géologie	39
I.3.8. Géomorphologie	40
1.3.9. Occupation du sol	41

Chapitre 4 : Généralités sur le sol

I.4. Définition du sol	43
I.4.1. Conception du sol.....	43
I.4.2. Fonctions du sol.....	44
I.4.3. Phases de sol.....	47
I.4.4. Organismes vivants du sol.....	47
I.4.5. Système sol.....	47
I.4.6. Concept de qualité des sols.....	48
I.4.7. Qualité chimique des sols.....	49
I.4.8. Qualité physique des sols.....	49
I.4.9. Qualité biologique des sols.....	50
I.4.10. Interactions dans le sol.....	51
I.4.11. Naissance de la microbiologie du sol.....	51
I.4.12. Formes vivantes du sol.....	51
I.4.13. Facteurs influençant la micro population.....	53
I.4.14. Aspect quantitatif des microorganismes dans le sol.....	54
I.4.15. Distribution géographique des microorganismes.....	54
I.4.16. Rôle des micro-organismes dans le sol.....	55
I.4.17. Interaction sol-plante-microorganismes.....	56

PARTIE II : ANALYSES DES DONNEES DU MILIEU

Chapitre 1: Analyses socio-économiques

II.1. Répartition de la population.....	58
II.1.1. Education	61
II.1.2. Santé	61
II.1.3. Tourisme	62
II.1.4. Emploi	63

II.1.5. Agriculture	63
II.1.6. Elevage	66

Chapitre 2: Analyse climatique et bioclimatique

II.2. Etude climatique et bioclimatique	75
II.2.1. Vitesse du vent	75
II.2.2. Gelée	76
II.2.3. Température minimale (m)	77
II.2.4. Température maximale (M)	77
II.2.5. Température minimale absolue (T.m.a. °C)	78
II.2.6. Précipitations	79
II.2.7. Régime pluviométrique saisonnier	83
II.2.8. Indice de la continentalité thermique	83
II.2.9. Quotient pluviométrique	84
II.2.10. Indice d'aridité de Martonne	85
II.2.11. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	86

PARTIE III : CARACTERISATION DU MILIEU BIOLOGIQUE

Chapitre 1 : Etude de la flore et de la végétation

III.1. Collecte de la végétation.....	89
III.1.1. Méthodologie d'approche préconisée	90
III.1.2. Résultats et discussion.....	90
III.1.3. Conclusion	98

Chapitre 2 : Evaluation de la fonction des parcours (nouvelle approche)

III.2. Approche LFA (Landscape Function Analysis).....	99
III.2.1. Evaluation de la qualité des sols	100
III.2.1.1. Méthodologie d'approche préconisée.....	101
III.2.1.2. Résultats.....	102
III.2.1.3. Discussion	105
III.2.2. Analyse de la surface de sol (SSA)	106
III.2.2.1. Méthodologie d'approche préconisée et description du site.....	106
III.2.2.2. Résultats	112
III.2.2.3. Discussion	117

Chapitre 3 : Caractérisation physicochimique et microbiologique du sol

III.3. Publication international 1..... 120

Chapitre 4 : Intégration des données multi sources dans un système d'information géographiques

III.4. Publication international 2..... 121

Chapitre 5 : Valorisation des ressources naturelles

III.5. Valorisation d'*Eruca vesicaria* 122

 III.5.1. Etude toxicologique de la plante fraîche et sèche..... 122

 III.5.2. Etude phytochimique de la plante fraîche et sèche..... 123

 III.5.3. Détermination du rendement des extraits secs.....

 III.5.4. Evaluation de l'effet antimicrobien de l'extrait aqueux et organique
de l'*Eruca vesicaria*..... 124

 III.5.5. Résultats..... 125

 III.5.5.1. Résultat de l'étude toxicologique..... 125

 III.5.5.2. Résultats de l'étude phytochimique..... 126

 III.5.5.3. Rendement de différents extraits 130

 III.5.5.4. Résultats de l'effet antimicrobien des extraits..... 132

 III.5.6. Conclusion 134

Conclusion générale 135

Référence bibliographique 140

Annexes

Tableau I-1 : Communes et daïras de la Wilaya d'EL Bayadh.....	28
Tableau I-2 : Infrastructures hydrauliques existantes jusqu'à 2013.....	37
Tableau II-1 : Répartition de la population par zone au 31.12.2013.....	59
Tableau II-2: Répartition de la population par commune au 31.12.2013.....	60
Tableau II-3 : Couverture sanitaire fin 2013	61
Tableau II-4 : Infrastructures hôtelières et restauration au 31.12.2013.....	62
Tableau II-5 : Indice de la continentalité thermique de 2009 à 2012.....	84
Tableau II-6 : Quotient pluviothermique d'El Bayadh pour la période 2009 à 2012.	85
Tableau II-7 : Indice d'aridité De Martonne pour la période 2009 à 2012.....	85
Tableau III-1: Taux de genres et d'espèces par familles.....	92
Tableau III-2 : Couverture végétale total de la station El Haoudh.....	94
Tableau III-3 : Couverture végétale totale de la station Ghassoul.....	95
Tableau III-4 : Couverture végétale total de la station barrage vert.....	97
Tableau III-5 : Couverture végétale total de la station l'olivier de Brezina.....	97
Tableau III-6 : Variables évaluées de la surface du sol pour l'estimation des indices LFA (SSA).....	111
Tableau III-7: Comparaison entre la plante fraîche et la plante sèche spontanément	126
Tableau III-8 : Dosage quantitatifs sur les plantes, sèche et fraîche.....	127
Tableau III-9: Diamètres (mm) des zones d'inhibition des deux extraits.....	131
Tableau III-10 : Résultats de la CMI.....	131

Figure I-1: Modélisation des données dans un système d'informations géographiques.....	14
Figure I-2 : Démarche méthodologique pour la mise en place d'un SIG.....	20
Figure I-3: Niveaux de la modélisation d'une base de données.....	23
Figure I-4 : Délimitation des steppes algériennes	27
Figure I-5 : Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Bayadh.....	41
Figure II-1: Taux de population occupée par secteur d'emploi	63
Figure II-2 : Répartition de la superficie utilisée par l'agriculture(S.A.T).....	64
Figure II-3 : Répartition de la superficie agricole utile (S.A.U).....	64
Figure II-4 : Répartition de la superficie totale.....	64
Figure II-5: L'exploitation des S.A.U.....	65
Figure II-6 : Productions végétales (2013).....	66
Figure II-7: Evolution de l'effectif du cheptel ovin sur la période 2008/2013.....	67
Figure II-8 : Evolution de l'effectif du cheptel bovins sur la période 2008/2013.....	68
Figure II-9: Evolution de l'effectif du cheptel caprins sur la période 2008/2013.....	69
Figure II-10: Evolution de l'effectif du cheptel camelins sur la période 2008/2013....	70
Figure I-11 : Evolution de l'effectif du cheptel équins sur la période 2008/2013.....	71
Figure II-12 : Evaluation du cheptel dans les stations d'étude pour la période 2008/20013.....	73
Figure II-13: Estimation du cheptel pour la période2008/20013.....	73
Figure II-14 : Evaluation de type de cheptel durant la période 1999/2000 à 2012/2013.....	74
Figure II-15 : Type de cheptel dominant dans la région d'étude.....	74
Figure II-16 Vitesse moyenne mensuelles du vent (W. EL Bayadh)....	76
Figure II-17 : Nombre de jours de gelée pour chaque mois de 2009 à2012.....	76
Figure II-18 : Températures minimale de 2009 à 2012.....	77
Figure II-19 : Températures maximale de 2009 à 2012.....	78
Figure II-20 : Température minimale absolue de 2009 à 2012.....	78
Figure II-21 : Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale , minimale et la minimale absolu (2009 à 2012.....	79
Figure II- 22 : Moyenne de précipitation mensuelle de 2009 à 2012.....	80
Figure II-23 : Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale, minimale et la minimale absolue 2009.....	81

Figure II-24 :Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale , minimale et la minimale absolue 2010.....	81
Figure II-25 : Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale , minimale et la minimale absolue 2011.....	82
Figure II-26 : Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale , minimale et la minimale absolue 2012.....	82
Figure II-27 : régime pluviométrique saisonnier d’El Bayadh pour la période 2009 à 2012.....	83
Figure II-28 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d’El Bayadh en 2009.....	87
Figure II-29 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d’El Bayadh en 2010.....	87
Figure II-30 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d’El Bayadh en 2011.....	87
Figure II-31 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d’El Bayadh en 2012.....	87
Figure II-32 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен à trois courbes période 2009 à2012.....	88
Figure III-1: Localisation des stations d’observation.....	89
Figure III- 2 : Nombre d’espèces répertoriées par famille.....	90
Figure III-3 : Classement générique	91
Figure III -4 : Couverture végétale totale pour la période mai et octobre 2009.....	94
Figure III-5 : Principe méthodologique	101
Figure III-6 : Evolution latitudinale du type de couverture.....	103
Figure III-7 : Distribution des couvertures « litière plus sable » et « taches de végétation » dans les différents parties du transects.....	104
Figure III-8 : Distribution des couvertures « litière » et « taches de végétation » dans les deux transects de Krekda.....	105
Figure III-9 : Répartition des indicateurs pour les trois indices de la stabilité, de l’infiltration et du cycle des éléments nutritifs.....	108
Figure III-10: Indice de la stabilité du sol pour Stitten 1et 2.....	112
Figure III-11 : Indice de l’infiltration du sol pour Stitten 1 et 2.....	113
Figure III-12 : Indices du cycle des nutriments pour Stitten 1 et 2.....	113

Figure III-13 : Carte de la contribution individuelle de la stabilité Stitten 1.....	114
Figure III-14 : Carte de la contribution individuelle de l'infiltration Stitten 1.....	115
Figure III-15: Carte de la contribution individuelle des éléments nutritifs Stitten 1..	115
Figure III-16 : Carte de la contribution individuelle de la stabilité Stitten 2.....	116
Figure III-17 : Carte de la contribution individuelle de l'infiltration Stitten 2.....	116
Figure III -18 : Carte de la contribution individuelle des éléments nutritifs Stitten 2	117
Figure III-19 : Test de toxicité aigue chez les rats Wistar.....	125
Figure III-20 : Rendement de l'extraction éthanolique et aqueuse.....	130

Photo I.1 : Le pin d'alpe en pleine nappes alfatières !	10
Photo III-1 : Transects de la station de Ghassoul : Falaise, sable remontant et revers de pente.....	103
Photo III-2 : <i>Stipa tenacissima</i> en bon état (Stiten1).....	108
Photo III-3 : <i>Stipa tenacissima</i> en mauvais état (Stiten2).....	108
Photos III-4 et III-5 : Illustration des patchs et les mesures effectués	109
Photo III-6 : <i>Eruca vesicaria</i>.....	130

Introduction

1. Introduction

Les écosystèmes steppiques ont une vocation essentiellement pastorale. Ils connaissent aujourd'hui une forte tendance à la dégradation qui se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologiques et socioéconomiques avec l'installation d'une dynamique régressive de l'ardisation. Ceci est dû notamment à une chaîne de facteurs indissociables, une pression anthropozoogène intense, un accroissement galopant de la population, un défrichement volontaire c'est l'action la plus brutale que ce soit par brûlis ou par traction mécanique, avec une mise en culture de céréale en période de pluie détruisant totalement la végétation naturelle. Les sols défrichés, perdent rapidement leur fertilité. Les sols de ces areas sont fragiles et facilement érodés.

Durant les deux dernières décennies, les écosystèmes steppiques ont été marqués par une dégradation intense affectant le couvert végétal, la biodiversité et le sol. Au début de cette dégradation, les changements les plus perceptibles sont ceux qui affectent certaines plantes pérennes dominantes imprimant la physionomie de ces parcours. Malgré les mesures prises par l'Etat concernant le développement durable de zones steppiques, telles la mise en défens, la réhabilitation et la restauration des parcours dégradés par différents programmes. La région est classée zone très sensible à la désertification à cause de l'importance de l'aridité climatique, la répartition inégale de l'eau, et des contraintes liées à la situation socio-économique des populations et au surpâturage. Les processus de la désertification se traduisent par la réduction des nappes alfatières de 1.200.000ha à 417.000ha (dont 65.000ha de nappes exploitables). Une réduction des disponibilités fourragères ne couvrant que 40% des besoins des cheptels existants (Nedjraoui et *al.*, 2008). Ajouter à cela l'ensablement qui menace toutes les infrastructures (routes, habitations)

Les scientifiques et les praticiens du terrain admettent que l'élaboration de tout projet de développement des zones arides doit nécessairement passer par deux étapes indissociables ; la connaissance des potentialités naturelles de chaque milieu écologique et la caractérisation du phénomène de dégradation des ressources naturelles en tenant compte de l'ensemble des indicateurs, véritables éléments de diagnostic.

Il s'agit donc d'une approche plurithématique qui doit reposer sur les expériences déjà acquises dans le domaine de l'aménagement des ressources naturelles, des améliorations pastorales, de l'infrastructure socio-économique,. Tous les projets réalisés peuvent servir de

Introduction

référentiel pour les actions futures. En outre, toute stratégie de développement, qui se veut efficace, doit s'articuler autour de deux points essentiels :

- Une approche globale du problème de dégradation des ressources naturelles dans tous ses aspects afin de définir des programmes de développement à long terme intégrant la dimension environnementale et humaine ;
- La planification écologique utilisant les méthodes de l'aménagement du territoire pour rechercher de nouveaux équilibres entre écosystème steppique, système de production et occupation humaine.

Partant donc de ces concepts, nous avons développé notre recherche selon deux approches. Une approche de terrain, collecte des données nécessaires au diagnostic et à l'analyse du milieu ; une approche de laboratoire avec des analyses physico-chimiques, microbiologiques du sol. Nous avons axé notre travail sur la connaissance approfondie des espèces végétales phares au niveau des écosystèmes steppiques et présahariens.

Pour contribuer à la compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes, des travaux ont été entrepris au niveau de l'interface région steppique – région présaharienne dans le sud ouest algérien.

L'objectif visés est de caractériser le milieu, tant sur le plan phytoécologique, climatique, bioclimat, édaphique; socio économique et physique.

Notre objectif principal de recherche vise à la mise en place d'un système d'acquisition des informations pouvant déboucher sur la relation entre la biodiversité végétale et les autres facteurs du milieu au niveau de la région d'étude ; ces données alimenteront la base de données qui sera dédiée à la gestion des zones arides.

Pour notre objectif thématique nous nous sommes intéressés à l'étude floristique et à l'application d'une méthode analytique pour l'évaluation de la qualité du sol

Ce travail s'articule autour de trois parties, La première partie est divisée en quatre chapitres consacrés respectivement à la problématique de la désertification, le choix technique et méthodologique, présentation de la zone d'étude et autres dédiée à des généralités sur le sol et l'outil système d'informations géographiques (SIG).

Introduction

La deuxième partie dédiée à une analyse socio- économique, climatique et bioclimatique

Dans La troisième partie consacrée à l'étude expérimentale, nous présenterons la collecte des données sur terrain de la végétation. Nous développerons à travers une approche analytique Landscape Function Analysis (LFA) la qualité et les indices de la surface du sol. Ces données sur terrain permettront l'évaluation du fonctionnement de cet écosystème. Nous procéderons ensuite à la caractérisation biotique et abiotique du sol et à l'intégration des données multi sources dans un système d'information géographique (SIG). En fin dans le dernier chapitre nous proposerons un modèle de valorisation des ressources naturelles.

Partie I

Etude bibliographique

I.1. Exposé introductif sur les zones arides et la désertification

- **Préambule**

Si l'image du désert évoque sérénité, spiritualité et fascination ; la réalité du phénomène de la désertification nourrit l'angoisse, installe pauvreté exode rurale et misère. Les conséquences désastreuses ne sont plus à confirmer, avec la réduction des terres fertiles et la destruction irréversible des parcours. Les pasteurs deviennent victimes de l'effondrement de leurs écosystème, en rupture d'équilibre par rapport au mode d'organisation pastorale traditionnelle *Azaba et Achaba* ; cette dernière était le moment où le Tell était sollicité et exploité par le troupeau mais aussi et surtout le moment de repos de la quasi-totalité des pâturages d'automne et d'hiver. De ce fait la pression sur le milieu était répartie sur le temps et dans l'espace au rythme des saisons.

Nos investigations sur terrain révèlent une indifférence dans la gestion des parcours retenus pour la mise en défens qui prend comme synonyme « abandon » et une activité agro-pastorale avec une mise en culture des terres défrichées sans autorisation et avec la seule logique d'appropriation de ces terres. En effet, le massacre de la steppe se fait lourdement sentir, comme le constate le Haut commissariat pour le développement de la steppe¹. La gestion tribale de cet espace a disparu et l'intérêt collectif des pastoraux est révolu à jamais, noyé dans la généralisation d'individualisme exacerbé et l'apparition d'un nouveau type d'éleveurs qui s'accaparent des meilleurs parcours, les défrichent, les labourent et se les approprient définitivement. L'Algérie aurait à son insu subventionné ces phénomènes ; désertification, steppisation et désertisation qui s'accroissent sous l'effet d'un mauvais aménagement. Cette situation entraîne une stérilisation irréversible du sol et dans les cas où l'irrigation est possible, contribue à leur salinisation.

L'objectif de ce travail s'inscrit dans cette problématique et les enjeux qu'elle implique. Notre ambition est de contribuer aux initiatives de recherche, d'études expérimentales et théoriques des facteurs de dégradation de ce milieu, de sa flore et sa faune et de faire des propositions dans le sens d'un développement durable permettant d'exploiter cette région, tout en assurant la sauvegarde, la réhabilitation et la pérennité du milieu

¹ Article El Watan le 28.09.2015

I.1.1. Définition des zones arides

L'aridité, concept climatique à référence spatiale « zone aride » est à distinguer de l'aridité, concept météorologique à référence temporelle, renvoyant à sécheresse, phénomène périodique conjoncturel.

On peut considérer que tout territoire où la vie est sporadique ou nulle est un territoire aride ou désert. Toutefois, Ozenda, (1983) préfère garder l'usage du terme désert aux régions où le facteur eau est déficient.

Pour Celles, (1975) les zones arides correspondent à des territoires marqués par la présence d'un couvert végétal ténu mais régulièrement dispersé dans l'espace et par un déséquilibre marqué entre la quantité d'eau disponible et le pouvoir évaporant du climat. De ce fait, les zones arides sont caractérisées par la faiblesse des précipitations associée à une forte évaporation ; se sont les territoires recevant entre 100 à 400mm de pluies par an, réparties en deux périodes inégales en durée, une période sèche et une période humide courte. Les sols y sont minces, voire même squelettiques. Seules les plantes adaptées à une longue période sèche sont capables de s'y implanter et de s'y multiplier (Ozenda, 1982).

Malgré ces conditions difficiles, une végétation bien adaptée parvient à ce développer dans ces zones Ozenda (1983) insiste sur le fait que presque toutes les familles sont représentées mais se trouvent fortement dispersées sur l'espace qu'elles occupent. Il suffit d'une petite pluie pour qu'une poussée spectaculaire soit remarquée.

Ces systèmes se basent sur l'élevage d'animaux rustiques capables de résister aux températures élevées et aux disettes fréquentes qui caractérisent ces zones. Les stratégies traditionnelles, qui ont permis l'adaptation des hommes et des animaux à ces conditions hostiles, reposent sur l'organisation sociale, sur le mode de vie ancestral des nomades très résistants aux aléas de la nature et sur une grande mobilité liée à la recherche de points d'eau et de sources d'alimentation. Associée à une faible pression humaine et animale, cette mobilité a permis, jusqu'à une période relativement récente, de maintenir l'équilibre des écosystèmes naturels.

Le Houerou, (1985) relève que dans la plupart des zones arides mondiales la population s'accroît au rythme de 2.5% à 3.5% par année.

Cette démographie galopante, ajoutée à une sédentarisation de la population et à une réduction de la transhumance, a généré des modes d'exploitation agro-pastoraux anarchiques qui se sont substitués aux modes pastoraux traditionnels et ont engendré la rupture de l'équilibre écologique socio-économique et même moral.

Les zones arides et semi-arides ont une grande importance parce qu'elles couvrent une grande partie des pays du pourtour méditerranéen. Proche orient, Afrique du nord : Arabie Saoudite, Iran, Irak, Jordanie, Liban, Syrie, Turquie Algérie, Egypte, Libye, Maroc, Tunisie).

Ces régions présentent entre elles de nombreuses similitudes en raison du climat, malgré leur grande diversité.

Selon Mederbal, (1991) les précipitations annuelles dans les régions semi arides sont comprises entre 400 mm et 600 mm ; alors qu'elles sont inférieures à 100 mm dans les régions qualifiées de désertiques et comprises entre 100 à 400 mm pour les zones arides. Elles représentent environ 1/3 de la planète et occupent 61% du territoire d'Australie ; 52% du Continent Africain; 34% de l'Asie et 14% du continent Américain. En Europe 80% du territoire espagnole est touché par l'aridité.

I.1.2. Définition de la désertification

La désertification est synonyme de destruction irréversible de milieu naturel. Elle est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs qui aboutit à un résultat final catastrophique. Mainguet, (1998) rapporte que le mot désertification utilisé par Lavauden, (1927) désigne l'extrême appauvrissement de la couverture végétale. Il signale une baisse de capacité d'agrégation, d'infiltration, de rétention en eau et une perte de la résistance contre l'érosion hydrique et éolienne. Pour Khellil, (1997) la désertification est un phénomène complexe qui génère une dégradation irréversible du sol et de la végétation et qui a comme principale cause les activités humaines. Zonn (in Mederbal, 1991) perçoit les processus de la désertification dans un sens plus large ; la désertification englobe tous les processus de dégradation biologique, quel que soit leur facteur ou l'endroit où ils apparaissent.

La sagesse populaire quand à elle, résume depuis la nuit des temps son appréhension du phénomène par le dicton « Quand vous voyez de l'alpha dans un endroit, il faut savoir qu'à l'origine on y apercevait du *kerrouche* (chêne vert) et si vous y voyez de l'armoïse, sachez qu'à l'origine c'était de alpha ».

D'autres définitions ont été adoptées lors des manifestations intergouvernementales ; ainsi la conférence des Nations Unies sur la désertification à réunie en 1977 à Nairobi a qualifié ce phénomène de diminution ou de destruction du potentiel biologique de la terre qui peut conduire à l'apparition des conditions désertiques.

Toutes ces définitions mettent l'accent sur la nature et les effets du processus, en soulignant les facteurs climatiques et les facteurs anthropiques.

En juin 1992, la communauté internationale a été amenée à décider, au plus haut niveau politique, d'établir une convention internationale sur la lutte contre la désertification, reconnaissant que cette dernière est un problème environnemental de caractère global qui requiert des mesures urgentes. La convention a été adoptée le 17 juin 1994.

I.1.3. Caractéristiques du milieu

Les caractéristiques les plus pertinentes du milieu sont présentées et analysées ci-dessous :

- **Pluviosité et pluie** : les zones arides sont marquées par une période estivale sèche et chaud et une période hivernale pluvieuse fraîche sinon e (Pouget, 1980) avec une irrégularité à la fois inter annuelle et inter saisonnière. L'effet de cette irrégularité sur la végétation est plus que proportionnel. Certains scientifiques estiment qu'une variation de 1% de la pluviosité entraîne une variation de 1,5% de la phytomasse produite (Aidoud et *al.*; 1996). Les pluies sont orageuses et brutales. Le diamètre d'une goutte de pluie est souvent supérieur ou égal à 2mm. Elles peuvent arracher dans leur chute les particules fines d'un sol découvert ou recouvert d'un tissu végétal trop rare et trop dispersé.

- **Amplitudes thermiques**: La température joue un rôle important dans les métabolismes des êtres vivants, surtout les écarts entre les températures extrêmes minima et maxima. Avec une amplitude thermique annuelle supérieure à 20°C. Les écarts thermiques sont néfastes pour les sols.

- **Vents**: Ils sont violents et ne rencontrent souvent pas d'obstacles pour les freiner. Les éléments fins des sols libérés sous l'action des instruments aratoires ou tout simplement par un appauvrissement du sol en matière organique peuvent être transportés dès que la vitesse du vent atteint à 10km/h (Mederbal 1989).

- **Sols:** sont pauvres en matière organique et souvent squelettiques. La couche exploitable par les racines est généralement peu épaisse.

La quantité d'eau que peut stocker le sol au profit des plantes est donc limitée et aura tendance à s'amenuiser si des phénomènes d'érosion décaperent la surface. Pouget, (1980) confirme l'existence des bons sols au niveau des Dayas, les lit d'oueds et piémonts des montagnes.

-**Sécheresses:** La flore et la faune des zones arides sont adaptées à ces cycles de sécheresse et sont dotées des facultés nécessaires pour les surmonter. Dans les zones protégées et mises en défens on s'aperçoit que la sécheresse ne laisse pas de trace sur le milieu. Tout le monde reconnaît que la sécheresse, en elle même, est un facteur amplificateur et non causal de désertification. C'est l'activité humaine qui dégrade. La sécheresse est une circonstance aggravante qui amplifie la désertification mais n'en pas à l'origine (Mederbal, 1991).

I.1.4. Causes de la désertification

La gestion non durable de cet espace fragilisée est à l'origine de sa dégradation. La steppe algérienne subit un processus de dégradation continu auquel ont contribué les causes suivantes :

Le surpâturage, les défrichements, l'extension d'une agriculture pluviale et parfois irriguée provoquant la salinisation des sols, l'éradication des espèces ligneuses, l'extirpation des plantes à usage médical ou industriel et la forte pression démographique, soumettent le milieu à une exploitation excessive qui contribue à la fragilisation de cet écosystème. Ceci est encore aggravé par l'absence de textes réglementaires adaptés à la situation, la faiblesse de l'autorité sinon une complicité avec une nouvelle génération d'éleveurs indifférents à la situation.

La fixation volontaire des nomades et leurs sédentarisation ont aggravé le problème des défrichements et du surpâturage, Boukhobza, (1982), les désigne de population ruraine du fait de leurs concentrations à proximité des villes et des axes routiers.

Les erreurs du pouvoir qui a subventionné l'alimentation du bétail ont encouragé les pasteurs à détenir des sureffectifs, là où il aurait fallu les réduire. Plus grave encore, en raison des super profits que l'activité génère, les spéculateurs citadins opportunistes investissent dans l'élevage et utilisent les services des bergers sans troupeau.

La mécanisation, l'usage des tracteurs, des camions dans les parcours conduisent à la disparition de la végétation steppique. Les cultures irriguées ont été multipliées par quatre depuis 1962² ; cette extension est faite au dépend des pâturages, en s'appuyant sur le droit coutumier.

A l'origine la terre (Le statut foncier) appartenait à des collectivités qui vivaient en communauté et les exploitaient collégialement. De nos jours les terres sont statutairement restées collectives, ou sont devenues propriété de l'Etat qui accorde un droit de jouissance aux pasteurs.

Or la notion de communauté s'est considérablement affaiblie ; les liens tribaux et familiaux ne sont plus les mêmes. Le mode d'exploitation de la terre obéit à des règles de rentabilité, de spéculation pour atteindre des objectifs individuels. Le pasteur creuse des puits et se transforme en cultivateur inexpérimenté. Alors il loue ses terres à des agriculteurs venus du nord utilisant ces surfaces pour des cultures maraîchères. Il s'agit de produire sans autre souci que la maximisation du profit. Quand l'eau se fait rare, que le sol devient stérile et que ses rendements diminuent, compromettant la rentabilité de l'exploitation, le locataire quitte la parcelle de terre qu'il exploitée et se met à la recherche d'un nouvel espace à louer, devenant ainsi un agriculteur passager et destructeur avec le consentement des autorités locales. Profitant de la défaillance des pouvoirs publics, les communautés paysannes continuent leurs pratiques non durables d'utilisation des terres. Pour que l'action de lutte pour la protection du patrimoine naturel soit efficace, il faut une prise de conscience des populations concernées ; les populations mieux informées et mieux éduquées sont plus aptes à faire face aux effets adverses des phénomènes tels que la sécheresse et la désertification.

La lutte contre la dégradation dans les conditions actuelles présente des limites dans la mesure où elle ne suscite pas l'adhésion des populations concernées sans laquelle les résultats attendus seront forcément restreints.

Les institutions et les moyens de protection de la steppe demeurent marqués par l'inefficacité, ce qui alimente un désastre écologique rampant. On doit réglementer l'accès des mise en défens instaurer une meilleure répartition des troupeaux à travers le territoire national et particulièrement dans les zones céréalières du nord.

² Haute commissariat pour le développement de la steppe (HCDS) 2015

L'état doit renoncée à l'attribution de parcours en vue d'un usage agricole pour résorber le chômage. La restauration des sols doit être renforcée, il faut imposer les mesures et les moyens nécessaires à lutter contre l'ensablement avec l'interdiction des défrichements, le reboisement, la mise en place des pépinières pour la germination d'espèces végétales steppiques culinaires et fourragères afin de réhabiliter les parcours dégradés et même les champs abandonnés. Il faut restaure les nappes alfatière au lieu d'introduire des espèces non adaptées aux conditions climatiques, ni édaphiques de la région voir (photo I.1.) La décentralisation des décisions politiques et économiques sous protection d'Etat de droit qui protège l'homme et la nature.



Photo I.1 : Le pin d'alpe en pleine nappes alfatières ! (original)

1.1.5. Transhumance et parcours

Le principe de base de l'équilibre agro-pasrtoral fut la transhumance et la mobilité une opération organisée de façon cohérente et rationnelle entre les différentes régions du pays Tell-Hauts- Plateaux ; Sahara- Hauts- Plateaux et Hauts- Plateaux –Sahara et vice versa. L'activité du pasteur s'articulait autour de deux moments essentiels : *l'âchaba* qui consistait à rechercher les pâturages du printemps et de l'été et *l'âzba* pour l'automne et l'hiver (BouKhobza, 1982).

Ces deux périodes avaient un impact direct sur la santé des bêtes, l'alimentation des pasteurs et leurs familles et constituaient la période de repos des parcours et le temps nécessaires pour que la végétation se régénère.

En hiver, les campements sont installés aux portes du désert où les pluies automnales et hivernales suffisent à assurer la croissance d'une végétation éphémère à poussée rapide. Au printemps les pasteurs et leurs troupeaux remontent vers les Haut- Plateaux où la végétation est abondante et utile pour les brebis en période d'agnelage.

En été c'est le Tell qui est convoité, avec ses plaines céréalières ou il y'a suffisamment de terres incultes pour le bétail qui profite également des chaumes après les moissons. Les pasteurs se font engager comme main-d'œuvre saisonnière sur les chantiers de moissonnage-battage ; ils font leurs réserves de grain pour l'année.

En automne, ils reviennent vers la steppe où la végétation pérenne est suffisante pour l'alimentation du cheptel.

Cette transhumance était l'occasion d'échange de produits laitiers et laine contre des dattes dans le Sahara et contre des céréales dans le Tell. Cette migration créait des liens économiques et sociaux au sein de la population. Hélas des mutations profondes ont touché ce système et bouleversées ses principes et son équilibre, entraînant irrémédiablement son extinction. Si la désertification relève de problèmes biotiques et abiotiques, elle est aussi cette réalité qui bouscule nos attitudes, nos comportements et même certains de nos valeurs.

I.2. Démarche méthodologique préconisée pour la mise en place du SIG³

I.2.1. Problématique

Pour préserver et utiliser durablement la diversité biologique, l'analyse du milieu à un instant t_0 puis le suivi spatio-temporel des bio-indicateurs les plus pertinents sont des étapes nécessaires dans cette démarche. Or, les méthodes classiques de diagnostic phytoécologique et de suivi de la biodiversité, qui sont nombreuses et diversifiées, ne permettent pas d'étudier de grands espaces dans un laps de temps raisonnable et ne répondent pas, souvent, aux attentes du praticien du terrain ; Dans ce cadre, l'application des techniques de la géomatique tel que le SIG est tout à fait justifiée (Noizet, 2006)

En effet, le terrain d'application est caractérisé par :

- Un espace très vaste avec un patrimoine naturel méconnu, à **repérer** et à **explorer** ;
- une biodiversité riche à **conserver** ;
- Des écosystèmes subissant des variations climatiques imprévisibles dans le temps et dans l'espace, à **gérer** ;
- Un héritage naturel, à **préserver** et transmettre pour les générations futures.

Pour ce, la gestion de la région steppique et pré - saharienne, de par sa complexité et son caractère multisectoriel, fait appel à des masses importantes de données qui, pour la plupart, sont géographiquement localisées, notamment :

- Données topographiques (cartes d'état major, croquis, Modèles Numériques de Terrain) ;
- Données cadastrales (anciens plans de grande échelle, limites administratives, données attributives) ;
- Images satellitaires (images satellitaires de très haute résolution spatiale, fusion de données de multi sources, spatio-cartes) ;
- Travaux *in situ* et sorties sur le terrain (vérification, complètement, échantillonnage, validation, suivi spatio-temporel) ;
- Cartes et données thématiques diverse (géologie, pédologie, hydrologie, vulnérabilité naturelle, aménagement du territoire, protection de la nature, voies de communication, transport).

³ Systèmes d'Informations Géographique

I.2.2. Objectifs visés

L'objectif général est la mise en place d'un système d'observation, de collecte et de traitement des données géoréférencées multi-sources et multi-échelles dédié à la préservation du patrimoine naturel;

- Par conséquent, l'objectif principal du travail préconisé concerne :
- l'intégration des données multisources (données images satellites, observations de terrain, autres données thématiques disponibles ou générées...) dans un système d'informations géographiques (SIG) pour contribuer à la création de banque des données dédiée à la gestion de la région steppique et pré - saharienne ;
- Pour atteindre ce but, plusieurs activités, mettant à contribution l'outil géomatique, sont chronologiquement ciblées pour réaliser les objectifs secondaires suivants :
- Identification des besoins en informations géographiques (cartes topographiques de base, données images satellites) ;
- Réalisation d'une première spatio-carte à l'échelle 1/500.000, montrant les grands ensembles phytogéographiques et repérant les sites tests retenus pour l'expérimentation;
- inventaire général du milieu, de la flore et de la végétation montrant la diversité biologique au niveau de la région steppique et pré - saharienne ;
- Mise en place d'une méthodologie d'approche pour l'analyse et le suivi de la qualité et des indices de la surface du sol retenus comme pertinents ;

I.2.3. Résultats prévus

Ce travail contribue à l'étude de la région steppique et pré - saharienne. Il cherche, à partir de données provenant de diverses sources, à identifier les différentes entités spatiales d'occupation ou d'utilisation du sol. Les données, tant historiques que récentes, seront donc intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG), suffisamment ouvert pour intégrer des problématiques nouvelles.

I.2.4. Présentation du Système d'Informations Géographiques (SIG)

Grâce au développement des nouvelles technologies (satellites et ordinateurs puissants) le Système d'Information Géographique (SIG), qui était assimilé au départ à un moyen de représenter les données sur une simple carte géographique, devient de plus en plus

un outil important d'aide à la prise de décision et un outil de portée relativement grande et élargie à des domaines connexes de la gestion globale du développement.

L'objectif fondamental du SIG est de fournir une base de prise de décision, dans plusieurs domaines, à partir des données satellitaires.

I.2.4.1. Définition d'un SIG

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont, historiquement, nés du croisement de la cartographie assistée par ordinateur et des systèmes de gestion de bases de données (SGBD).

Appelés GIS (Geographic Information System) dans le monde anglophone, ils sont, depuis 1988, définis aux États-Unis comme des « systèmes informatiques de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ». En France, le Conseil national de l'information géographique (CNIG1) a défini en 1990 les SIG comme des « ensembles de données repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision » (De Graaf et *al.*; 2003).

I.2.4.2. Composition d'un SIG

Le SIG est composé de la base de données géographiques, et d'un ensemble d'outils permettant son utilisation.

I.2.4.3. Base de données géographiques (BDG)

Elle constituée d'un ensemble numérique de « cartes » et d'informations associées. Comme cette base de données décrit des objets à la surface de la terre, elle est composée de deux éléments : une base de données décrivant les objets spatiaux (localisation, forme) et un autre définissant les caractéristiques thématiques (attributs) de ces objets.

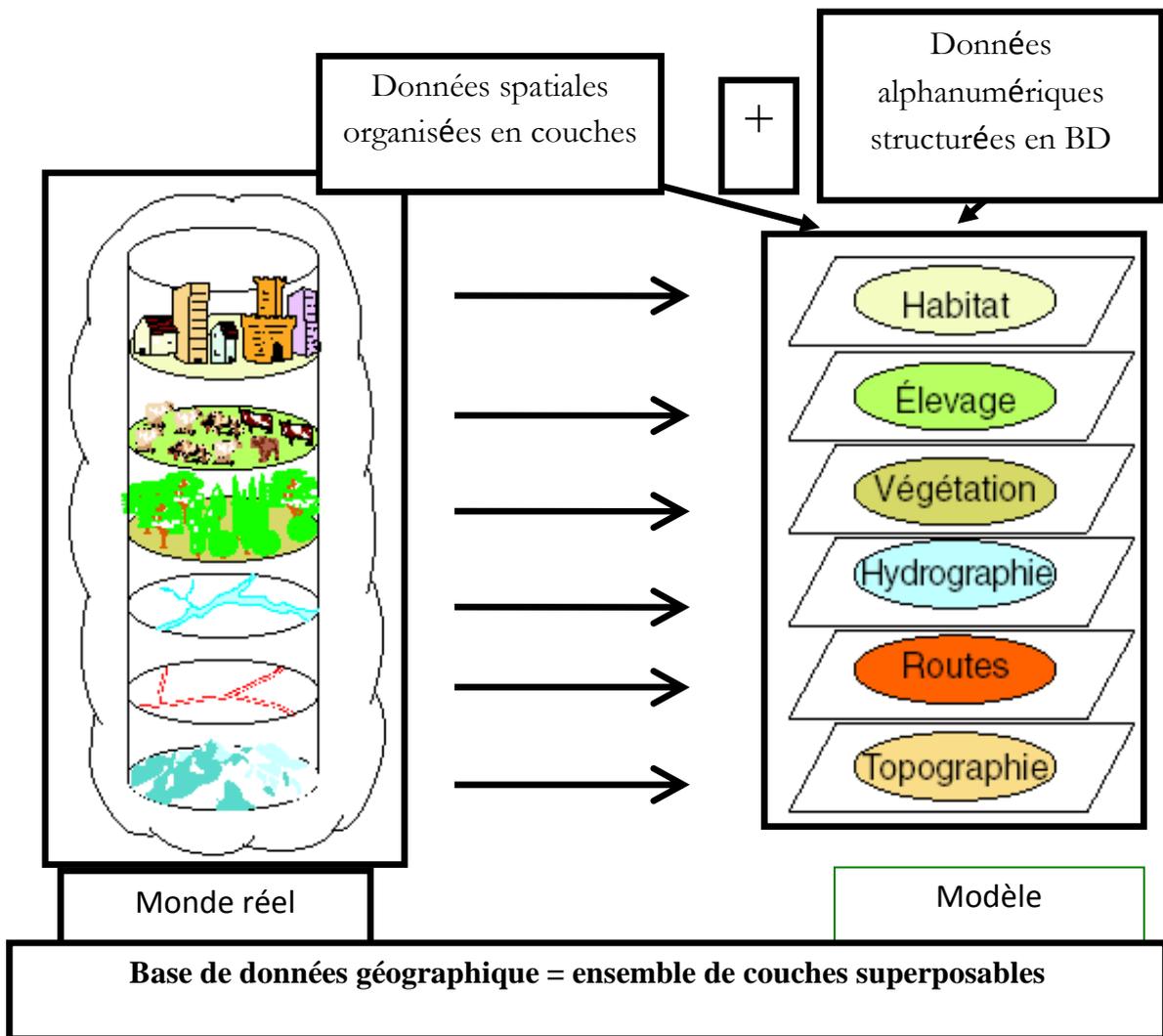


Figure I-1 : Modélisation des données dans un système d'informations géographiques (Denègre et al.; 1996)

I.2.4.4. Saisie numérique

La saisie numérique d'une information à caractère spatial telle que les documents cartographiques constitue un autre système de base qui permet de convertir l'information analogique d'une carte en une information numérique.

I.2.4.5. Représentation cartographique.

Elle permet de sélectionner des éléments de la BDG et de les représenter cartographiquement à l'écran ou à l'imprimante.

I.2.4.6. Système de gestion de base de données (SGBD)

Ce terme fait référence à un type de logiciels chargés de gérer des données thématiques ; cependant il est aussi nécessaire de gérer l'information spatiale. En fait, un SIG contient non seulement un SGBD traditionnel, mais aussi des outils capables de gérer à la fois les dimensions thématique et spatiale de l'information. (Chikh, 1999)

A l'aide d'un SGBD, il est possible d'introduire des informations thématiques, sous la forme de tables ou de statistiques et subséquemment d'en extraire des éléments spécifiques sous les deux mêmes formes. Un SGBD permet l'analyse de ce contenu thématique.

I.2.4.7. L'analyse spatiale

L'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, en prenant en compte la localisation des observations. L'exemple le plus simple consiste à combiner dans une requête la présence conjointe de deux caractéristiques spécifiques à deux ensembles d'objets spatiaux distincts.

Un SIG est nécessaire car il permet de considérer le recouvrement spatial d'entités. La procédure, appelée recouvrement ou superposition, correspond à l'opération manuelle de superposition d'une carte transparente et d'une seconde carte.

A l'instar du SGBD, le système d'analyse spatiale a une liaison bidirectionnelle avec la BDG pour permettre un traitement de type analytique. Ainsi, à la fois il prélève l'information de la BDG et la complète par des résultats de l'analyse. Ainsi, les capacités analytiques d'un système d'analyse spatiale et du SGBD jouent un rôle essentiel dans l'extension de la base de données, au travers des connaissances sur les relations qui existent entre les objets. Bien que la notion de superposition soit le mot-clé des SIG, l'analyse spatiale assistée par ordinateur a beaucoup évolué et propose des opérations bien plus riches et plus complexes (Baudat, 2003).

I.2.4.8. Analyse statistique

Des outils de statistique descriptive de données spatiales ont été développés pour prendre en compte le caractère spatial des données et parce que ce type de données pose des problèmes particuliers d'application des procédures classiques

I.2.4.9. Traitement d'image

Le traitement d'image de télédétection permet de transformer le contenu originel d'une image en une information au contenu thématique exploitable à l'aide de procédures de classification.

I.2.4.10. Principales fonctions d'un SIG

Les systèmes d'information géographique peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon les objectifs fixés. Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A » pour : Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse (Mc Donnell et *al.*; 1995).

a. Abstraction : modélisation du réel selon une certaine vision du monde.

b. Acquisition : intégration et échange de données. (Import- Export). L'acquisition des données est faite par trois voies :

- Digitalisation : la numérisation des plans cartographiques scannés par l'ordinateur ou la table à digitalier.

- Scanner : les cartes, les photos aériennes sont introduites sous forme des données raster.

- Clavier : la saisie des données attributaires

c. Archivage : structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.

d. Affichage : représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique.

e. Analyse : analyse spatiale avec calculs liés à la géométrie des objets et le croisement de données thématiques

I.2.4.11. Modes de représentation des données géographiques

Les données spatiales sont représentées dans un SIG suivant deux modes : vecteur ou raster.

- **Mode vecteur**

En mode vecteur, les objets sont définis par des points, par des arcs ou des polygones. A chaque objet est alors assigné un identifiant unique, à travers lequel lui sont associées des caractéristiques attributaires quantitatives et/ou qualitatives.

Le mode vecteur est de ce fait plus adapté à la représentation de variables discrètes. Il permet de représenter les objets tels qu'on les perçoit dans le monde réel.

- Les points :

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces ; ils n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

- Les lignes :

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.

- Les polygones :

Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de formation végétales (McDonnell et *al.*; 1995).

• Mode raster

Les données sont stockées sous forme des cellules de taille et de forme identiques pour représenter l'espace, en le découpant de manière régulière. Généralement de forme carrée, les cellules (ou pixels) sont organisées en lignes et colonnes. A chaque pixel correspond une valeur unique. Les images satellitaires ou scannées sont des exemples de données représentées en mode raster.

I.2.4.12 Domaines d'applications

Les domaines d'application des SIG sont nombreux et variés. Citons quelques exemples :

- La protection de la nature : mesure de la dégradation des écosystèmes et évaluation des risques futurs dus aux pollutions
- La géomorphologie : pour évaluer les effets d'érosions afin de déterminer la façon la plus efficiente d'intervenir
- La socio-économie : impact des activités entropiques (le surpâturage, surexploitation) sur la dégradation de la couverture végétale
- La foresterie : analyse et suivi de la biodiversité, cartographie pour l'aménagement, la gestion des coupes et la sylviculture
- Tourisme : gestion des infrastructures, itinéraires touristiques
- Planification urbaine : cadastre, voirie, réseaux assainissement
- Protection civile : gestion et prévention des catastrophes
- Transport : planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires
- Hydrologie : planification et gestion des réseaux hydriques (Devillers et *al.*; 2005).

I.2.4.13. Télédétection et systèmes d'information géographique (SIG)

La télédétection tient une place de plus en plus importante en fournissant rapidement les informations fiables dont on a besoin pour gérer les ressources naturelles de façon durable et protéger l'environnement. Grâce aux SIG, il est possible d'intégrer les données obtenues par télédétection aux données provenant d'autres sources et d'aider ainsi les responsables de la gestion, de la planification et de la prise des décisions concernant les ressources à obtenir l'information dont ils ont besoin

Pour l'étude de la dynamique de la végétation, la télédétection sert surtout à identifier la distribution spatiale de la végétation et à calculer le taux de recouvrement du sol. Pour cela, différentes approches, comme par exemple les indices de végétation, peuvent être utilisés (ONU⁴ 2000).

I.2.5. Cheminement méthodologique général

Pour assurer une gestion raisonnée de la région steppique et pré - saharienne, il est impératif de faire appel à des masses importantes de données qui, pour la plupart, sont géographiquement localisées, notamment :

- Données topographiques (carte d'état major, anciennes cartes, croquis, MNT⁵) ;
- Données cadastrales (anciens plans de grande échelle, limites administratives, données attributives) ;
- Photographies aériennes (restitutions, orthophotoplans, vues panoramiques) ;
- Images satellitaires (images satellitaires de très haute résolution spatiale, fusion de données de multi sources, spatio-cartes) ;
- Travaux de terrain et sorties sur les lieux (vérification, complètement, échantillonnage, validation) ;
- Cartes et données thématiques (géologie, pédologie, hydrologie, vulnérabilité naturelle, aménagement du territoire, protection de la nature, communication, transport, patrimoine, archéologie) ;
- Données et renseignements socio-économiques (civilisations et périodes, peuplements et répartitions, mode de vie, coutumes et traditions, activités) ;

⁴ Organisation des Nations Unis

⁵

- Faune et flore (peuplements forestiers, chasse, couloirs de faune, surfaces utilisables par la faune, potentialités, sensibilité à la désertification).

Vu cette masse d'informations disponibles, ou à compléter par la suite, sous forme de cartes, plans ou données attributives, plusieurs questions peuvent se poser sur le comment gérer une telle masse d'informations afin de garantir :

- Une pérennité de la donnée ;
- Un accès facile et consultation rapide des données aux seins des structures concernées ;
- Une analyse spatiale et requêtes géoréférencées de grande précision ;
- Des éditions cartographiques de bonne qualité pour les administrations concernées ;
- Une aide à la décision pour les décideurs, concernant les projets d'aménagement ;
- Une meilleure gestion et planification du patrimoine naturel et culturel national ;
- Une meilleure sauvegarde et protection de l'héritage naturel et culturel.

Les SIG offrent la possibilité de passer de cartes séparées à une superposition de couches d'informations géographiques, interrogeables à tout moment à l'aide de logiciels d'interrogation de données spatialisées. Le croisement de ces données permet de développer la réflexion et l'action en matière de gestion des territoires (Denègre, et *al.*; 1996).

I.2.6. Démarche méthodologique générale

La méthodologie adoptée est structurée conformément à l'organigramme suivant :

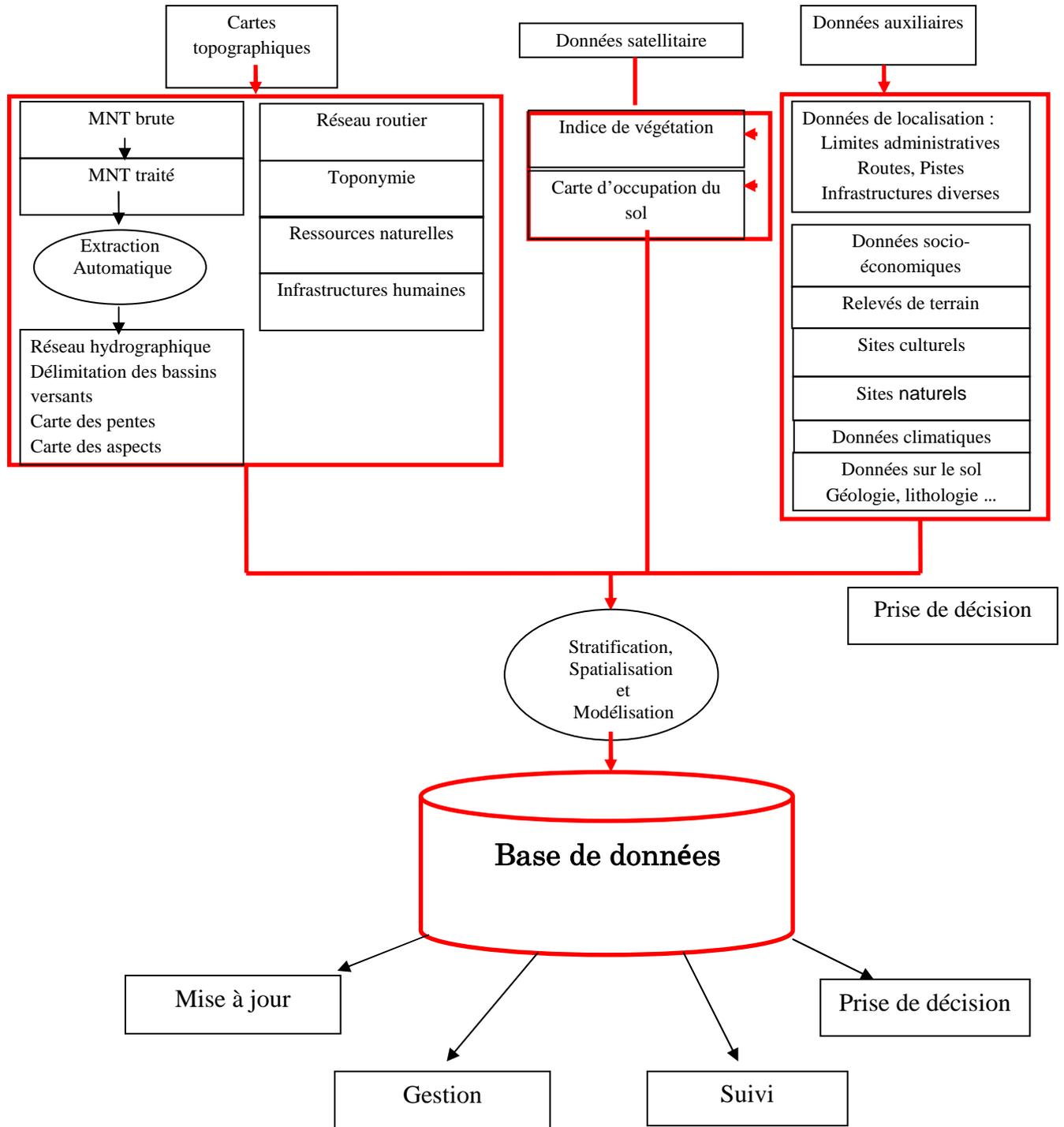


Figure I-2 : Démarche méthodologique pour la mise en place d'un SIG

(Mederbal *et al.*; 1991)

Ainsi, pour garantir le bon déroulement de cette méthodologie, les étapes suivantes sont chronologiquement retenues :

- Réunion des documents et étude de l'existant ;
- Analyse fonctionnelle ;
- Recherche d'une solution SIG;
- Modélisation ;
- Expérimentation et mise en place du SIG.

Etape 1 : Réunion des documents et étude de l'existant

Il s'agit d'une consultation, selon deux niveaux, de :

- projets nationaux et internationaux traitant la même thématique ;
- données de base (textes, cartes thématiques, plans, toutes données représentées avec une précision cartographique suffisante, images satellitaires, données socio-économiques ou culturelles attributaires, ...)

Par conséquent, une liste des données existantes et le détail des produits dérivés (cartes, plans et autres données) sont établis.

Etape 2 : Analyse fonctionnelle

Il ne s'agit pas simplement de transférer le document papier vers une forme numérique (simple juxtaposition de données alphanumériques et géographiques), mais d'envisager la construction d'une application SIG complète (avec des outils spécifiques). Ainsi, les données et les besoins supplémentaires sont établis et les fonctionnalités souhaitées pour le système sont définies tout en distinguant leur priorité. De plus, il s'agit d'une application qui devra pouvoir être distribuée, avec une formation adéquate, dans les services souhaitant bénéficier de cet outil (SIG).

Pour cela, les cinq (05) principes essentiels suivants vont cadrer ce projet :

- L'accès aux données (requêtes) et leurs représentations (cartes, édition cartographiques) et l'utilisation d'une bibliothèque de symboles cartographiques spécifiques à la zone d'étude) ;
- La possibilité de saisie et de consultation de la base de données alphanumérique sans l'utilisation de l'interface cartographique ;
- La possibilité d'import/export de données vers d'autres applications et d'autres formats ;
- L'évolutivité du système ;
- La simplicité d'utilisation et d'accès.

En outre, les principaux besoins pour la zone d'étude, sont de trois (03) ordres :

- Ordre écologique : protection de la faune et la flore ;
- Ordre Culturel : conservation et sauvegarde du patrimoine culturel ; Vision d'ensemble du site ; Analyse des répartitions de l'infrastructure selon un axe horizontal et vertical ;
- Ordre socio-économique : aider au développement d'activités socio-économiques

Etape 3 : Recherche d'une solution SIG

Elle consiste, d'une part, en l'examen critique des différents scénarios techniques envisageables pour l'application et, d'autre part, le choix du bon prototype pour l'application avec, notamment, le choix du (ou des) logiciel(s) tels ArcInfo, MapInfo, ... comme logiciels SIG. Par ailleurs, la solution envisagée doit être durable et la moins lourde financièrement pour les partenaires. L'application SIG, à installer chez les partenaires, est associée à une base de données bureautique comme Accessoire

Etape 4 : Modélisation

La modélisation des données est une étape fondamentale dans la conception des bases de données. Elle permet de traduire le monde réel avec toute sa complexité par des structures de données.

A partir des données listées dans l'analyse de l'existant et l'analyse fonctionnelle, une liste d'attributs (avec définition, type de variable, liste de valeurs, etc.), regroupées en entités, est établie de manière globale et les règles de gestion sont conçues selon un Modèle Conceptuel de Données (MCD).

Globalement, la bonne préparation des travaux reste le facteur clé de tout succès dans les projets à réaliser, quelque soit leur nature ou leur domaine d'application.

Les différents scénarios techniques qui concernent le processus SIG dans sa conception sont :

• Numérisation des documents graphiques :

- Vérification des documents à numériser (plans graphiques) ;
- Fixation des paramètres de scannérisation, tel que la résolution ;
- Choix du format d'enregistrement ;
- Calage de l'image scannée ;
- Indexation et raccord des planches scannées ;
- Vectorisation, soit manuelle ou automatique.

- **Structuration en couches :**

Le SIG stocke toutes les informations concernant le monde réel sous forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie. Ce concept, à la fois simple et puissant, a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets.

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude et longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite (adresse, code postal, nom de route...).

Pour le géocodage, processus automatique, il est utilisé pour transformer les références implicites en références explicites et permettre ainsi de localiser les objets et les événements sur la terre afin de les analyser et les planches scannées doivent être vectorisées en couches séparées.

- **Sauvegarde des planches numérisées :**

Chaque planche numérisée est sauvegardée individuellement sous un nom de fichier propre. Cette exigence a deux justifications principales. D'une part, le fichier individuel permet un certain contrôle qualité par planche. D'autre part, ce fichier servira de référence lors des opérations ultérieures de mise à jour.

- **Modélisation**

La modélisation est le processus qui permet de codifier la réalité observée. La technique de modélisation s'appuie sur les éléments suivants :

- Nom : entité
- Verbe : relation

Le schéma ci après montre l'enchaînement des opérations de modélisation d'une base de données.

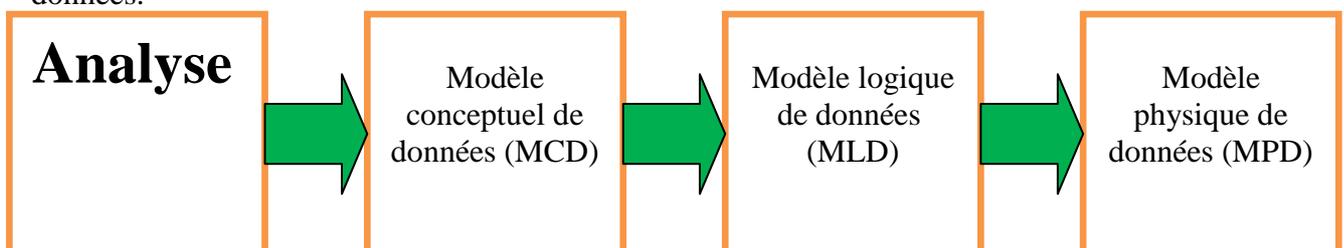


Figure I-3: Niveaux de la modélisation d'une base de données
(Denègre et al.; 1996)

Un MCD doit être indépendant de toute contrainte technique telle que logicielle ou matérielle. Ce MCD représente l'organisation schématique de la base de données. Pour la réalisation de cette phase de modélisation, on adopte l'organisation suivante :

- Une modélisation des données suivant les différents travaux à établir ;
- Rédaction du dictionnaire des données ;
- Transformation du MCD en un modèle relationnel, pour permettre son implémentation dans un Système de Gestion de Base de Données, SGBD ;
- Contrôle qualité.

Etape 5 : Création des liens

Cette phase consiste essentiellement en la création de la liaison entre les deux volets ; En effet, il s'agit pour certains logiciels d'activer les options dédiées à cette opération, et notamment lorsque la base de données est conçue sous un logiciel et l'information géométrique sous un autre logiciel.

Etape 6 : Tests et analyses

Cette étape permet de connaître si la modélisation est réussie ou nécessite des ajustements. En effet, il s'agit de consulter, vérifier, modifier et tester les résultats par des simples requêtes sur, simultanément, les informations géométriques et sémantiques.

I.2.6. Expérimentation et mise en place du SIG

Il s'agit de la réalisation d'une bibliothèque de cartes de base, comprenant :

- Des données environnementales obtenues à partir d'images satellitaires ;
- Des données de géographie physique : MNT, hydrologie, etc. ;
- Des données administratives, sites remarquables, zonages divers, etc.
- Un ensemble d'interfaces utilisateurs, simplifiant la manipulation des données ;
- Un assistant cartographique permettant de combiner les couches de base pour composer une carte thématique et son habillage ;
- Un module d'import permettant d'introduire et de cartographier des données tabulaires géoréférencées issues d'applications externes ;
- Des utilitaires d'analyse spatiale personnalisés, répondant aux besoins de traitement spécifiques.

La programmation sous forme de scripts, permet à un utilisateur averti de personnaliser les outils en fonction de ses besoins. On peut préciser trois niveaux d'utilisation de l'application SIG:

Niveau 1: analyse des conditions environnementales, thématiques, etc., en utilisant exclusivement les données cartographiques incluses dans l'application ;

Niveau 2: importation, puis cartographie de données dynamiques (captures, ressources), extraites, par exemple, des applications et confrontation avec les données environnementales. En sélectionnant, avec soin les données importées, il est possible de faire des analyses spatio-temporelles.

Niveau 3: analyses spatiale de ces données par des traitements plus complexes : interpolation spatiale, calcul de barycentres, jointures spatiales, etc.

L'application vise à offrir une grande flexibilité quant à l'échelle de travail ; Ceci permet de faire des analyses aussi bien sur l'ensemble de la région que sur un écosystème particulier (Mederbal et *al.*; 1991).

I.3. Steppe Algérienne

La zone steppique algérienne occupe une position centrale. Elle joue à la fois un rôle économique par la pratique de l'élevage ovin et la production d'Alfa et un rôle de zone tampon entre le Tell agricole au Nord et le désert du Sahara au Sud.

Sur le plan physique, les steppes algériennes, situées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares (figure I-4). Elles sont limitées au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et, au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*). Les étages bioclimatiques s'étalent du semi-aride inférieur frais au per-aride supérieur frais (Nedjraoui et *al.*; 2008).

La steppe représente une entité géographique bien différenciée en raison de l'aridité de son climat de son hydrologie, de la nature de son sol, de sa végétation, de l'occupation des terres et du mode de vie de ses habitants (Le Houerou, 1985). Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Halitim, 1988).

Les ressources hydriques sont faibles, inégalement réparties et anarchiquement exploitées.

I.3.1. Caractéristiques générales du milieu steppique Algérien

D'une façon globale, la steppe présente un aspect dominant caractérisé par de grands espaces pastoraux à relief et à altitude élevée supérieure à 600 m parcourus par des lits d'oueds, parsemés de dépressions plus ou moins vastes et de quelques îlots de chaînons montagneux isolés (Halitim, 1988). Ces grands espaces peuvent être différenciés en sous-ensembles régionaux bien distincts :

I. 3.1.1. Bordure sub-steppique, située entre les isohyètes 300 et 400 mm et qui s'étend sur la bordure sud de l'Atlas tellien au centre et sur les hautes plaines constantinoises, les monts du Hodna et de l'Aurès à l'Est. Les hautes plaines du Constantinois sont à caractère agropastoral. Le massif des Aurès et les monts du Hodna sont à caractère sylvo-pastoral.

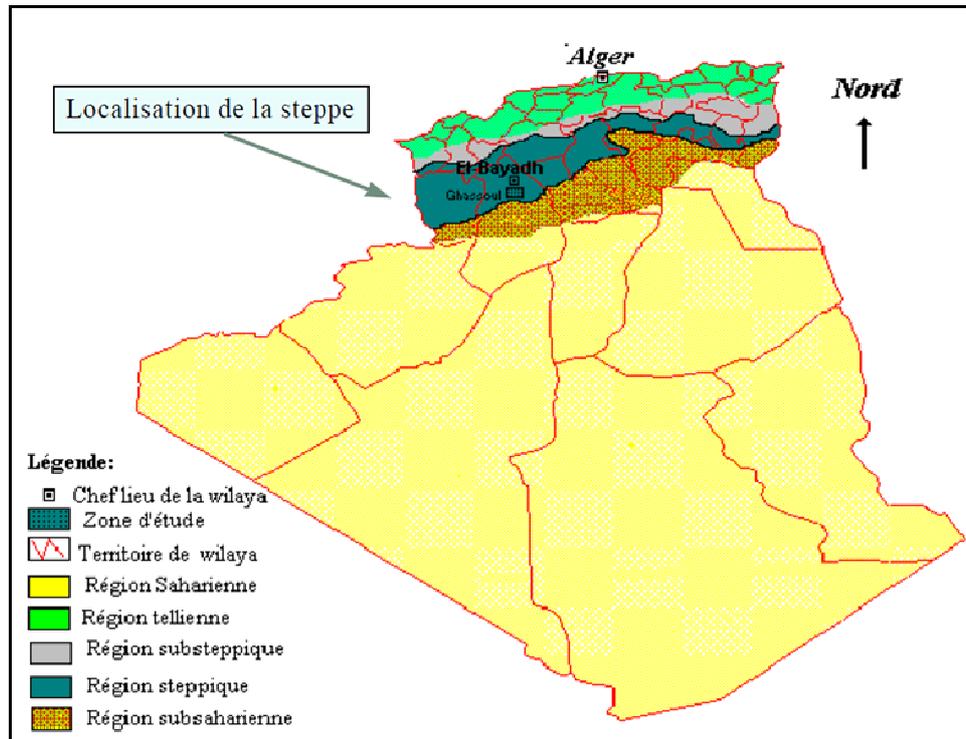


Figure I-4 : Délimitation de steppe algérienne (ANAT⁶, 2004).

I.3.1.2. Région steppique proprement dite, située entre les isohyètes 400 et 100mm, et qui comprend :

- Au centre, les hautes plaines steppiques algéro- oranaises, les hautes plaines de Hassi-bahbah, M'sila, du Nord des wilayas de Laghouat et d'El-Bayadh.
- A l'Est, les hautes plaines steppiques de Khenchela et Tebessa, sont nettement séparées des hautes plaines du centre par le massif de l'Aurès.

I.3.1.3. Région steppique pré saharienne

Située entre les isohyètes 100 et 200 mm de pluviosité, cette région domine par les hauts plateaux de parcours de type saharien et de vallées alluviales et comprend :

- Au centre, les piémonts sud de l'Atlas saharien, la cuvette du Hodna, le plateau saharien du sud de Djelfa et de Laghouat.

⁶ Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

-A l'Est, l'extrémité de l'Atlas saharien, monts du M'zali, et des Nememcha, le plateau saharien du sud des wilayas de Tebessa, Khenchela et Biskra (Halitim, 1988).

I.3.2. Cadre administratif de la wilaya d'El Bayadh

La wilaya d'El Bayadh est issue de la réorganisation territoriale de la région des Hauts Plateaux de l'Ouest du pays, entreprise conformément à la loi n° : 09/84 du 04 Février 1984. Elle s'étend sur une superficie de 71697 km², soit 3 % du territoire national et se compose de huit (08) daïras, regroupant vingt-deux (22) communes, pour une population estimée à 298340 habitants fin 2013, soit une densité de 4.16 (Hab /km²). Le tableau I-1 présente les 22 communes et les 08 daïras de la Wilaya d'El Bayadh.

Tableau I-1 : Communes et daïras de la Wilaya d'EL Bayadh (DPSB ⁷2013)

Daïras	Communes
El Bayadh	El Bayadh
Boualem	Boualem - Sidi Amar - Sidi Taïffour - Sidi Slimane et Stitten
Brézina	Brézina - Ghassoul et Krakda
Bougtoob	Bougtoob - El Kheiter et Tousmouline
Rogassa	Rogassa - Kef Lahmar et Cheguig
El Abiodh Sidi Cheikh	El Abiodh Sidi Cheikh - Bnoud - Ain El Orak et Arbaouet
Chellala	Chellala et Mehara
Boussemghoun	Boussemghoun

La wilaya d'El Bayadh est située entre les parallèles 30° 42' et 34° 28' de latitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 240 Ouest (Fuseau 30°) et 2° 16' Est (Fuseau 31). Elle est limitée au Nord par les wilayas de Saïda et Tiaret, à l'Est et Sud- Est par les wilayas de Laghouat, Ghardaïa et Adrar et à l'Ouest et Sud- Ouest par les wilayas de Sidi Bel Abbès, Naâma et Béchar.

Le relief de la Wilaya est constitué en grande partie de montagnes (6111Km²), de collines et piémonts (10422 Km²), de plaines (47254 Km²) et autres (7910 Km²).

⁷ Direction de la Programmation et Suivi du Budget

Ce territoire est marqué par l'aridité qui s'accroît du nord au sud. Il présente trois grandes zones au point de vue d'occupation du sol, soit du Nord vers le Sud :

- **Zone des hautes plaines steppiques**

Elle s'étend sur une superficie de 15.124 km², représentant 21% de la superficie globale de la wilaya d'El Bayadh. Elle comprend les communes de Kheiter, Bougtob, Tousmouline, Kef El Ahmar, Rogassa et Cheguig. Elle constitue un immense bassin fermé dans lequel les eaux de pluie s'écoulent vers le Chott Chergui ou les dayas. Le relief se présente comme une vaste plaine parsemée de quelques djebels tels que le djebel Megres culminant à 1536 m, avec des altitudes qui varient entre 900 m et 1400 m.

- **Zone de l'Atlas saharien**

Elle est localisée au centre de la région et couvre une superficie de 12.868 km², soit 19% de la superficie globale de la wilaya. Elle se compose des communes d'El Bayadh, Stitten, Sidi-Amar, Boualem, Sidi Tiffour, Sidi Slimane, Ghassoul, Krakda, Ain Orak, , Challala et M'harra Boussemghoune. Cette zone est caractérisée par un relief accidenté, dont l'altitude varie entre 1300m et 2008m (Djebel Kessel : 2008m). Elle présente une situation bioclimatique semi aride froide.

Elle bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux à l'Ouest de l'agglomération de Stitten. Les précipitations sont relativement plus importantes, l'hiver est plus rigoureux et l'enneigement dépasse 10 jours par an

- **Zone présaharienne**

Elle occupe une superficie de 42 591 km², soit 60% du territoire de la wilaya. Elle regroupe les communes de Brézina, El Abiodh Sidi Chikh, Arbaouat, et El Bnou. C'est une vaste étendue représentée par le piémont de l'Atlas Saharien et la plate forme saharienne. Partie plus désavantagée, les altitudes décroissent du Nord au Sud de 1000 m à 500 m environ à la partie extrême Sud de la Wilaya où on note la présence de l'Erg Occidental qui renforce l'aspect désertique de cette zone avec une période estivale plus longue et plus chaude. L'hiver est marqué par des gelées et des températures avoisinant 0°C. Avec 129 mm de précipitations annuelles, elle présente une activité agricole limitée aux Ksours, caractéristique de l'agriculture Saharienne. (Djebaili, 1978).

I.3.3. Végétation

Le paysage steppique est dominé par des formations à base d'Alfa, armoise blanche, de sparte et de remet regroupées en mosaïques. De nombreux travaux relatifs à l'étude de la végétation ont permis de faire ressortir les potentialités pastorales des steppes algériennes qui sont dominées par 4 grands types de formations végétales.

I.3.3.1. Graminées à base d'Alfa (*Stipa tenacissima*)

L'alfa, par sa grande amplitude écologique, se développe depuis le semi-aride jusque dans le saharien à des altitudes variant de 450 à 1800m. Du point de vue thermique l'alfa supporte aussi bien la chaleur que le froid avec un minimum inférieur à 3°C et un maximum supérieur à 30°C.

Du point de vue pluviométrique, cette espèce supporte une tranche pluviométrique entre 100 et 500 mm d'eau, mais préfère la tranche pluviométrique 300-400 mm ; selon Quezel 1999, l'isohyète 100 mm coïncide avec la limite sud de l'Alfa.

I.3.3.2. Steppes à base d'armoise blanche (*Artemisia inculta*)

L'armoise blanche, plante aromatique dont les valeurs pastorales sont très appréciables est la principale compagne de l'Alfa, Les groupements à armoise blanche dominant le paysage steppique dans l'étage aride. Ils sont essentiellement répandus dans les dépressions non salées, sur les glacis à sols limoneux. L'armoise blanche a une grande amplitude altitudinale, 200 à 1500 m, mais présente son optimum de développement dans la classe 900-1200 m. Sur le plan climatique et bioclimatique l'armoise blanche préfère la tranche pluviométrique 200-300 mm, pour une température minimum variant de -3°C à +3°C et une température maximum supérieure à 32°C correspondant au bioclimat aride à semi-aride, variantes froides et fraîches. L'armoise présente une valeur fourragère importante de 0.45 à 0.70 UF/Kg/MS (Nedjraoui, 2003).

I.3.3.3. Steppes à sparte (*Lygeum spartum*)

Le sparte constitue un fourrage de qualité très médiocre néanmoins consommé lorsque la pression pastorale est intense. Sparte peut recevoir 200 à 500 mm d'eau par an, mais il a un développement optimal dans la classe 200-300 mm.

Il se développe à des minima de température compris entre -2°C et +3°C et des maxima variant entre 32°C et 38°C, dans un bioclimat aride à semi-aride, froid et frais. Ces types de parcours ont une production pastorale importante de 100 à 190 UF/ha/année et une charge de 2 à 5 ha/mouton.

I.3.3.4. Steppes à Remt (*Arthrophytum scoparium*)

Elles forment des steppes buissonneuses avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Les mauvaises conditions de milieu, xérophile (20-200 mm/an), thermophile, variantes chaude à fraîche, des sols pauvres, bruns calcaires à dalles ou sierozems encroûtés font des steppes des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La valeur énergétique de l'espèce est de l'ordre de 0,2 UF/Kg/MS. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 Kg MS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/année. Ce type de steppe est surtout exploité par les camelins (Nedjraoui, 2008).

I.3.4. Pédologie

Les grands ensembles lithologiques et géomorphologiques servent de cadre pour la présentation des principaux types de sols. La répartition des sols des zones steppiques correspond à une mosaïque compliquée où se mêlent sols anciens (paléosols), sols récents, sols dégradés et sols évolués.

Les conditions locales (roche mère en place, topographie...) introduisent des variantes nombreuses, les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, une faible profondeur, une faible teneur en matière organique et en éléments minéraux, une forte charge caillouteuse avec une salinité parfois élevée, auxquelles s'ajoutent l'ensablement et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Pouget, 1980).

Il existe des bons sols épais et propices aux cultures de superficie limitée : les dépressions, (les lits d'Oueds, dayas) et les piémonts de montagnes.

I.3.4.1. Dépressions : Il existe deux types de dépression :

- Les dépressions linaires : elles sont constituées par les lits d'oued où, lors des périodes de crues, les eaux charrient une masse importante d'éléments fins (limons) arrachés en amont et déposés lors de l'étiage, constituant un horizon pédologique fertile.
- Les dépressions fermées : Elles sont de deux types chotts et dayas. Seules les dayas présentent des sols utilisables et exploitables (sol limoneux, épais et fertile) (Pouget, 1980).

I.3.4.2. Piémonts : Les sols de piémonts sont beaucoup moins homogènes et moins épais ; leurs éléments constitutifs sont plus grossiers et connaissent une situation moins stable. Les eaux de ruissellement ont tendance à les entraîner dans les zones basses.

Les principales catégories de sols qu'on trouve dans la steppe suivent la classification de 1967 de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S) de France ; on peut distinguer plusieurs types de sols:

I.3.4.2.1. Sols minéraux bruts très peu évolués sont localisés principalement sur les sommets des djebels et sont soumis à une érosion hydrique intense ; ils comportent des lithosols sur les roches dures (grès ou calcaires) et des régosols sur les roches tendres (marnes et calcaires marneux) ; on distingue :

I.1.4.2.1.1. Sols minéraux bruts d'apport alluvial dans les lits des oueds caillouteux avec une texture sableuse sont occupés par une végétation comme le *Tamarix sp*, *Nerium oleander*

I.3.4.2.1.2. Sols d'origine éolienne avec des formations sableuses plus ou moins mobiles. Ces sols sableux, avec un taux de calcaire très faible, sont occupés par une végétation typiquement psammophile à *Aristida pungens*, *Arthrophytum scoparium*

I.3.4.2.1.3. Sols à minéraux bruts d'érosion situés généralement sur les pentes assez fortes où les couches superficielles sont constamment entraînées empêchant ainsi la formation du sol. Le couvert végétal est très peu significatif avec toutefois quelques reliques de chêne vert (*Quercus ilex*) et genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).

I.3.4.2.2. Sols calcimagnésiques présentent en général une surface sensible à l'érosion hydrique en nappe, en partie surmontée d'un voile sableux. Ils sont représentés par plusieurs types :

I.3.4.2.2.1. Rendzines : localisées essentiellement dans l'Atlas Saharien, elles présentent en général les caractéristiques suivantes: une structure grumeleuse, un taux de matière organique supérieur à 3%, un taux de calcaire total supérieur à 40% et une végétation forestière et pré-forestière à *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus tournefortii* et *Stipa tenacissima*

I.3.4.2.2.2. Sols bruns calcaires : ils sont également caractéristiques de la zone montagneuse et se définissent comme les rendzines par une structure grumeleuse à polyédrique, un taux de matière organique également supérieur à 3% et un couvert végétal forestier et pré-forestier.

Les sols bruns calcaires à accumulation calcaire, localisés sur les glaciers du Quaternaire, sont dans l'ensemble caractérisés par une profondeur peu importante (20 à 50 cm), une texture sablo-limoneuse à limono-sableuse, un taux de matière organique inférieur à 2%, un complexe absorbant saturé en magnésium et calcium et une végétation à base de *Stipa tenacissima*, *Artemisia inculta* et *Lygeum spartum*.

I.3.4.2.3. Sols iso humiques sont représentés dans les glaciers d'érosion polygéniques du Quaternaire récent. Ils regroupent les sols à encroûtement calcaire ou gypseux. Ils sont essentiellement représentés par les sierozems qui se localisent sur les glaciers plus ou moins caillouteux. Ces sols présentent une texture grossière, un taux de calcaire total élevé, un taux de matière organique inférieur à 1% et sont occupés par une végétation psammophile à (*Lygeum spartum*), (*Arthrophytum scoparium*), et (*Thymealea microphylla*).

I.3.4.2.4. Sols halomorphes s'observent fréquemment dans les hautes plaines et l'Atlas saharien (terrasses, zones d'épandage, dépressions à nappes phréatiques salées). Ainsi on peut distinguer trois types de sols halomorphes; les sols salins alcalis sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. (Kadi-Hanifi ,1998).

Ils sont pauvres en matière organique ; leurs salinité est chlorurée, sulfatée sodique et magnésienne, de texture généralement grossière, le plus souvent gypseux à très gypseux (encroûtement) ; ils se caractérisent par la présence de sels solubles en quantité assez forte (conductivité >7-8 ms/cm).

Les sols salins à complexe sodique (Na⁺. Mg⁺⁺), de texture moyenne à très fine, faiblement gypseuse possédant le caractère salé et le caractère sodique avec une quantité plus ou moins importante de sodium fixé sur le complexe absorbant sans pour autant que la structure soit dégradée ou que le pH très élevé. La végétation se compose d'espèces hyperhalophites (*Halocnemum strobilaceum*, *Arthrocnemum sp.*).

Lorsque cette salure diminue, le couvert végétal se compose d'halophytes (*Salsola vermiculata*, *Atriplex halimus*, *Suaeda fruticosa*...) associées à des psammophites dans le cas où le terrain est recouvert de sable.

D'après l'état du sol de la wilaya d'El Bayadh, les chotts paraissent comme l'une des zones les plus aptes à fournir des particules fines. Dans les dépôts et les épandages d'oued, les alluvions fines sont aisément vannées par le vent. Dans les plaines et les plateaux, les aptitudes sont inégales suivant la variété des substrats, des rythmes saisonniers de la végétation et des cultures. (Kadi Hanifi, 1998).

I.3.4.2.5. Sols à structure dégradée de texture fine à très fine, non gypseux possédant le caractère salé (peu à moyennement salé), le caractère sodique et surtout le caractère à alcali avec pour résultat une dégradation de la structure qui devient massive. En l'absence de sels de la série alcaline (carbonate de sodium par exemple) et pour un pH encore peu élevé (<9), la dégradation de l'état structural est essentiellement due ici à une salure faible, accentuée par l'absence de gypse.

1.3.4.2.6. Classe des sols peu évolués Cette classe se distingue essentiellement par deux types de sol :

1.3.4.2.6. 1. Sols peu évolués d'érosion, sur roche mère dure (calcaire, grès..) ou tendre (marnes), présentent une profondeur peu importante (< 20 cm), une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse, un horizon superficiel bien individualisé et un faible taux de matière organique.

1.3.4.2.6.2. Sols peu évolués d'apport alluvial se répartissent particulièrement dans les chenaux et les terrasses d'oueds alluvionnés et les *Dayas*. Ces sols représentent la majeure partie des terres mises en culture.

I.3.5. Hydrologie

Elle est constituée d'eaux de surface, de ruissellement, de sources et d'eaux souterraines comprenant les nappes phréatiques et les nappes profondes. Les eaux de ruissellement alimentent les oueds sujets à des crues violentes au début et à la fin de l'hiver. Elles sont constituées des eaux de pluie souvent orageuses et sont à l'origine d'écoulement torrentiel (photos Annexe I).

Les eaux superficielles sont de l'ordre de 1,4 milliard de m³ (hors continental terminal et continental intermédiaire) constituées par les nappes phréatiques petites et isolées exploitées par des puits destinés à l'abreuvement.

Les nappes profondes sont situées à des profondeurs variant de 100 à 500 mètres. Ces eaux souterraines semblent être abondantes mais sont encore peu connues. Elles constituent aujourd'hui la principale ressource utilisée par l'A.E.P⁸, l'abreuvement du cheptel des agropasteurs.

Le régime hydrographique et son évolution sont conditionnés le climat hostile et les facteurs géomorphologiques. Les eaux pluviales s'écoulent vers des zones de concentration ou d'évaporation (endoréisme). Cette particularité est à l'origine de dépressions plus ou moins circulaires (*Daya*).

Les eaux se lient avec des gypseux du Trias lorsqu'elles traversent les terrains salés, donnant naissance aux *Sebkha*, zones de concentration puis d'évaporation des eaux qui se transforme durant l'été en étendues abiotique recouvertes d'une carapace de chlorures divers.

Les pluies qui tombent sur l'Atlas Saharien, les neiges qui restent sur le sol plusieurs jours, les couches calcaires et surtout les grandes épaisseurs de grés donnent à l'Atlas Saharien une relative richesse en eaux.

⁸ Alimentation en Eau Potables

Les grès de l'Albien (Crétacé Inférieur) qui alternent avec des lits marneux, servent de réservoirs aux sources les plus fortes dont la plupart sont celles de l'Atlas Saharien.

Le haut bassin de la région atlantique alimente également le Sahara par plusieurs oueds:

- Oued Rhabi qui alimente l'Oasis d'El Abiod Sidi Cheikh ;
- Oued Seggar qui alimente la palmeraie de Bérézina ;
- Oued Zergoun qui coupe le Djebel Mimouna.

Par contre, les oueds qui alimentent le bassin des *Chotts* sont moins importants avec un débit très irrégulier à cause, notamment, des pluies qui sont aléatoires. Entre la chaîne principale de l'Atlas et les chaînons de l'Hangar Guettar et du Chebkat Menidjel s'étend une zone topographiquement déprimée dans laquelle les petits oueds se terminent soit dans les Sebkhass, soit dans les Dayas.

Ces deux oueds s'alimentent à l'Atlas Saharien et traversent ces hautes plaines d'une vallée jalonnée de points d'eau. Les ressources hydriques souterraines de la wilaya sont considérées comme importantes par l'existence d'un bassin artésien de la nappe Chott Chergui, sources et forages artésiens de la zone d'El Kheiter.

La wilaya d'El Bayadh se distingue par une importante ressource en eau souterraine. Il s'agit de la nappe de Chott Chergui 46 Mm³/an, exploitée aussi par d'autres wilayas (Saida, Tiaret, Sidi Bel Abbes et Nâama).

L'absence d'un schéma directeur d'utilisation de la ressource d'une manière rationnelle joue en défaveur de la wilaya qui ne dispose que de quelques forages artésiens en voie d'exploitation pour l'AEP.

La partie centrale de la wilaya, composée du massif de l'Atlas renferme d'importants aquifères dans les formations synclinales, exploitées par forages profonds à débits canalisés.

Quant aux ressources superficielles, elles se limitent à la présence du barrage de Brézina dont l'impact est déterminant dans le développement économique de la zone pré saharienne. L'irrigation du périmètre de Dayet El Bagra et un apport supplémentaire pour l'AEP et l'irrigation de la palmeraie de Brézina (tableau I-2).

Le débit global soutiré des nappes montre l'importance des prélèvements par forages. Le volume global soutiré est de 31 Millions de mètres cubes/an.

La répartition de la ressource en eau souterraine par zone géographique montre l'importance du potentiel en eau de la zone steppique évalué à 7,5 Hm³/an.

Cette ressource est un facteur favorable pour le développement futur de la zone⁹.

Tableau I-2 : Infrastructures hydrauliques existantes jusqu'à 2013 (DPSB ⁷2013)

Communes	Ressources Exploitées					
	Forages		Puits		Sources	
	Nombre	Débits l/s	Nombre	Débits l/s	Nombre	Débits l/s
El Bayadh	17	279	01	01		
Boualem	05	45				
Sidi Amar	02	20	04	06		
Sidi Taiffour	02	29				
Sidi Slimane	03	14				
Stitten	04	32	03	03	01	01
Brézina	09	54	01	02		
Ghassoul	03	37	01	01		
Krakda	02	11	03	05		
Bougto	03	53				
El Kheiter	06	149				
Tousmouline	02	17				
Rogassa	02	25	02	03		
Kef Lahmar	04	22	03	03		
Cheguig	03	52	01	01		
El Abiodh S.C	08	100	02	02		
Bnoud	05	32	03	03		
Ain El Orak	01	02	01	01	01	10
Arbaouet	01	32				
Chellala	03	49	01	01		
Mehara	03	17	02	02	01	02
Bousseghoun	03	35	02	02	02	10
Total Wilaya	91	1 106	30	36	05	23

⁹ Direction d'hydraulique de la wilaya d'El Bayadh

⁷ Direction de la Programmation et Suivi du Budget

I.3.6. Hydrogéologie

La wilaya d'El Bayadh est inscrite sur deux bassins versants, limités par la ligne de partage des eaux passant le long de l'Atlas Saharien. La zone nord de la wilaya est drainée vers le *Chott Chergui* qui constitue l'exutoire de tout le bassin versant des hautes plaines oranaises. Les piémonts sud de l'Atlas Saharien déversent leurs eaux de précipitation dans le bassin versant du Sahara où s'inscrivent les trois quarts du territoire de la wilaya. L'état des connaissances actuelles sur l'hydrogéologie de la wilaya d'El Bayadh reste incomplet.

I.3.7. Géologie

La région d'El Bayadh chevauche trois domaines géologiques structurellement dominants. Du nord au sud, on distingue :

- Le domaine des hautes plaines, de structure tabulaire, constitué essentiellement de formations continentales d'âge Miocène, Pliocène et Quaternaire ;
- Le domaine de l'Atlas Saharien, caractérisé par les structures plissées de direction NE -SW d'âge Jurassique et Crétacé ;
- Le domaine de la plate-forme saharienne, caractéristique par son assise détritique d'âge paléozoïque et les formations continentales "récentes" d'âge Pliocène et Miocène.

Les principales formations géologiques, roches mères des sols et sources des matériaux alluvionnaires, sont les suivantes :

- Le Trias est formé d'argiles schisteuses plus ou moins gypseuses et salées. Ces formations, source de sels solubles apparaissent en petits massifs érodés surgissant au sein des formations du Jurassique ;
- Le Jurassique constitue des faciès très variés mais à dominance de calcaires durs et dolomitiques, alternant avec des bancs de marnes multicolores ;
- Le Crétacé comprend des faciès très variés à dominance de roches calcaires tendres fréquemment encroûtées ;
- Le Cénomaniens dont les roches sont constituées de séries marneuses et marno-calcaires alternant avec des calcaires plus durs. Les marnes sont souvent salées et gypseuses ;

- Le Turonien représente les séries calcaires compactes et dures formant les falaises et les bordures des synclinaux perchés ;
- Le Sénonien se caractérise par une série à dominance marneuse et marno-calcaire

I.3.8. Géomorphologie

L'occupation du sol dans la région d'El Bayadh, comme pour l'ensemble du territoire steppique algérien est fortement liée à la géomorphologie. Trois formes physiographiques importantes se dégagent en liaison avec la structure géologique et la nature des roches qui constituent le substratum géologique, les djebels, collines et sommets ainsi que les surfaces plus ou moins planes et les dépressions.

I.3.8.1. Les djebels, collines et sommets

Ils constituent essentiellement l'Atlas Saharien. Ils sont issus de l'évolution d'un relief plissé, formé par la succession spatiale plus ou moins régulière de bombements convexes (anticlinaux) et de creux concaves (synclinaux). L'érosion quaternaire a mis à jour toutes les zones résistantes en déblayant les couches tendres (marnes). En général, les zones anticlinales correspondent aux sommets actuels et les synclinaux aux parties déprimées.

On retrouve cependant des reliefs inversés par suite d'une érosion intense et qui correspondent à des zones hautes appelées "synclinaux perchés". L'altitude de ces reliefs est comprise entre 1022 m à Sidi Slimane et 2008 m pour djebel Ksel. Ces formes de relief sont parfois occupées par une végétation forestière de chêne vert très dégradée (djebel Ksel, djebel Bouderga...).

I.3.8.2. Les surfaces plus ou moins planes

Ces surfaces correspondent aux glacis, qu'ils soient d'accumulation ou de dénudation, entourant les montagnes. Plusieurs formes de glacis qui s'emboîtent les uns dans les autres peuvent être distinguées :

- Les hauts glacis : datant du Quaternaire ancien et incisés par des *Dayas* de taille variable ;
- les glacis de raccordement du Quaternaire moyen (plus récent) reliant les reliefs avec les hauts glacis. Ils présentent des accumulations calcaires sous forme d'encroûtement. Ces glacis, souvent ensablés, sont recouverts d'une végétation spasmophile ;

- Les glacis du Quaternaire récent constitués par des dépôts alluviaux et colluviaux tels les chenaux et les terrasses d'oueds. L'accumulation calcaire, moins importante, se présente sous forme de nodules et parfois d'encroûtement.

I.3.8.3. Les dépressions fermées

On distingue deux formes de dépressions: les Dayas et les Chotts.

- Les *Dayas* sont des dépressions circulaires de faibles dimensions (quelques dizaines de mètres).

Elles se forment surtout au niveau des hauts glacis (surface Moulouyenne) par un phénomène de dissolution de l'épaisse croûte calcaire (Pouget, 1980)

- Les *Chotts*, il s'agit du *Chott Chergui* d'altitude moyenne de 100 m. C'est un vaste système endoréique du Quaternaire moyen qui couvre plusieurs dizaines de Km² où s'accumulent les eaux de ruissellement salées. La zone centrale, la plus basse, est sans végétation à cause de la teneur saline trop élevée.

I.3.9. Occupation du sol

D'après les données de DPAT¹⁰ pour l'année 2007, la superficie de la wilaya d'El Bayadh se répartit inégalement entre les secteurs. On constate une dominance des terrains de parcours avec un pourcentage de 79 %. Les terrains désertiques représentent 15% alors que l'agriculture et les forêts occupent respectivement, 1 % et 2 % de la superficie générale de la wilaya ; l'Alfa couvre 3 % de la surface de la wilaya (Figures I-5.) Les principaux types d'occupation du sol reflètent les conditions climatiques et bioclimatiques.

¹⁰ Direction de Planification et de l'Aménagement du territoire

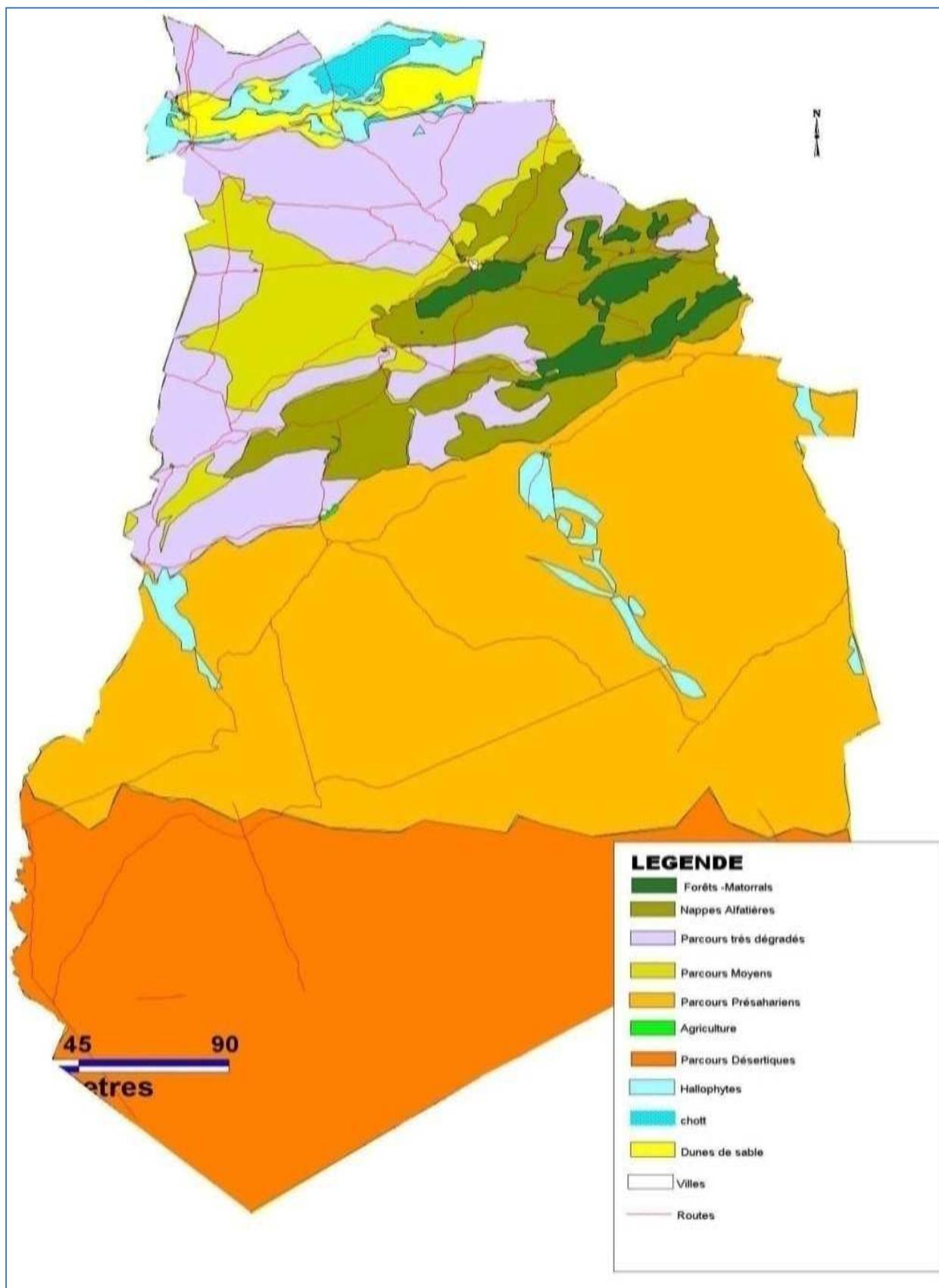


Figure I-5: Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Bayadh (DPAT¹⁰ 2010)

I.4. Définition du sol

Le mot sol est un mot banal que chacun utilise très fréquemment sans être nécessairement conscient de sa signification qui peut être très différente selon les préoccupations, les cultures, les connaissances et les époques.

Plusieurs perceptions peuvent être dégagées, le sol pouvant être considéré comme un support mécanique, un support des plantes ou un milieu de culture.

Pour les géologues, le sol est considéré comme la partie superficielle des roches altérées par les agents climatiques, biologiques et anthropiques (Calvet, 2003).

I.4.1. Conception du sol

Les connaissances actuelles conduisent à considérer le sol comme un objet naturel possédant les caractéristiques générales telles que

I.4.1.1. Porosité

C'est un milieu dont la phase solide est constituée par des minéraux et des composés organiques formant des assemblages plus ou moins volumineux et qui donnent au sol sa structure. Cette phase solide n'est pas continue et délimite un espace poral de géométrie complexe et de dimensions variées (Gobat et *al.*; 2010).

Le sol est un milieu dont les contours sont indéfinis mais dont la composition et les caractéristiques présentent une double variabilité, spatiale et temporelle

I.4.1.2. Variabilité

I.4.1.2.1. Dans l'espace

La variabilité spatiale du sol se manifeste dans les trois dimensions de l'espace. Elle se traduit verticalement par la présence de couches plus ou moins épaisses, appelées horizons et latéralement par l'existence de sols différents (Calvet, 2003).

I.4.1.2.2. Dans le temps

Le sol est le siège de nombreux phénomènes physiques, chimiques et biologiques, successifs ou simultanés qui déterminent ses caractéristiques, son évolution et son fonctionnement.

Ces phénomènes ne sont généralement pas instantanés, se déroulent avec des vitesses variées et sont caractérisés par des cinétiques différentes

I.4.1.3. Réactivité

Quelle que soit l'échelle à laquelle on se place, le sol est un volume ouvert du point de vue thermodynamique. Cela signifie qu'il existe des échanges de matière et d'énergie entre ce volume et son environnement.

Les phénomènes qui se déroulent dans le sol relèvent le plus souvent de la thermodynamique des processus irréversibles (Gobat et *al.*; 2010).

I.4.2. Fonctions du sol

Pendant très longtemps, la seule fonction reconnue du sol était de permettre la production d'aliments et c'est sous les pressions exercées par les diverses activités humaines que l'on s'est rendu compte de l'importance du sol en tant que compartiment de l'écosystème global représenté par la « la surface continentale ».

I.4.2.1. Fonctions écologiques

La fonction de milieu biologique repose sur le fait que le sol constitue un environnement physique, physico-chimique, chimique et biologique pour les organismes vivants qui s'y trouvent (Gobat et *al.*; 2010).

I.4.2.2. Fonction de réservoir biologique

Le nombre et la variété des organismes vivants présents dans les sols en font une réserve biologique considérable, importante pour la biodiversité de l'écosystème terrestre. En particulier, la richesse microbienne des sols est très grande et on est encore loin de la connaître complètement et d'en avoir exploré toutes les possibilités (Barnard et *al.*; 2004)

I.4.2.3. Fonction de support mécanique :

Cette fonction exerce à l'égard des végétaux mais aussi des outils et machines utilisées pour le travail du sol.

I.4.2.4. Fonction socio-économique :

D'un point de vue culturel, le sol est une source d'informations archéologiques intéressantes aussi bien pour sa propre connaissance et son évolution que pour celle des communautés humaines qui l'ont utilisé.

D'un point de vue économique, les sols ont une valeur patrimoniale qui est de plus en plus prise en compte dans la gestion des territoires

I.4.2.5. Source de minéraux :

Il s'agit d'une fonction primordiale pour la faune et la flore. La composition, la structure et l'apport en nutriments varient beaucoup selon le type de sol. Les colloïdes particules organiques ou minérales du sol revêtent une importance capitale en fixant les nutriments et en les relâchant dans la solution du sol où ils pourront être absorbés par les racines (Hopkins, 2003).

I.4.2.6. Indicateur de la qualité d'environnement

Cette fonction concerne le rôle du sol dans le déterminisme de la qualité des eaux, de l'air et de la chaîne alimentaire. Le sol est un milieu de transit, de stockage et de transformation de très nombreuses substances, quelle que soient leur nature, inorganique ou organique, résultant de processus naturels ou d'activités humaines (Citeau et *al.*; 2008).

- **Environnement physique**

Par l'eau et l'oxygène qu'il contient, il assure à la fois l'alimentation hydrique et la respiration des organismes vivants ; s'agissant d'un milieu plus ou moins conducteur de la chaleur, le sol assure aussi l'apport énergétique nécessaire aux organismes et leur protection à l'égard des variations climatiques

- **Environnement physico-chimique**

Les constituants minéraux et organiques du sol et les divers apports naturels ou anthropiques déterminent la composition chimique de la phase liquide du sol et en particulier sa réaction acide dont dépend l'activité biologique.

- **Environnement chimique**

Deux aspects doivent être considérés ; le premier correspond au fait que le sol est un milieu trophique puisqu'il assure la nutrition minérale des organismes végétaux et la nutrition minérale et organique des animaux édaphiques. Le second est lié à l'aspect éco-toxicologique puisque le sol peut contenir des substances toxiques susceptibles de limiter voire d'empêcher le développement d'organismes vivants.

- **Environnement biologique**

Abritant de nombreux organismes vivants, le sol offre à chacun d'eux un environnement biologique dont les rôles sont multiples. La fonction de milieu biologique est donc une fonction complexe (Calvet, 2003).

I.4.2.7. Réacteur des cycles biogéochimiques

L'ensemble des phénomènes de toute nature qui se déroulent dans le sol en fait une véritable plaque tournante dans les cycles biogéochimiques des éléments. En particulier, le rôle du sol est d'une très grande importance dans les cycles du carbone, de l'azote, du soufre et du phosphore, tant du point de vue agronomique que du point de vue environnemental.

Il se comporte à la fois comme un milieu de stockage et comme un milieu de transformation (Soutter et *al.*; 2007).

I.4.3. Phases de sol

Les sols sont des milieux poreux sont constitués de trois phases dont les proportions sont variables :

I.4.3.1. Phase solide

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide. La nature des minéraux du sol est déterminée à la fois par les roches sur lesquelles ils se sont formés et par les processus de pédogénèse.

Les sols sont le principal réservoir de carbone organique à la surface de la terre et jouent un rôle clé dans les cycles biogéochimiques des éléments chimiques.

Les matières organiques proviennent principalement des résidus végétaux qui subissent diverses transformations physiques et chimiques et leur abondance dépend du climat, de la végétation et des modalités d'utilisation des sols

I.4.3.2. Phase liquide

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais est une solution dont la composition est complexe et très variable. Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et neutres. D'une façon générale, la solution du sol est difficile à décrire et à étudier en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle de sorte qu'il n'existe pas de composition type

I.4.3.3. Phase gazeuse

C'est l'atmosphère du sol, sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est-à-dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique (Hopkins, 2003).

I.4.4. Organismes vivants du sol

Les organismes du sol sont variés, nombreux, et confèrent aux sols des caractéristiques qui ont font des objets naturels particuliers à divers titres. Ils sont des agents puissants de la pédogenèse et participent aussi aux différentes fonctions du sol. Leur abondance et leur nature dépendent du type de sol, de la végétation, du climat et de diverses actions anthropiques (Hopkins, 2003).

I.4.5. Système sol

Le sol est un système composé de quatre compartiments, les trois phases, solide, liquide et gazeuse et les organismes vivants. Ces compartiments sont en interaction permanente par des échanges de matière et d'énergie dus à plusieurs phénomènes physiques, chimiques et biologiques et rendent compte de l'ensemble des processus de pédogenèse et des fonctions du sol (Calvet, 2003).

I.4.6. Concept de qualité des sols

Le sol est un système écologique complexe et le lieu de multiples échanges qui régulent les processus écologiques. En ce sens, le concept de qualité des sols est une notion subjective et très dynamique. Quelle que soit la définition conceptuelle de la qualité des sols, il apparaît évident que cette qualité dépend de multiples facteurs. Il faut distinguer ceux qui sont intrinsèques aux sols comme les facteurs chimiques, physiques et biologiques, de ceux d'origines externes comme le climat.

L'évaluation de la qualité des sols peut être réalisée par de simples observations ou des mesures qualitatives très complexes

Les indicateurs de la qualité des sols sont des propriétés physiques, chimiques et biologiques dont la mesure doit permettre d'appréhender les fonctions essentielles. Caractériser la qualité des sols passe par l'utilisation d'indicateurs pertinents qui intègrent la grande variabilité spatiale et temporelle de leurs propriétés intrinsèques qui évoluent à différentes échelles (Doran et *al.*; 1994). Selon (Soutter et *al.*; 2007 les indicateurs qui répondent de façon optimale aux besoins de l'évaluation de la qualité des sols dans l'espace et le temps, doivent être sélectionnés par :

- Des indicateurs de la qualité des sols doivent traduire les processus qui ont lieu au sein de l'écosystème ;
- Ils doivent également intégrer des propriétés et des processus physiques, chimiques et biologiques et servir de base à l'estimation de propriétés du sol ou de fonctions ;
- Être sensibles aux variations anthropiques et naturelles sur le long terme ;
- Faire partie intégrante de bases de données existantes lorsque c'est possible.

I.4.7. Qualité chimique des sols

C'est le réservoir qui stocke et redistribue les nutriments sous forme d'ions indispensables à la vie des plantes.

Un sol fonctionne comme un système chimique ouvert en recevant mais aussi en fournissant ces ions. Les sources d'apport sont multiples (atmosphériques, hydriques, pratiques agricoles). La qualité chimique d'un sol est donc contrôlée par :

- Des facteurs externes comme la situation géographique, le climat, les connections avec des écosystèmes voisins)
- Des facteurs internes en relation avec l'activité microbienne qui régulent la disponibilité de la ressource chimique

Les propriétés chimiques d'un sol conditionnent les processus biologiques qui s'y déroulent. L'altération de cette qualité chimique peut donc perturber le fonctionnement biologique d'un sol. Le fonctionnement d'un écosystème est régi par des boucles de rétroaction entre la ressource organique apportée par les plantes et les communautés microbiennes qui la minéralisent apportant ainsi les nutriments aux plantes. Ces boucles de rétroaction conditionnent la disponibilité de la ressource minérale d'un sol, elle-même régie par des mécanismes écologiques tels que la compétition, la symbiose et le mutualisme entre les communautés végétales et les communautés microbiennes (Tessier et *al.*; 1996).

I.4.8. Qualité physique des sols

La qualité physique des sols est étroitement liée à la structure des sols, par la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés les uns par rapport aux autres.

C'est en effet dans ces différents vides que l'eau et les gaz circulent ou sont stockés et que les êtres vivants peuvent se développer. La macrofaune et les micro-organismes sont les principaux acteurs de la structuration des sols. Notamment l'action des lombrics qui déplacent, retournent, aèrent les sols et augmentent la cohésion entre particules à travers leurs déjections et les micro-organismes qui synthétisent des polysaccharides qui agglomèrent les particules entre elles (Tessier et *al.*; 1996).

L'action des racines n'est pas à négliger à la fois en terme de protection des sols et d'aération (augmentation de la porosité des sols). En effet, la stabilité de la structure sous l'effet de différents agents d'agression (pluies, vents et animaux) est un aspect très important de la qualité physique des sols.

La structure des sols est responsable de la retenue de l'eau disponible pour les plantes. En effet, l'eau stockée dans les sols est d'autant plus abondante que les pores sont de petite taille et nombreux. La quantité de l'eau disponible est donc liée à la porosité des sols et à leur profondeur. La perméabilité des sols joue également un rôle important dans la vitesse d'infiltration des eaux de pluie. Les sols ont tendance à se dessécher pendant la période estivale et à se recharger en eau à l'automne et l'hiver jusqu'à saturation (Roux, 2007).

I.4.9. Qualité biologique des sols

Les organismes du sol sont responsables, directement ou indirectement, de nombreuses fonctions clés du fonctionnement des sols. Elles incluent la décomposition des résidus animaux et végétaux, la transformation et le stockage des nutriments, les échanges gazeux et hydriques, la formation et la stabilisation de la structure du sol, la synthèse des composés humiques et la dégradation des molécules xénobiotiques.

L'abondance, l'activité et la diversité des micro-organismes sont autant d'indicateurs reflétant cette qualité biologique et permettant de caractériser les niveaux de fonctionnement des sols.

Les micro-organismes ont un rôle fondamental dans la minéralisation de la matière organique. Les activités hydrolytiques et oxydatives des protéines enzymatiques sont par conséquent des indicateurs potentiels de la qualité biologique des sols (Clément, 2009).

Les deux paramètres microbiologiques les plus communément mesurés pour évaluer la réponse des micro-organismes à des changements de milieu, sont des mesures globales telles que la taille des populations bactériennes (dénombrement) et la mesure de la biomasse des sols.

Les techniques de dénombrement s'avèrent imprécises du fait de leur trop grande sélectivité, les espèces cultivables recensées ne représentant qu'une très faible fraction de la communauté microbienne du sol (0,1 à 10 % selon Ward et *al.*; 1990).

Les mesures d'activités globales (respiration, activités enzymatiques) complètent les mesures de dénombrement et de biomasse dans l'évaluation de la réponse des microorganismes à des changements affectant la taille de la communauté.

Les modifications dans les groupes microbiens qui accomplissent des fonctions essentielles dans le sol, apportent des informations sur le fonctionnement à l'échelle de l'écosystème. Les exemples les plus couramment rencontrés concernent des groupes microbiens qui interviennent dans les différentes étapes du cycle de l'azote (Dilly et *al.*; 1998).

I.4.10. Interactions dans le sol

Les sols abritent une grande quantité d'organismes vivants en interaction. La microflore des sols est constituée de microorganismes procaryotes (bactéries) ou eucaryotes (champignons, algues). Ces microorganismes sont impliqués dans les cycles géochimiques des éléments (carbone, azote, phosphore...), et sont également capables d'interactions directes avec les plantes (Alabouvette, 2009).

I.4.11. Naissance de la microbiologie du sol

La microbiologie des sols est née et a foisonné avec, en particulier, les travaux de Winogradsky et de Beijerinck. Elle se développa avec ses propres méthodes, conduisant à de nombreuses découvertes, en se focalisant plus particulièrement sur ce que l'on peut qualifier de microbiologie agronomique d'une part et de microbiologie des cycles biogéochimiques d'autre part (Berthelin, 2011).

I.4.12. Formes vivantes du sol

On distingue deux grands groupes, les macros et les microorganismes qui comptent les uns et les autres des formes animales et végétales (La macro et la microfaune, la macro et la microflore) (Deneux-Mustin et *al.*; 2003).

La macrofaune représentée par les ravageurs, insectivores, insectes qui ne jouent pas un rôle fondamental sur le sol si ce n'est l'aération et la digestion de certains constituants humides.

Les diplopedes, isopodes, acariens, gastropodes contribuent à la décomposition, aux premiers stades, des tissus végétaux. Les chilopodes, aranéides ne sont que des prédateurs d'autres formes vivantes. Les annélides sont les plus importants en espèces et dont l'action ne se limite pas seulement au transfert, au mélange ou à l'aération. Lors de leurs déplacements, elles sécrètent des enzymes de grande importance pour les végétaux supérieurs. La macroflore avec les végétaux supérieurs et inférieurs ont une importance considérable. Sources de matières organiques, les racines ont un apport dépassant celui des autres organismes (Gobat et al.; 2010).

Les microorganismes représentés par la microfaune comme les nématodes, dont certains se nourrissent de matière organique en décomposition, et d'autres parasitent les plantes et diverses formes vivantes. Les protozoaires, jouent un rôle dans l'aération. Les rotifères entrent dans le cycle de décomposition de la matière organique.

Les algues sont les seuls micro-végétaux qui contiennent de la chlorophylle. Il semble que certaines d'entre elles ont une action favorable sur la fixation de l'azote soit en assurant cette fixation, soit en vivant associées avec des bactéries azoto-fixatrices. Elles exercent aussi une action contribuant à la rétention passagère des aliments dans le sol. Les champignons (*Penicillium sp.*, *Mucor sp.*,...) et les actinomycètes ont une fonction importante car ils scindent la matière organique avec libération simultanée d'éléments utiles pour la plante. Ils attaquent aussi l'humus et libèrent l'azote inutilisable par les végétaux supérieurs.

Les bactéries constituent le groupe le plus important en quantité et en variétés. Les hétérotrophes produisent l'énergie et le carbone à partir de substances organiques complexes et fixent l'azote atmosphérique ou combiné. Les autotrophes tirent leur énergie de l'oxydation des corps minéraux, le carbone du CO₂ et l'azote de composés minéraux (Deneux-Mustin et al., 2003).

I.4.13. Facteurs influençant la micro population

- La structure du sol : la porosité.
- La source d'énergie : la matière organique a une action favorable indirecte sur les microorganismes en améliorant certaines conditions ambiantes telles que la structure, la capacité de rétention en eau et l'équilibre thermique du sol.
- L'humidité : l'augmentation de l'humidité stimule les bactéries mais pas les champignons.
- L'aération : l'aération de sol augmente le processus d'oxydation et le favorise, ce qui entraîne donc une élévation du taux d'O₂ favorable à des bactéries comme les nitrifiantes, les azotobacters et les champignons. Au contraire, si l'aération est restreinte, le processus de réduction est favorisé.
- La température : il ne faut pas oublier que l'activité des microorganismes augmente en même temps que la température s'élève, mais jusqu'à un certain maximum.
- Les saisons : au printemps et en automne, le taux des bactéries atteint un maximum. En été, la température augmentant, le taux des bactéries est en régression sur tous les horizons alors que le taux des champignons augmente sur les horizons superficiels.
- Le pH : les bactéries et les actinomycètes ont un optimum de réaction pour des pH 6 à 8 alors que les champignons pour les pH bas de 3 à 5.
- La lumière : les rayons solaires sont nocifs à la plupart des microorganismes du sol, même les algues qui sont phototrophes ne sont stimulées que par la lumière diffusée.
- La profondeur : si la profondeur augmente, l'aération diminue ainsi que les éléments nutritifs ; la population microbienne est alors anaérobie tandis qu'en surface vit une population aérobie.
- Les traitements divers : les engrais organiques ont un effet stimulant sur la microflore, même pour les engrais minéraux, mais après accumulation certains éléments peuvent devenir des facteurs limitant (Roux, 1988).

I.4.14. Aspect quantitatif des microorganismes dans le sol

Dans le sol, les microorganismes représentent la majorité des organismes vivants et constituent une part importante de la diversité génétique de la planète. Il a été estimé qu'un gramme de sol contenait de 10^{10} à 10^{11} bactéries de 6000 à 50000 espèces bactériennes et jusqu'à 200 m d'hyphes fongiques (Curtis et *al.*; 2002)

I.4.15. Distribution géographique des microorganismes

La biomasse microbienne est principalement liée aux caractéristiques physico- chimiques du sol et à son usage. Les zones les plus riches en biomasse présentent des sols de texture fine, à des pH plutôt alcalins et d'usage diversifié.

I.4.15.1. Distribution verticale des micro-organismes

L'épaisseur du profil biologiquement actif avec une activité biologique notable varie considérablement d'un type pédologique à l'autre. Dans certains lithosols, cette profondeur est réduite à quelques centimètres, voire quelques millimètres ; elle atteint couramment 1m à 1,5 m dans des vertisols. Des facteurs multiples interviennent pour altérer cette distribution, comme la composition de l'atmosphère du sol, le pH, l'humidité et la teneur en éléments minéraux assimilables (Krevs et *al.*; 2011).

I.4.15.1.1 Distribution verticale des bactéries et des champignons

Cette distribution décroît progressivement avec la profondeur. La réduction de la micro-population à la surface même du sol est due à l'action létale du soleil et de la dessiccation et à l'arrachement des éléments fins (argiles) par l'érosion. Notons que les champignons sont en général caractérisés par une pénétration en profondeur réduite par rapport à celle des bactéries

I.4.15.1.2 Distribution verticale des algues

La distribution verticale des algues est bien particulière, car elle est essentiellement régie par la lumière et accessoirement par l'humidité. Les algues sont donc en principes localisées sur 3cm de profil de profondeur, car la lumière ne pénètre pas au-delà de cette limite (Krevs et *al.*; 2011).

I.4.15.2. Distribution horizontale des microorganismes

Elle est étroitement liée à l'hétérogénéité du sol. Cette dernière est due non seulement à l'hétérogénéité de la roche mère et du sol qui en est issu, mais aussi à l'hétérogénéité induite par la végétation, qui modifie le milieu physique et chimique à la fois par effet rhizosphérique et par l'intermédiaire de son couvert (Krevs et *al.*; 2011).

I.4.16. Rôle des micro-organismes dans le sol

En servant de liens entre les animaux et les plantes, les micro-organismes jouent un rôle clé dans le maintien de la vie sur la terre. Responsables de nombreuses transformations, ils convertissent les plantes et les animaux morts en substances inorganiques simples nourrissant les plantes, qui à leur tour serviront de nourriture aux animaux. Les micro-organismes sont ainsi indispensables à plusieurs procédés biochimiques essentiels qui recyclent les éléments comme le carbone, l'azote et le soufre. Les sols représentent la plus grande réserve de carbone de la couche de surface de la terre. (Deneux- Mustin et *al.* ; 2003).

Le cycle global du carbone est composé de quatre phénomènes fondamentaux débutant par l'absorption des microorganismes vivants donnant lieu à la production de biomasse végétale et microbienne, suivie de la dégradation des composés organiques d'origines végétales et microbiennes qui conduit à la formation de petites molécules organiques.

La minéralisation fait passer les éléments d'une forme organique à une forme inorganique et l'humification est à l'origine des substances humiques.

Pour le cycle de l'azote trois groupes de phénomènes sont impliqués dans le devenir de l'azote dans le sol avec des échanges d'azote entre le sol et l'atmosphère. Du sol vers l'atmosphère c'est la dénitrification biologique et chimique, la volatilisation de NH_3 et de l'atmosphère vers le sol avec fixation symbiotique et fixation non symbiotique de l'azote atmosphérique.

Des phénomènes d'échanges d'azote entre le sol et les plantes par absorption de l'anion nitrate et du cation ammonium, apports des résidus végétaux et animaux ; des phénomènes internes au sol interviennent, comme la nature microbiologique, la minéralisation (ammonification), la nitrification, la dénitrification ; il y a aussi des effets physico-chimiques comme la protonation de NH_3 , l'adsorption /désorption de NH_4 , la dénitrification chimique.

Dans le cycle du phosphore interviennent des phénomènes microbiologiques telle que la minéralisation de la matière organique des résidus végétaux apportés au sol par les micro-organismes ; des phénomènes physico-chimiques, précipitation /dissolution, l'adsorption /désorption. Dans le cycle de soufre Les réactions d'oxydoréduction d'origine microbienne et abiotique sont un aspect important du devenir du soufre dans le sol (Roux, 1988).

I.4.17. Interaction sol-plante-microorganismes

De nombreuses interactions, bénéfiques ou non, voire pathogènes sont observées entre plantes, bactéries et champignons du sol, provoquant l'activité biologique de ce sol. La rhizosphère, définie comme le volume de sol soumis à l'influence de la racine, est une zone d'intense activité microbienne.

En effet, la plante, via les exsudats racinaires, met à la disposition de la microflore des substrats, sucres et acides aminés, qui favorisent le développement des microorganismes, qu'ils soient pathogènes ou bénéfiques ; les Rhizobactéries (PGPR, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) qui favorisent la croissance de la plante, stimulent sa croissance, directement en favorisant le prélèvement des éléments nutritifs et indirectement en activant les mécanismes de résistance induite chez les végétaux.

D'autre part, plus de 80% des plantes renforcent leur croissance grâce à leur alliance avec des champignons dits mycorhiziens, c'est à dire des champignons microscopiques dont les filaments s'associent aux racines pour former un nouvel organe appelé mycorhize. Au sein de tous les écosystèmes, les interactions entre organismes sont permanentes et déterminantes pour leur bon fonctionnement.

Les plantes transforment l'énergie lumineuse en énergie chimique et la stockent temporairement dans des molécules organiques sous forme de liaisons chimiques riches en énergie par le processus de photosynthèse. Une partie significative de photosynthèse de la plante est directement libérée dans le sol sous forme de molécules organiques appelées 'rhizodépôts'. Ces rhizodépôts représentent de 5 à 40% des produits de la photosynthèse.

La plante modifie donc l'environnement rhizosphérique en libérant divers composés dans les rhizodépôts. La densité des populations de la microflore associée aux racines est significativement plus élevée dans la rhizosphère que dans le sol nu.

Ces modifications quantitatives de la microflore, ou 'effet rhizosphère', s'accompagnent également de modifications qualitatives. En effet, la diversité et la structure des communautés microbiennes dans la rhizosphère; et leur activité métabolique diffèrent de celles du sol nu (Curl *et al.* ; 1986).

Les rhizodépôts constituent donc un élément majeur de perturbation de la microflore tellurique qui en retour, influence la croissance et la santé des plantes et donc, à nouveau, l'émission des rhizodépôts. La microflore rhizosphérique est naturellement constituée d'un assemblage complexe de microorganismes procaryotes et eucaryotes

La croissance, la santé des plantes et leur diversité sont donc influencées par la diversité des populations microbiennes présentes dans la rhizosphère. Les rhizodépôts jouent un rôle actif dans la régulation des interactions mutualistes et parasites/pathogènes, entre les plantes et les microbes du sol (Hopkins, 2003).

Partie II

*ANALYSES
DES DONNÉES DU
MILIEU*

II.1. Répartition de la population

L'étude socio- économique est une étape fondamentale pour tout diagnostic de milieu naturel. La collecte des informations a été faite auprès des différentes directions techniques de la wilaya d'El Bayadh. C'est une ébauche fiable et utile pour la compréhension du fonctionnement de cet écosystème en vue de dynamiser et renforcer l'intérêt du volet socio – économique dans toute étude d'aménagement ou de prise de décision.

La population de notre région d'étude est passée de 231.249 habitants en 1998 à 298. 340 à la fin de 2013, avec une densité de 04,16 hab /Km² ; 183. 589 habitants occupent la zone de l'atlas Saharien soit 15,50 hab /Km² et 55140 habitants les hautes plaines steppiques (soit 6,79 hab/Km²) localisés surtout à Bougtoub avec une densité de 11.82 hab /Km². La zone pré Saharienne ne représente que 1.08 hab /Km² soit 55140 habitants (tableau II-1).

La répartition de la population par commune et par zone est indiquée dans le (tableau II-2). Le taux d'accroissement est de 2.29 % avec un taux de natalité parmi les plus hauts de la steppe de 2.61%. La population nomade est de 35 708 comparée à 2009 où elle représentait 33.752 % et la population éparses de 27503(Annexe II).

La population active est évaluée à 117740 avec un taux d'activité de 39.47.

La répartition des occupés par branche d'activité jusqu'à fin 2013 est mentionnée dans l'Annexe II ; notons que l'agriculture et l'élevage occupent 43820 dont 5884 à El abiod S/C, 3590 à Mehara, 2251 à Brézina, 1235 à Ghassoul, 1195 à Krakad et 1011 à Stitten.

Tableau II-1: Répartition de la population par zone au 31.12.2013(DPSB⁷) :

Communes	Population	Superficie km ²	Densité hab / km ²
Bougtob	23 848	2 017,60	11,82
El Kheiter	8 022	1 023,10	7,84
Tousmouline	5 121	881,10	5,81
Rogassa	9 475	2 415,70	3,92
Kef Lahmar	9 499	1 622,40	5,85
Cheguig	3 646	818,20	4,46
S / Total Hautes Plaines	59 611	8 778,10	6,79
El Bayadh	112 395	463,50	242,49
Boualem	9 624	526,30	18,29
Sidi Amar	4 743	1 180,10	4,02
Sidi Taiffour	7 165	1 224,70	5,85
Sidi Slimane	1 917	154,10	12,44
Stitten	6 329	885,70	7,15
Ghassoul	8 682	564,10	15,39
Krakda	2 844	833,90	3,41
Ain El Orak	1 873	768,10	2,44
Arbaouet	5 165	1 370,90	3,77
Chellala	5 926	219,30	27,02
Mehara	12 687	3 069,10	4,13
Boussemgoun	4 239	586,10	7,23
S / Total Atlas Saharien	183 589	11 845,90	15,50
Brézina	18 821	15 702,80	1,20
El Abiodh Sid Cheikh	31 884	16 023,30	1,99
Bnoud	4 435	19 346,60	0,23
S / Total Pré Saharienne	55 140	51 072,70	1,08
Total Wilaya	298 340	71 696,70	4,16

⁷ Direction de la Programmation et Suivi du Budget

Tableau II-2 : Répartition de la population par commune au 31.12.2013 (DPSB 2013)

Communes	Population		Superficie km ²	Densité hab / km ²
	30 Juin 2013	31 Décembre 2013		
El Bayadh	110 583	112 395	463,50	242,49
Boualem	9 530	9 624	526,30	18,29
Sidi Amar	4 728	4 743	1 180,10	4,02
Sidi Taiffour	7 125	7 165	1 224,70	5,85
Sidi Slimane	1 900	1 917	154,10	12,44
Stitten	6 309	6 329	885,70	7,15
Brézina	18 651	18 821	15 702,80	1,20
Ghassoul	8 634	8 682	564,10	15,39
Krakda	2 831	2 844	833,90	3,41
Bougto	23 534	23 848	2 017,60	11,82
El Kheiter	8 000	8 022	1 023,10	10,67
Tousmouline	5 109	5 121	881,10	5,81
Rogassa	9 398	9 475	2 415,70	3,92
Kef Lahmar	9 440	9 499	1 622,40	5,85
Cheguig	3 632	3 646	818,20	4,46
El biodh Sid Cheikh	31 295	31 884	16 023,30	1,99
Bnoud	4 378	4 435	19 346,60	0,23
Ain El Orak	1 855	1 873	768,10	2,44
Arbaouet	5 146	5 165	1 370,90	3,77
Chellala	5 861	5 926	219,30	27,02
Mehara	12 655	12 687	3 069,10	4,13
Bousseghoun	4 212	4 239	586,10	7,23
Total Wilaya	294 806	298 340	71 696,70	4,16

II.1.1. Education

Le taux de scolarisation est de 94.87 %, avec un taux d'encadrement élèves /enseignant de 22.92 %, au primaire, de 80.90% avec un taux d'encadrement élèves /enseignant de 18.42% pour le moyen et de 14.96% pour l'enseignement secondaire avec un taux de réussite au baccalauréat de 52.51% et un taux de déperdition pour les filles de 2.85% pour un total de 3.86%.(DE¹¹). La formation professionnelle ne répond pas à la vocation de cette région vu que le métier de pasteur n'est pas valorisé dans les différentes branches de cette formation (DFP¹²) (Annexe II).

II.1.2. Santé

Beaucoup de manque pour ce secteur économique important, les hôpitaux sont localisés uniquement dans trois des huit dairas de la wilaya (El Bayadh, Bougtoub et El abiod S/C) avec une couverture médicale d'un médecin spécialiste pour 4324 et un chirurgien dentiste pour 4972 habitants (tableau II-3).

Tableau II- 3 : Couverture sanitaire fin 2013 (D.S¹³)

Secteurs	Communes couvertes	Population	%
EPH El Bayadh	El Bayadh - Boualem - Sidi .Amar - Sidi Taiffour Sidi Slimane - Stitten - Brézina – Ghassoul Krakda - Rogassa - Kef Lahmar et Cheguig	195 140	65,41
EPH Bougtob	Bougtob - El Kheiter et Tousmouline	36 991	12,40
El Abiodh Sid Cheikh	El Abiodh Sidi Cheikh - Arbaouet - Bnoud – Ain El Orak - Chellala - Mehara et Boussemgoun	66 209	22,19
Total Wilaya		298 340	100,00

¹¹ Direction de L'Education

¹² Direction de la Formation Professionnelle

¹³ Direction de la Santé

II.1.3. Tourisme

Les zones steppiques sont un musée à ciel ouvert où se côtoient le présent et le passé. Elles renferment d'énormes potentialités non encore exploitées et méconnues qui mériteraient d'être valorisées dans le cadre d'un tourisme culturel qui constitue un des volets importants dans une stratégie globale de développement de ces zones. La valorisation des activités artisanales dont le travail de la laine, de la poterie, du cuir et de l'Alfa mériterait une vive attention. Seulement le tourisme ne peut en aucun cas se développer sans infrastructure adéquate. Le tableau II- 4 présente ces infrastructures qui demeurent insuffisantes et précaires, ne répondant pas aux normes internationales.

Tableau II- 4 : Infrastructures hôtelières et restauration au 31.12.2013 (D. Tourisme¹⁴):

Structures ou Nom de l'Hotel	Nombre de		Organisme Gestionnaire
	Chambres	Lits	
Fahmi Ksel El Bayadh	30	47	Privé
El Hidhab El Bayadh	19	41	Privé
El Wiâam El Bayadh	14	28	Privé
El Abiodh Sidi Cheikh	18	36	Privé
Nadjem El Bayadh	36	72	Privé
Total	117	224	Privé
Restaurants non Classés	Capacité couverts	Organismes Gestionnaires	
Essedikia El Bayadh	40	Privé	
Essanawbare El Bayadh	60	Privé	
Total	100	Privé	

¹⁴ Direction du Tourisme

II.1.4. Emploi

D'après les services de DPSB, la population active est de l'ordre de 117740 avec un taux d'activité de 39.47 %. Les secteurs d'occupation sont indiqués dans la figure II-1 ; on remarque que l'agriculture et l'élevage représentent 41% alors que le secteur de l'industrie n'occupe que 2%, reflétant la vocation pastorale de la région.

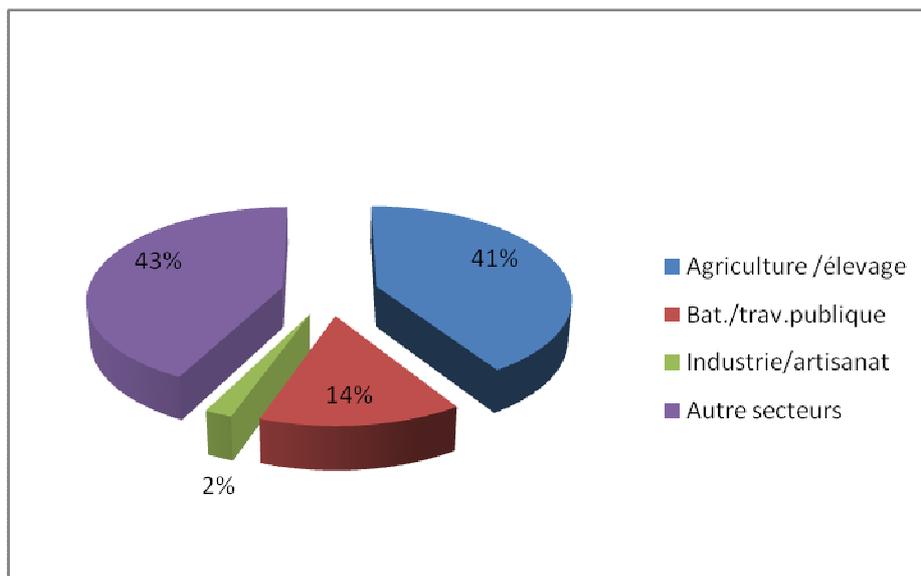


Figure II- 1 : Taux de population occupée par secteur d'emploi

II.1.5. Agriculture

Le territoire d'El Bayadh dispose de terres agricoles arables potentielles. Elles sont situées au niveau des dépressions alluviales et des berges d'oueds qui restent favorables à la pratique de la céréaliculture ; la mise en valeur par l'irrigation a favorisé la production maraîchère. La superficie agricole totale (SAT) représente 5765200 ha dont 80%, constitués majoritairement de pacages et parcours (98.75%) ; la superficie agricole utile est exploitée par les cultures céréalières, le maraîchage, l'arboriculture, phoeniculture dans les palmeraies avec une superficie de 4610 ha et l'oléiculture. L'offre fourragère est relativement variable selon l'état des parcours et les précipitations (figures II-2, II-3, II-4, II-5, II-6).

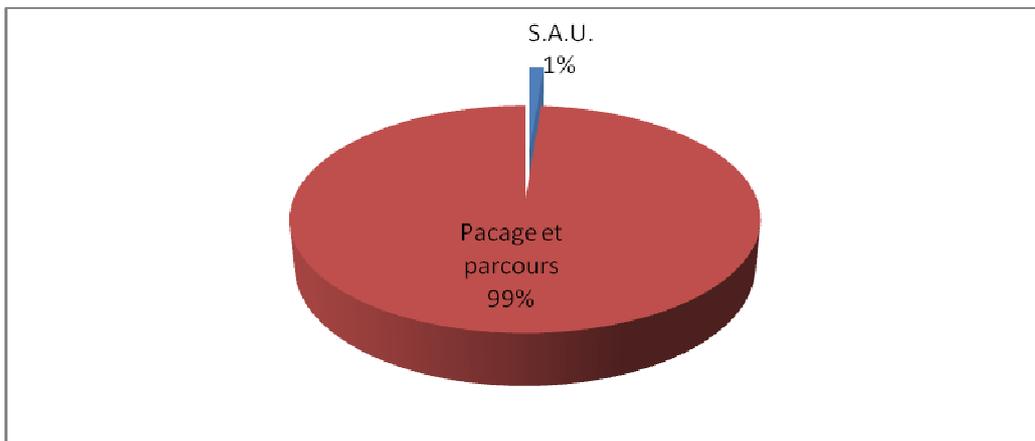


Figure II-2 : Répartition de la superficie utilisée par l'agriculture(S.A.T)

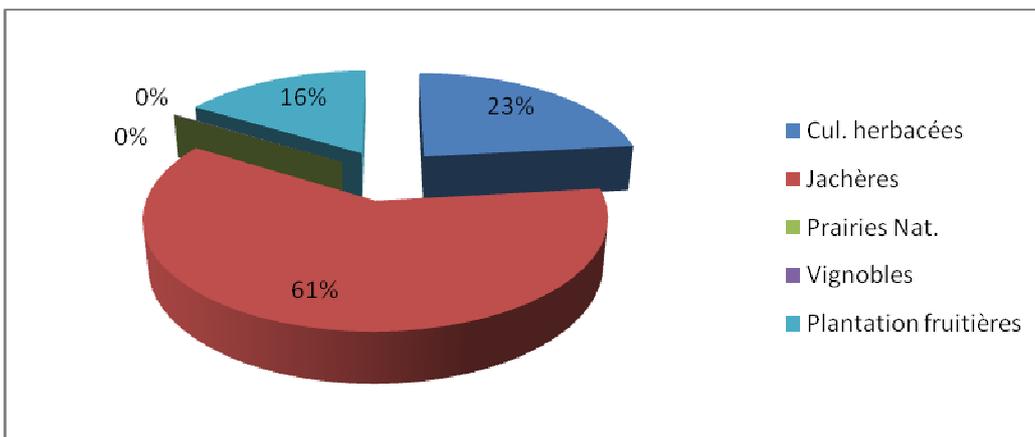


Figure II-3 : Répartition de la superficie agricole utile (S.A.U)

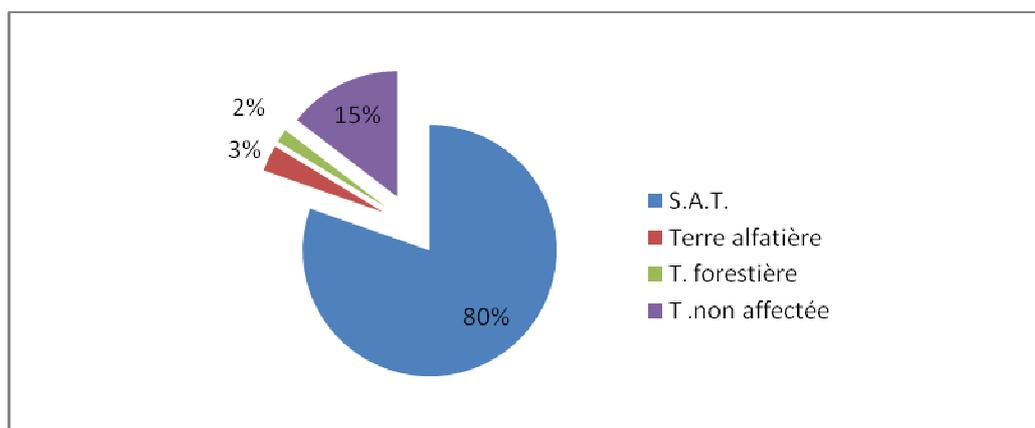


Figure II-4 : Répartition de la superficie totale

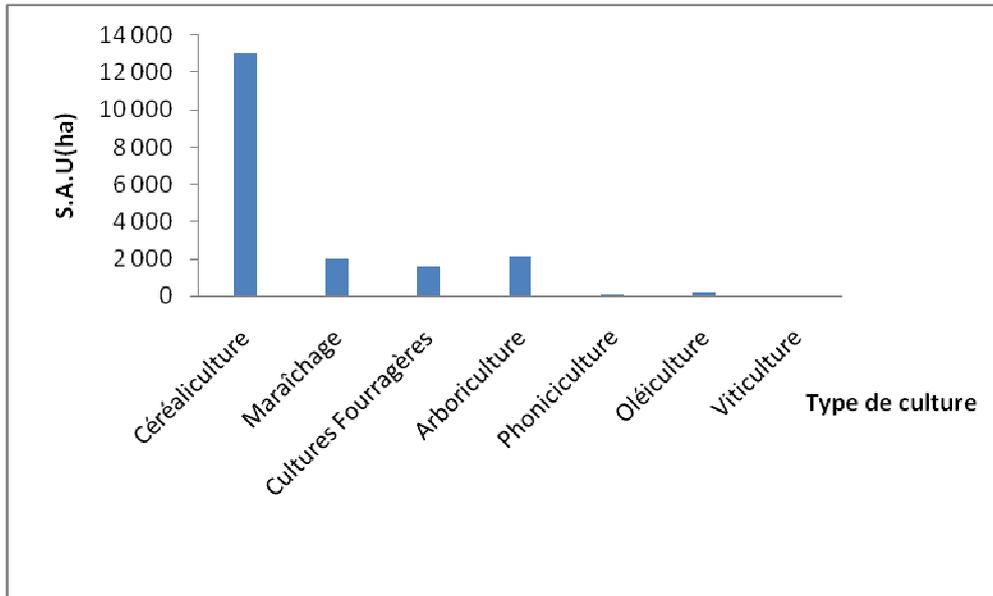


Figure II-5: L'exploitation des S.A.U

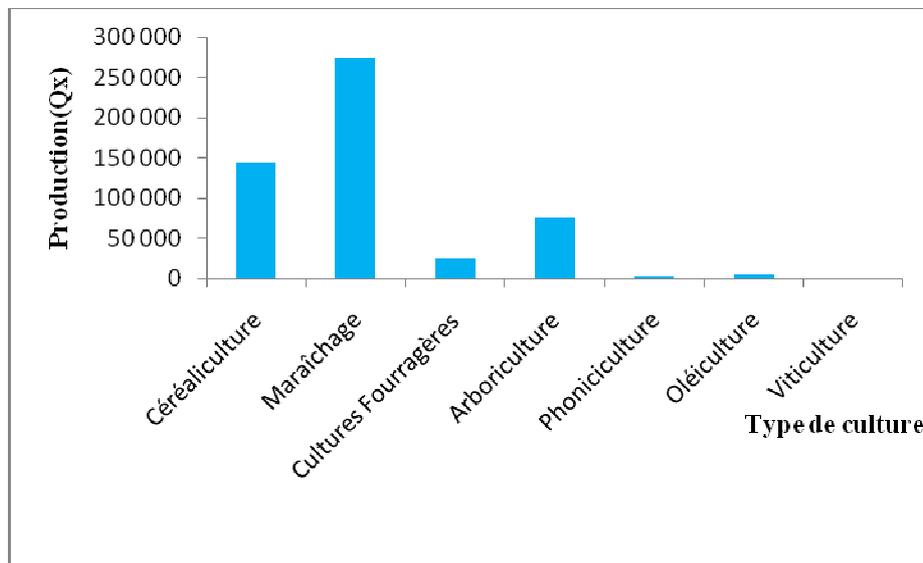


Figure II-6 : Productions Végétales (2013)

II.1.6. Elevage

L'élevage ovin occupe une place prépondérante dans l'économie de la région d'El Bayadh. Pour la production animale, cette wilaya contribue à l'approvisionnement du marché local et national en viandes rouges.

L'évolution de l'effectif du cheptel ovin passe de 1388489 à 1776100 au cours de la période 2008/2013 avec une pression anthropozoïque dans les communes de El abiod S/C, Bougtob, Brezina, Mehara, Rogassa et Kef lahamar.

L'élevage des bovins est récent et localisé particulièrement dans la zone des hautes plaines steppiques comme Tousmouline, Rogassa ,Kef lahamar et Chequig. Par contre nous remarquons sa diminution dans la zone de l'Atlas saharien et présaharienne de 1639 en 2008 à 1215 têtes en 2013 à Ghassoul, de 860 en 2008 à 240 en 2013 à Brézina.

L'effectif de caprins a augmenté de 136723 en 2008 à 180390 têtes en 2013, avec un cheptel important à el Bayadh, Brezina et Ghassoul.

L'effectif camelins, localisé dans la zone présaharienne et à Ghassoul est passé de 8349 en 2008 à 10063 têtes en 2013. Rogassa, Tousmouline et Bougtoub sont connues pour l'élevage d'équins avec 993 et 1157 têtes respectivement en 2008 et 2013(figures II-7, II-8, II-9, II-10 et II-11).

Ces chiffres, communiqués par les services DSA¹⁵ concernent uniquement le cheptel déclaré par les éleveurs.

¹⁵ Direction des Services Agricole

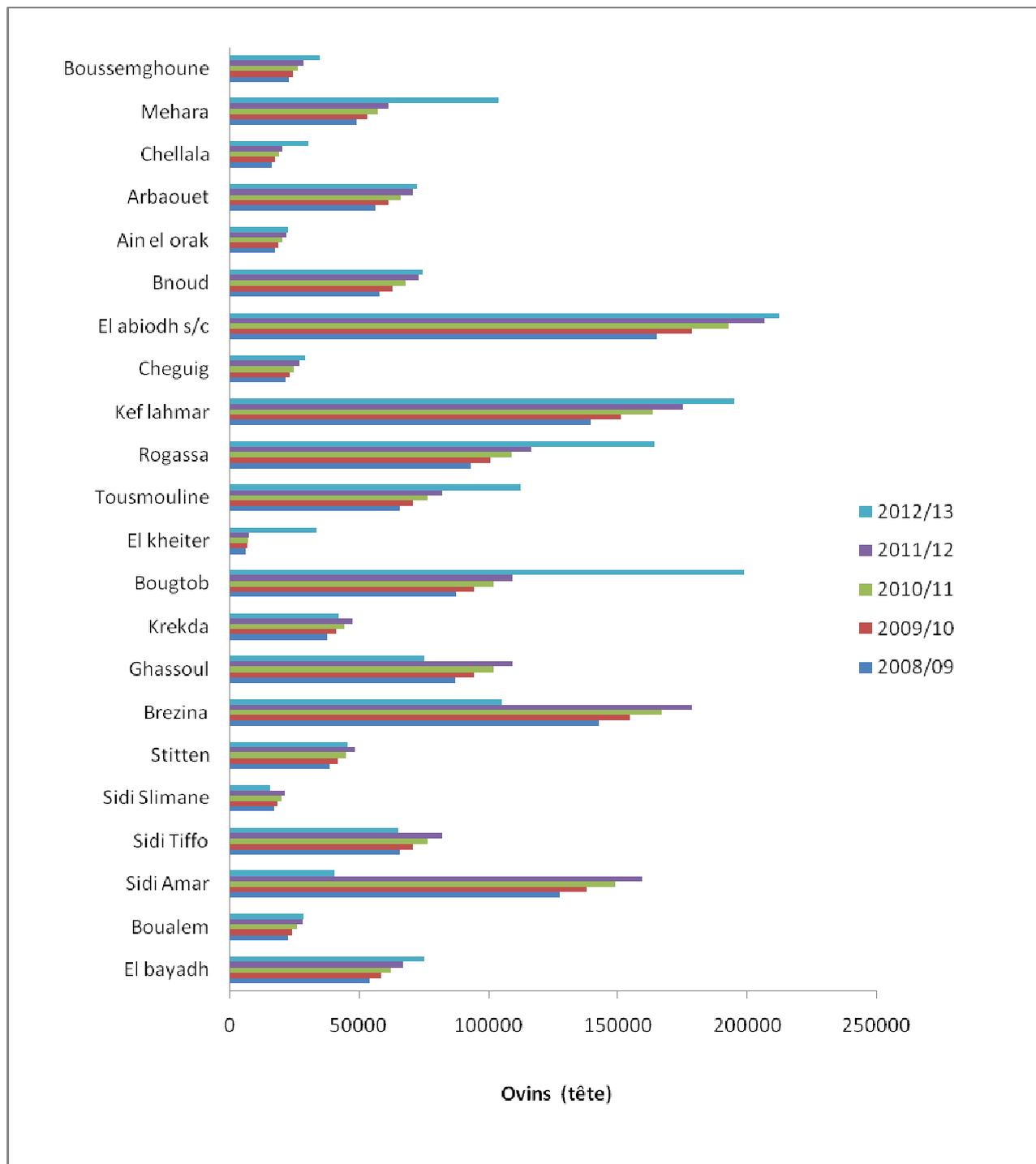


Figure II-7: Evolution de l'effectif du cheptel ovin sur la période 2008/2013

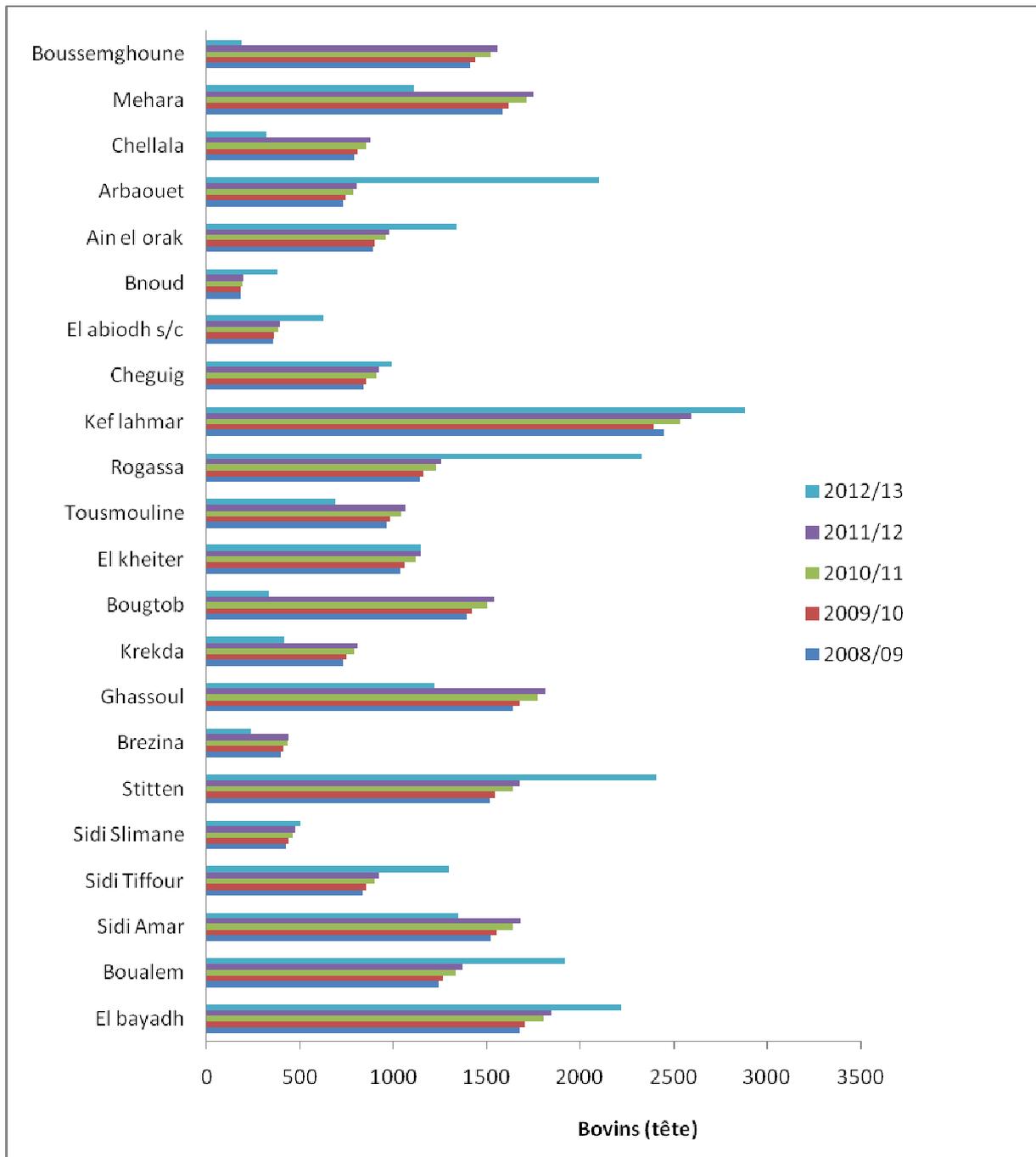


Figure II-8 : Evolution de l'effectif du cheptel bovin sur la période 2008/2013

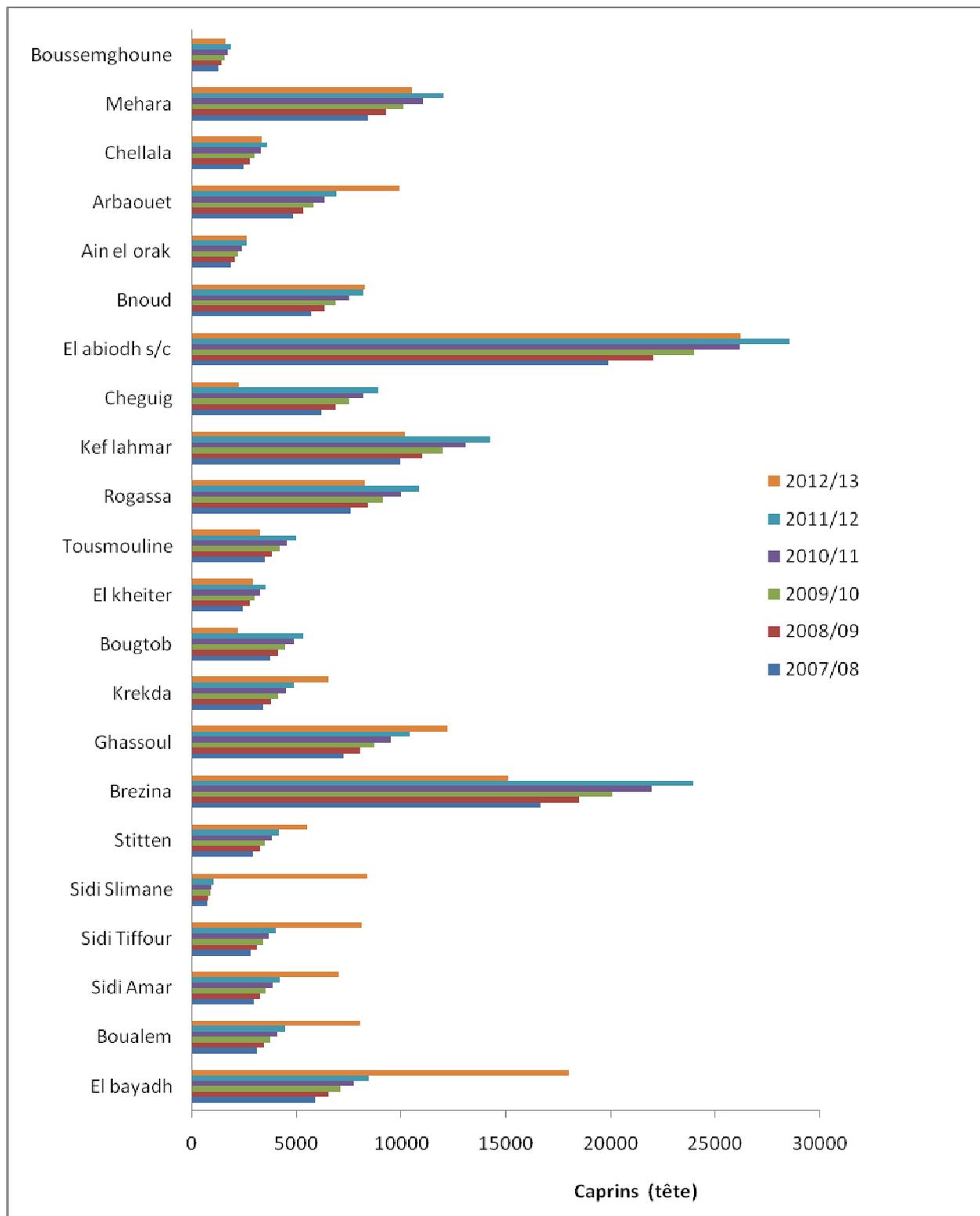


Figure II-9: Evolution de l'effectif du cheptel caprin sur la période 2008/2013

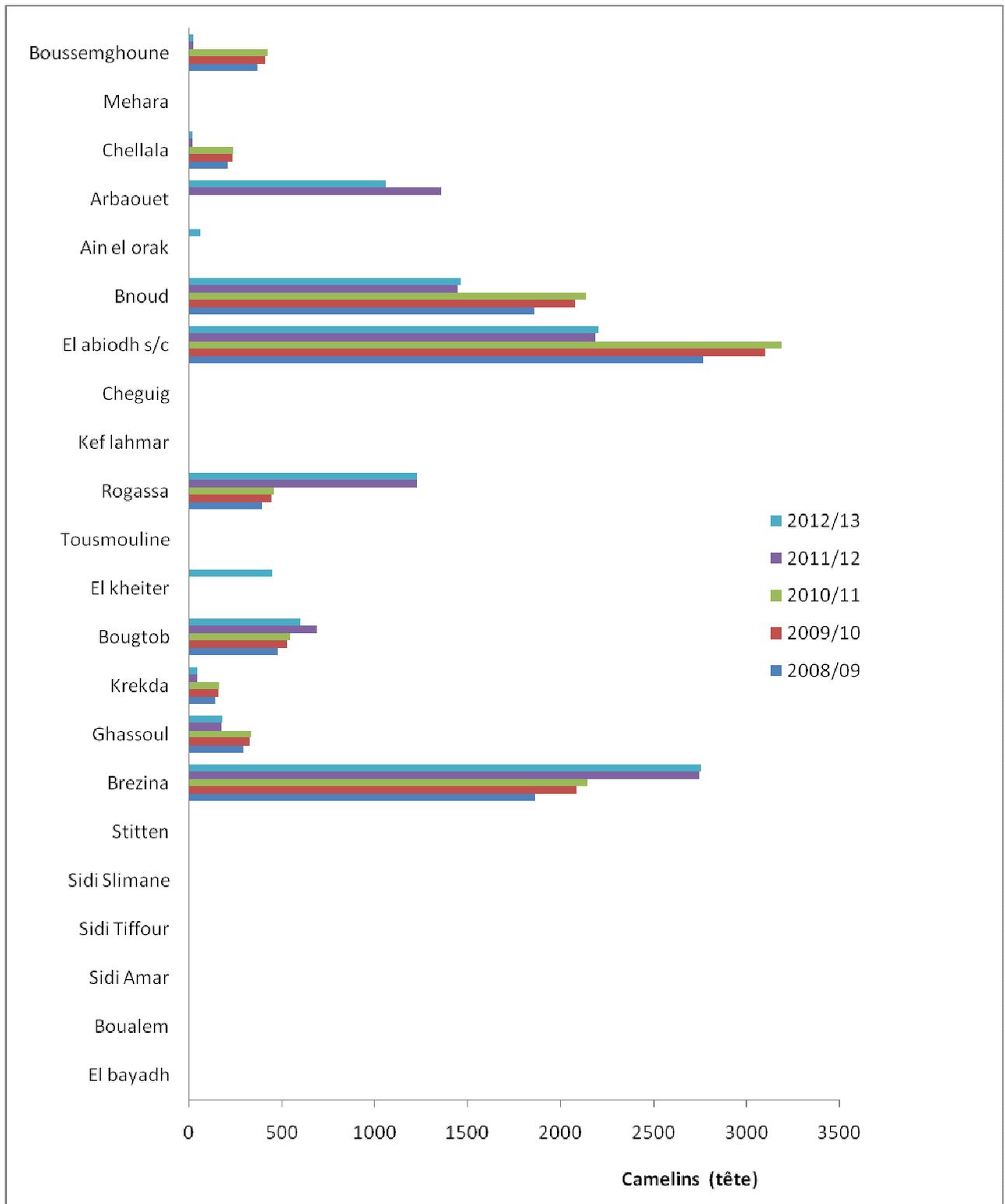


Figure II-10: Evolution de l'effectif du cheptel camelin sur la période 2008/2013

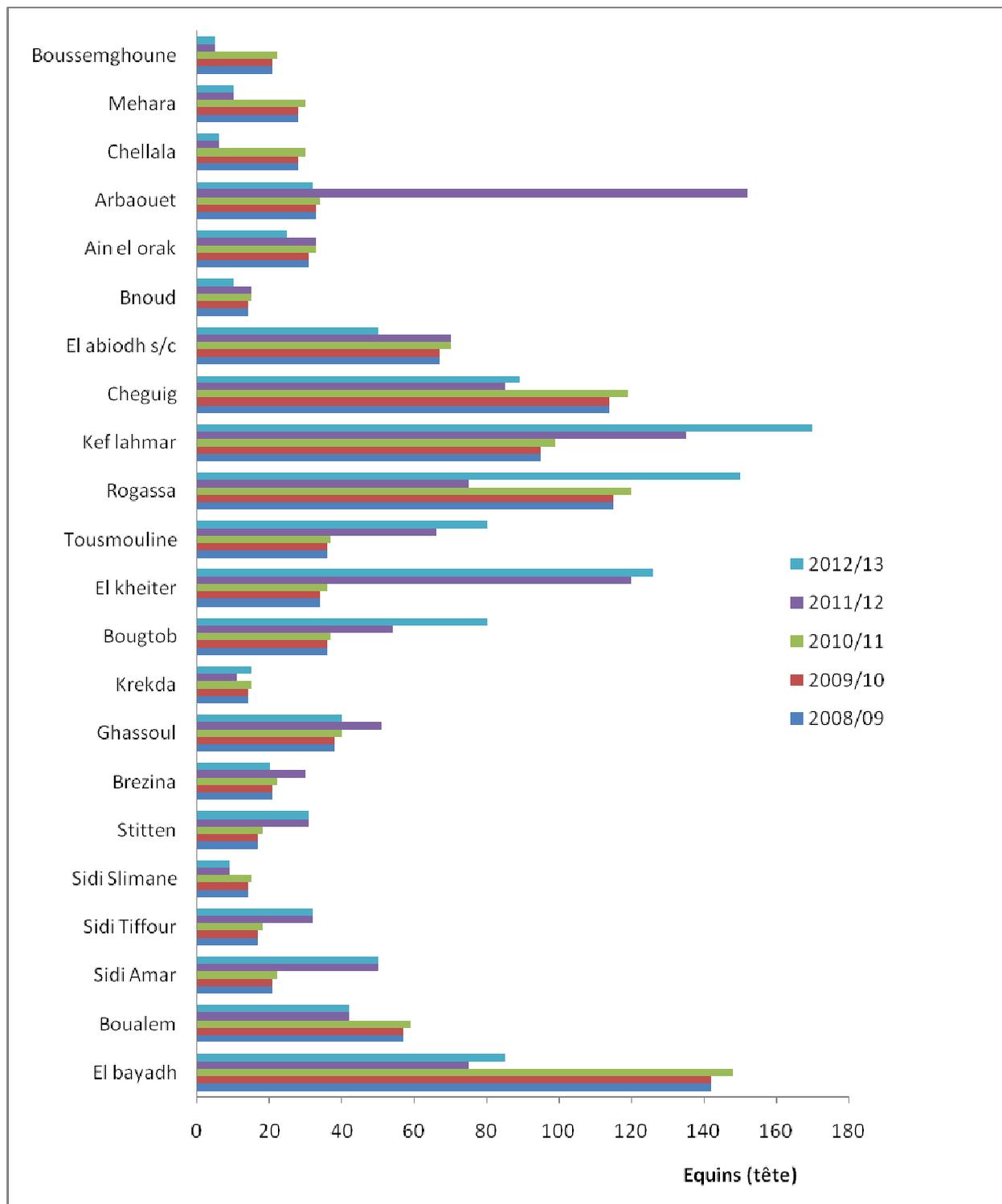


Figure II-11 : Evolution de l'effectif du cheptel équin sur la période 2008/2013

L'estimation du cheptel dans nos stations d'étude pour la période 2008/2013 montre une forte concentration du cheptel ovin à Bézsina suivie par Ghassoul, Stiten et Krekda (figures II-12 et II-13).

Ces chiffres font ressortir l'importance qu'occupe le cheptel ovin (89%) au niveau de la région qui se positionne au premier plan suivi des caprins (9%). L'élevage bovin (1%) est relativement faible vue la spécificité du climat dans cette région (figure II-14 et II-15).

L'année 2011 a connu un fort mouvement de transhumance vers les hautes plaines steppiques des nomades de la wilaya de Djelfa et Laghouat.

Cette migration des troupeaux était une opération organisée entre les différentes régions du pays tell- hauts plateaux, Tell- Sahara, Hauts- Plateaux- Sahara et vice versa.

L'activité des pasteurs se caractérisait par deux moments importants : l' *Achaba* qui consiste à rechercher les pâturages du printemps et de l'été et l' *Azaba* pour l'automne et l'hiver; deux périodes particulièrement bénéfiques pour le cheptel et les pasteurs (Boukhobza, 1982).

Avec ces moments, la pression sur le milieu était répartie dans le temps et dans l'espace au rythme des saisons. Le pastoralisme fonctionnait comme un système bien organisé avec des institutions tribales et un droit coutumier reconnu et respecté de tous.

La scolarisation, la sédentarisation des pasteurs avec leurs familles et certaines mauvaises décisions politiques de développement qui ont contribué à la désorganisation de la société pastorale. Malheureusement de profondes mutations ont touché ce système par un développement d'un agro- pastoralisme de fortune dans la steppe engendré par les années d'insécurité de la dernière décennie, La région d'étude présente des atouts particuliers, avec un potentiel fourrager naturel steppique valorisé à travers des élevages ovins de race pure (Hamra) en premier degré qui fournit une viande ovine de très bonne qualité.

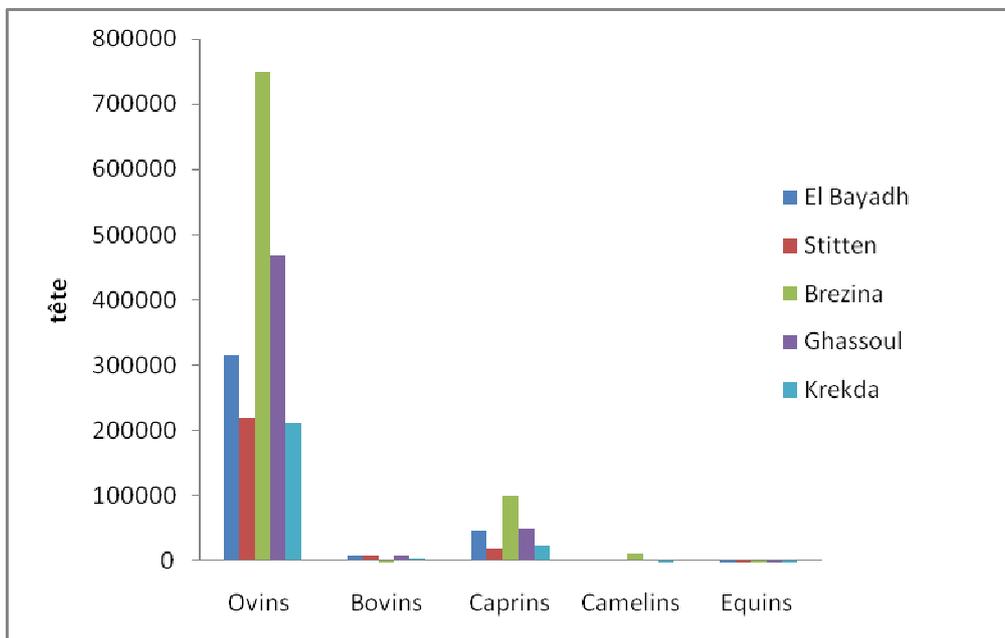


Figure II -12 : Estimation du cheptel dans les stations d'étude pour la période 2008/20013

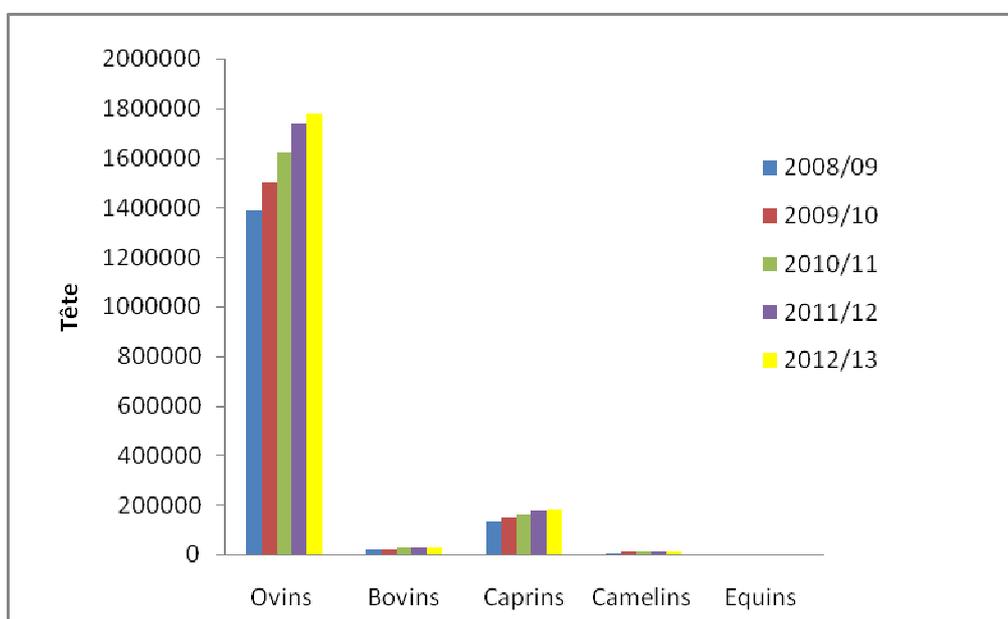


Figure II-13: Estimation du cheptel pour la période 2008/20013

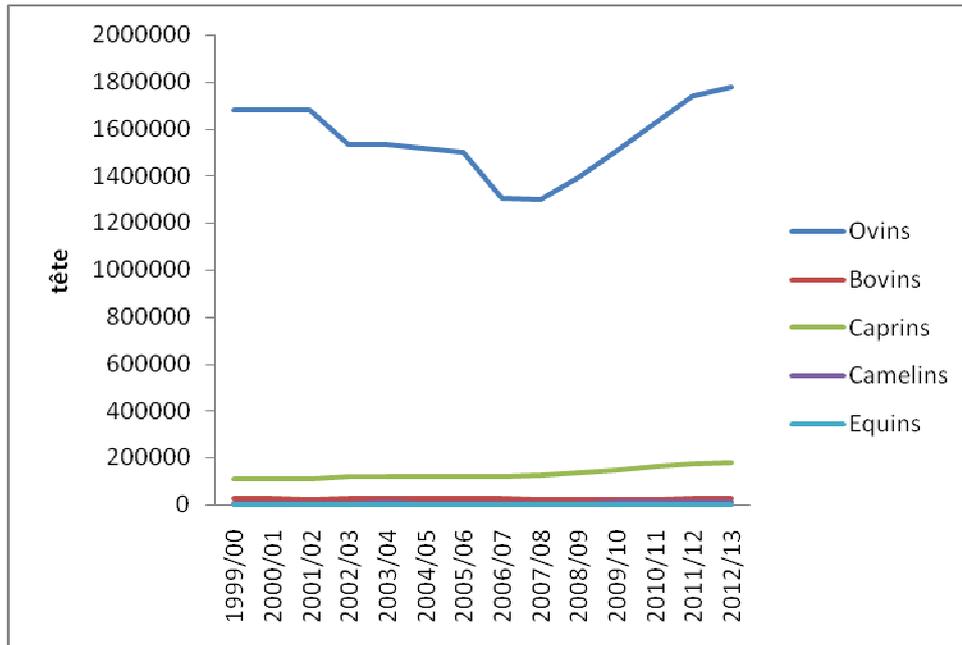


Figure II-14 : Evaluation de type de cheptel durant la période 1999/00 à 2012/2013

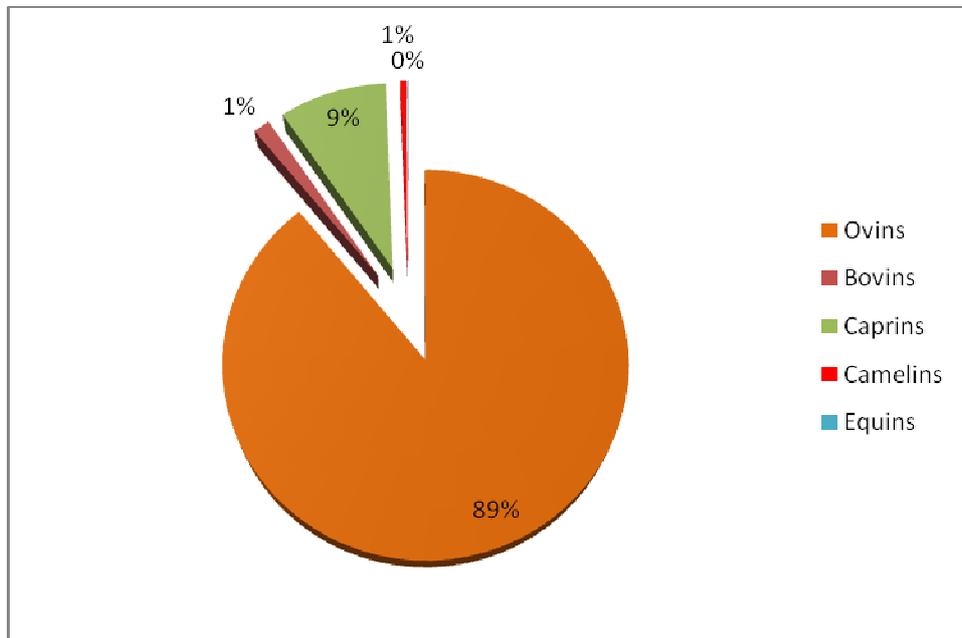


Figure II-15 : Type de cheptel dominant dans la région d'étude

II.2. Etude climatique et bioclimatique

Il n'y a aucune station implantée dans les sites de notre zone d'étude, à l'exception de celles de chef lieu de la Wilaya et de Brézina (située en zone pré désertique) ; nous pouvons considérer les données de la station métrologiques d'EL Bayadh comme référence pour l'Atlas Saharien (Steppique et montagneux) ; c'est le régime climatique de la zone pré Saharienne pour Stitten – Sidi Amar, Krekda et Ghassoul. Quant à El Haoudh, il est situé dans le même bassin versant que la ville d'El Bayadh, à une altitude d'environ 1365m.

Globalement la pluviosité moyenne annuelle de la région d'El Bayadh est relativement faible 326 mm/ an en moyenne.

Les températures estivales sont assez fortes et les températures hivernales très basses induisant ainsi une amplitude thermique très importante (amplitude annuelle moyenne de 35,3°C pour la ville d'El Bayadh)

II.2.1. Vitesse du vent

Le vent provoque des érosions intenses dues aux particules sableuses qu'il transporte et participe ainsi à la formation des dunes ; les vents de sable sont souvent très violents, soufflent en hiver comme au printemps. Ozenda (1983) signale que, indépendamment de l'action mécanique que le vent exerce sur les végétaux dont il déchire les partie aériennes, il accentue l'évaporation qui augmente avec la température, la sécheresse et l'agitation de l'air.

En hiver et au printemps, les vents dominants sont de secteur Ouest à Nord-Ouest, dus aux hautes pressions qui règnent sur les Atlas Tellien et Saharien. En été, ce sont les conditions locales qui prédominent et les vents du Sud -Est deviennent dominants.

La direction dominante des vents correspond en fait à l'orientation générale des reliefs. Ils soufflent avec une vitesse moyenne de 2,63m/s à 3,2m/s, pour la période 2009/20012 avec des seuils maximum pour les mois de février à mai entre 4.9m/s et 4.3m/s ; en automne la vitesse moyenne du vent est relativement faible (1,4 à 2,6 m/s) (figure II-16).

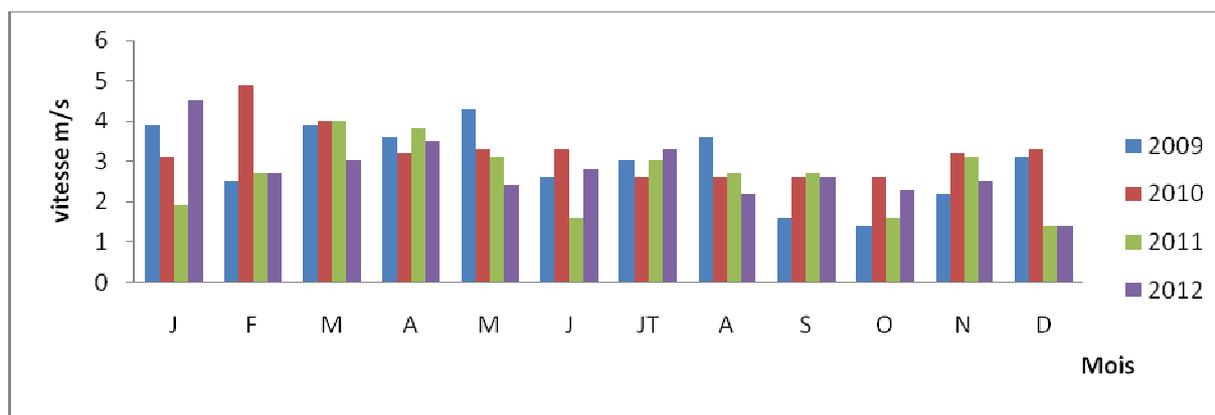


Figure II-16 : Vitesse moyenne mensuelles du vent Wilaya d'EL Bayadh

II.2.2. Gelée

Selon les données de la station de météorologie d’El Bayadh, la moyenne annuelle des jours de gelée pour la période 2009/2012 est respectivement 3.25, 2.91, 5.13 et 7.58 jours/an. L’année 2012 a été marqué par le nombre de jours de gelée le plus important pour le mois de janvier et décembre (25 et 24 jours /mois) de gelée.

La gelée persiste du mois de novembre à avril avec une exception pour le mois d’octobre (2jours/mois de gelée). Des seuils importants en décembre janvier et février, oscillant entre 16 à 25 jours/mois(figure II-17).

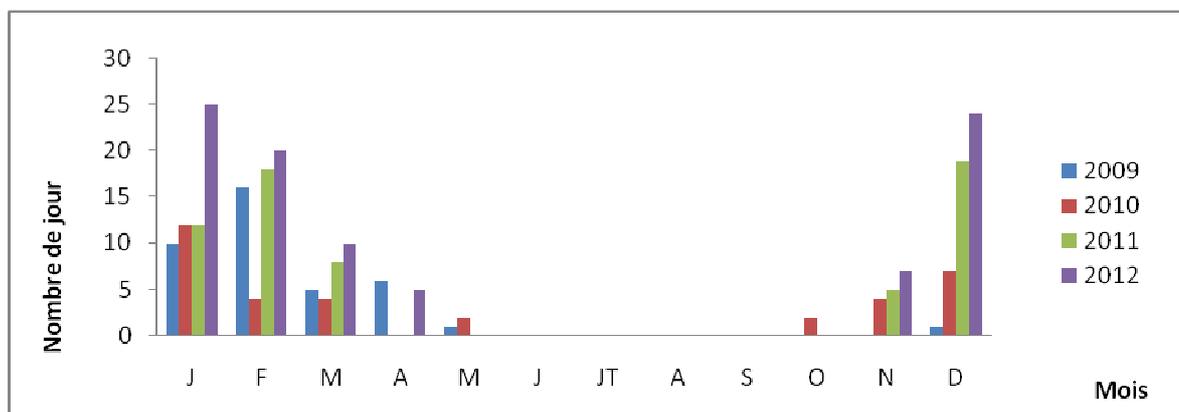


Figure II-17: Nombre de jours de gelée pour chaque mois de 2009 à 2012

La neige tombe en hiver et peut persister plusieurs mois sur les monts de l’atlas Saharien (Djebel Ksel à 2008m d’altitude), contribuant à un apport d’eau appréciable à la végétation .L’eau de neige imbibe progressivement le sol d’une façon continue ; plus la durée d’enneigement du sol persiste, plus le potentiel hydrique du sol augmente.

L'enneigement moyen pour El Bayadh est de 13,1 jours/an, avec une épaisseur de couche neigeuse de 10 cm, exceptionnellement de 40 cm (Annexe II).

II.2. 3. Température minimale (m)

En hiver comme au printemps et en automne les températures sont très basses, avec un seuil minimum pour le mois de février oscillant entre -2.7 et 2 °C, durant la période 2009/2012.

Les températures hivernales sont très basses, induisant une amplitude thermique importante. Les températures minimales atteignent souvent les -06,0°C à -15°C par endroit, comme au niveau de la région du mont de Boudarga¹⁶. Le minimum se situe un peu avant le lever du soleil (Ozenda, 1983) (figure II-18).

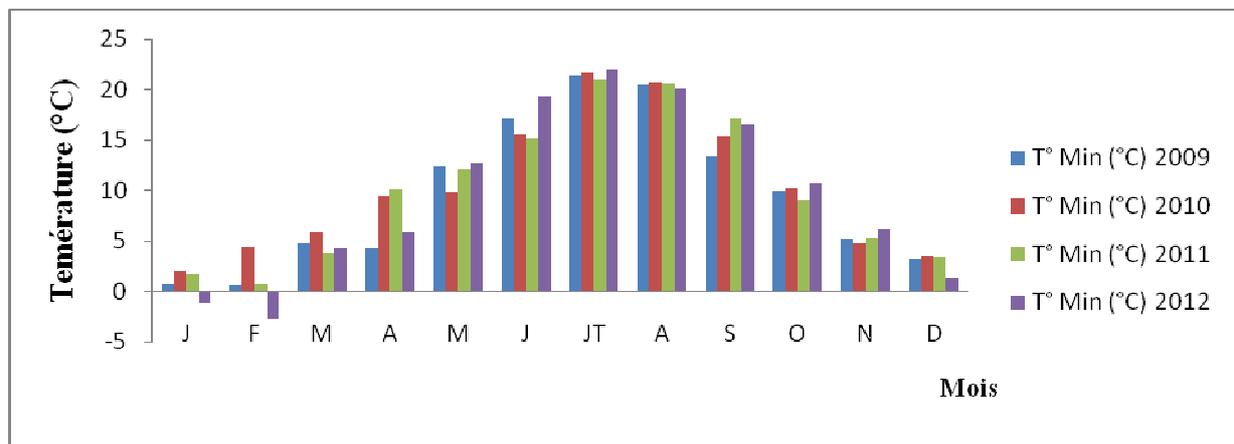


Figure II -18 : Températures minimales de 2009 à2012

II.2.4. Températures maximales (M) :

Les valeurs de la température mensuelle maximale moyenne confirment que juillet est le mois le plus chaud. L'amplitude diurne selon Ozenda (1983) dépasse fréquemment 35°C ; l'écart est caractéristique du climat fortement continental de la steppe.

Les températures estivales sont aussi élevées surtout sous l'effet du Sirocco qui peut alors faire monter les températures au dessus de 38°C (figure II-19).

¹⁶ Direction Météorologique W. El Bayadh

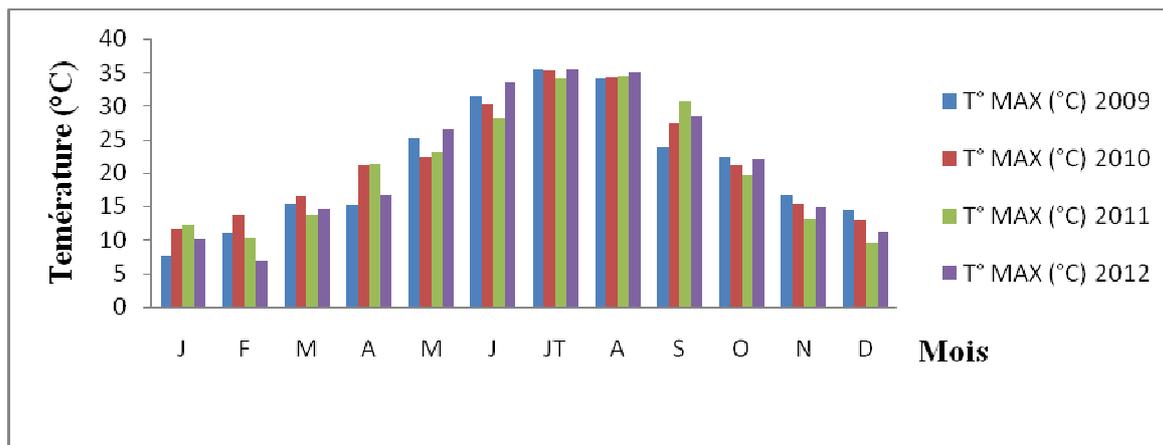


Figure II-19 : Températures maximales de 2009 à 2012

II.2.5. Température minimale absolue(T.m.a. °C)

On remarque que les températures absolues minimales pour l’an 2009 flottent entre -0.6 °C pour le mois de novembre et -3.2°C pour le mois de janvier ; or pour l’an 2010 la T.m.a.°C oscille entre-7.6°C pour le mois de décembre et-0.3 pour février. En février et mars 2011 la T.m.a.°C a atteint -5.4°C avec -2.6 °C pour janvier. Durant l’année 2012 la température minimale absolue était de -8.2°C en février et -1.5°C en novembre. Ces écarts thermiques conditionnent l’adaptation de la flore et la faune (II-20).

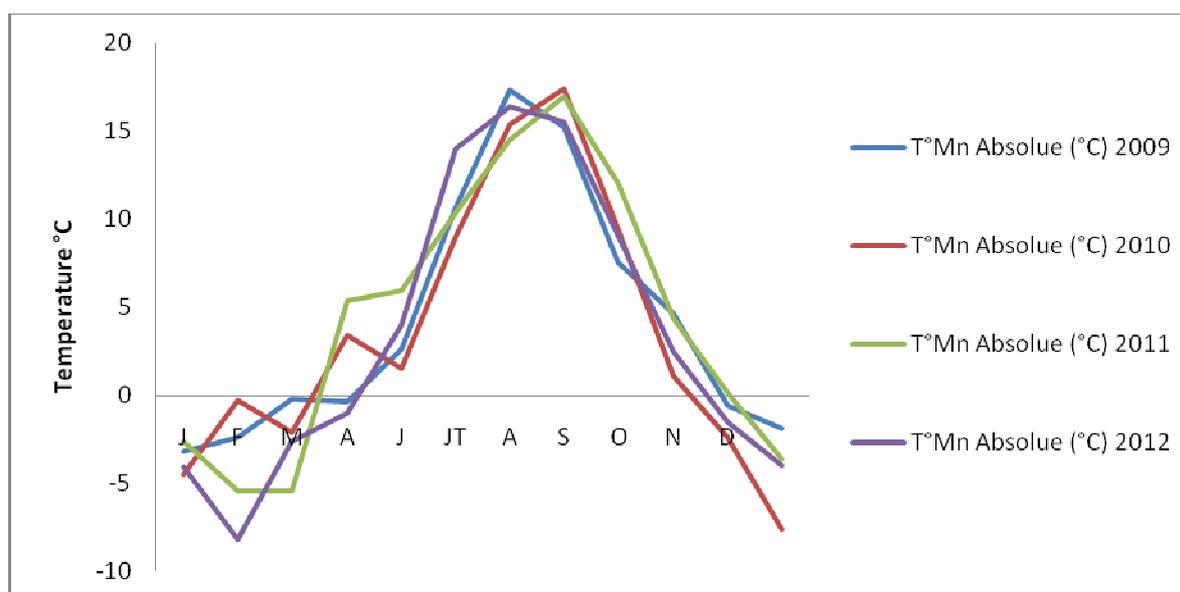


Figure II-20 : Température minimale absolue de 2009 à 2012

La figure II-21 présente la moyenne annuelle des précipitations, la température maximale, minimale et minimale absolue pour la période 2009 à 2012. On remarque que les températures estivales sont assez fortes et les températures hivernales très basses, induisant une amplitude thermique très importante de l'ordre de 35.3 (Djbaili, 1984). Le sol s'échauffe beaucoup plus que l'air pendant la journée avec une température nettement plus forte. Les couches d'air immédiatement voisines sont de 30°C, mais cet échauffement reste superficiel. Les variations thermiques diurnes deviennent insignifiantes à la profondeur de 20 à 25 cm où peuvent vivre de nombreux fousisseurs (Ozenda, 1983).

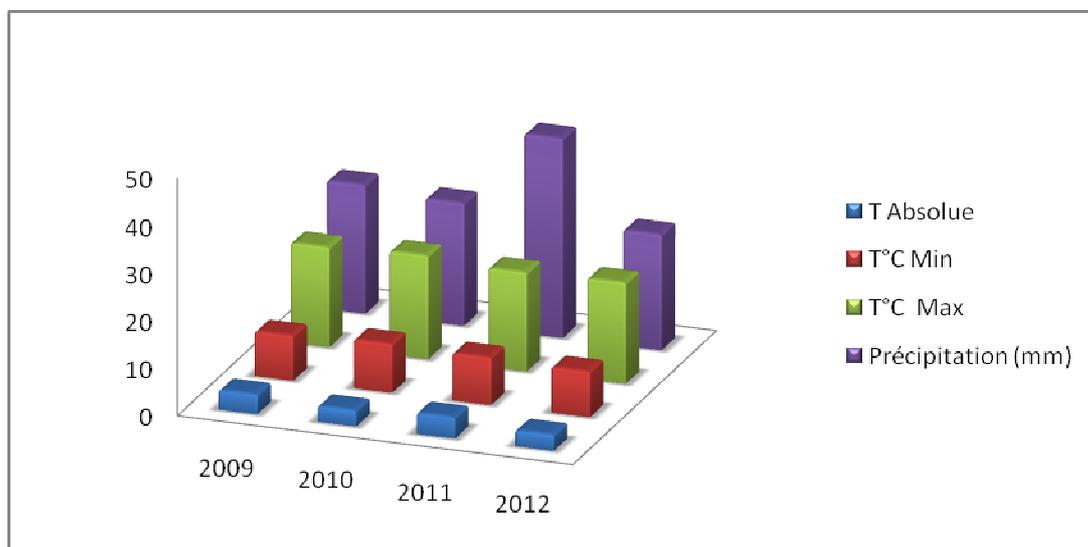


Figure II-21 : Moyenne annuelle des précipitation, la temperature maximale , minimale et la minimale absolue (2009 à 2012)

II.2.6. Precipitations

La moyenne des précipitations mensuelles fait apparaître deux maxima, séparés par une période sèche s'étalant de mai à septembre, juillet étant le mois le plus sec et le plus chaud. Mais de fortes variations interannuelles et une grande irrégularité de la distribution sur l'année sont observées autour de la période 2009/2012. La pluviosité moyenne annuelle dans la région d'El Bayadh est de 358,47 mm pour cette même période (figure II-22, II-23, II-24, II-25 et II-26).

Le nombre de jours d'orages est de l'ordre de 19,8 jours/an pour El Bayadh , ces pluies torrentielles surviennent particulièrement en automne où elles sont très dévastatrices (Annexe I). Le régime pluviométrique est extrêmement variable.

D'une façon générale la pluviosité décroît une fois franchi l'atlas tellien qui constitue un écran qui s'ajoute à l'éloignement de la mer. La barrière des monts de l'atlas Saharien condense l'humidité et conduit à l'apparition des conditions hostiles du Sahara.

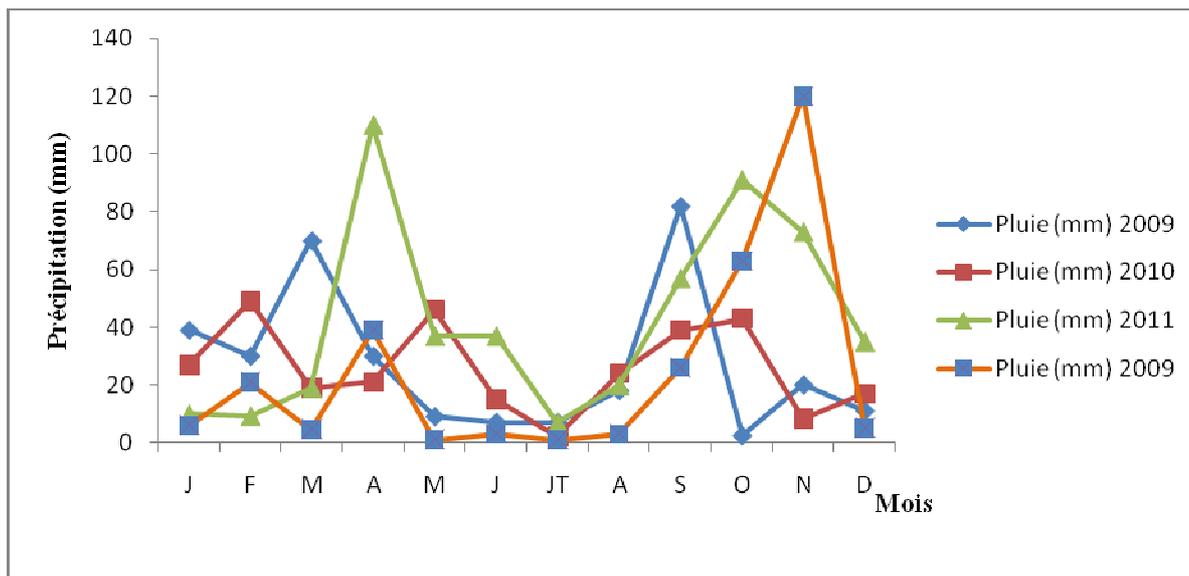


Figure II -22 : Moyenne de précipitation mensuelle de 2009 à 2012

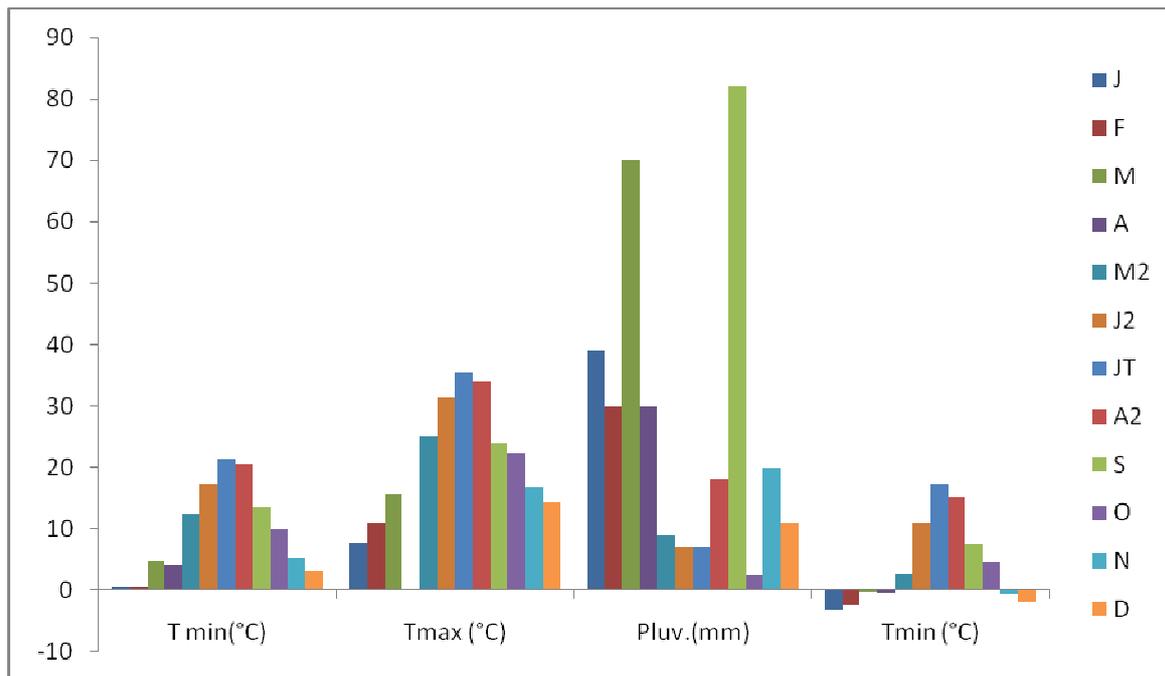


Figure II-23 : Moyenne annuelle des précipitation, la température maximale , minimale et la minimale absolue 2009

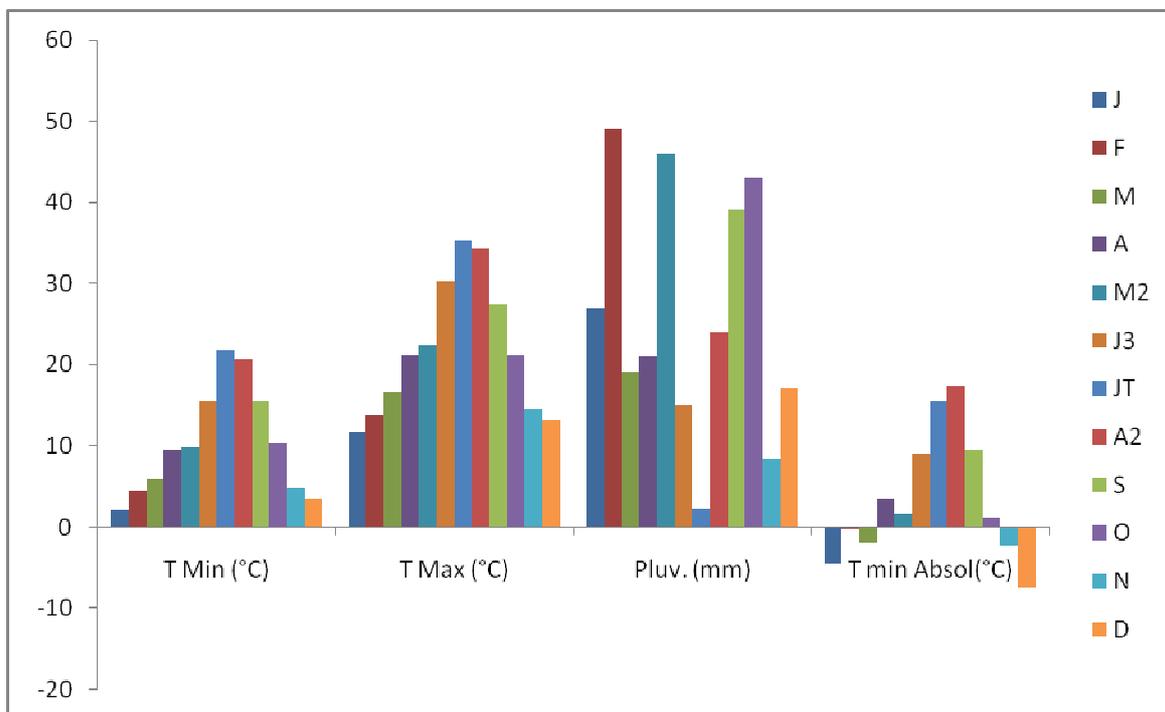


Figure II-24 :Moyenne annuelle des précipitation, la température maximale , minimale et la minimale absolue 2010

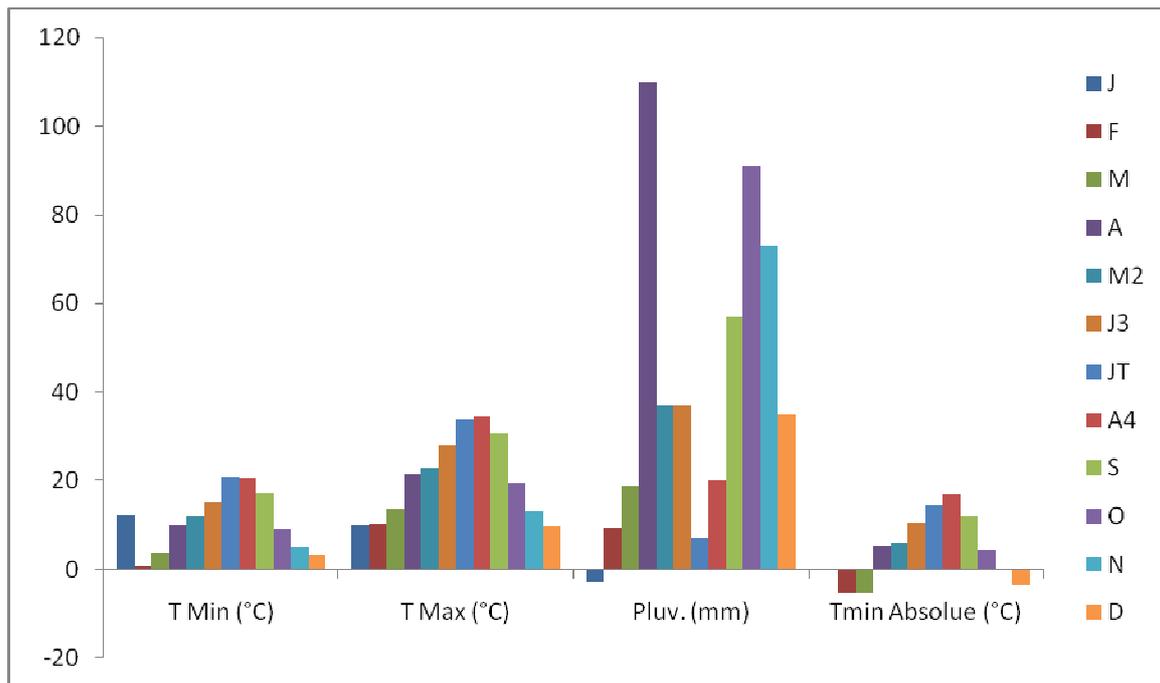


Figure II-25 : Moyenne annuelle des précipitation, la température maximale , minimale et la minimale absolue 2011

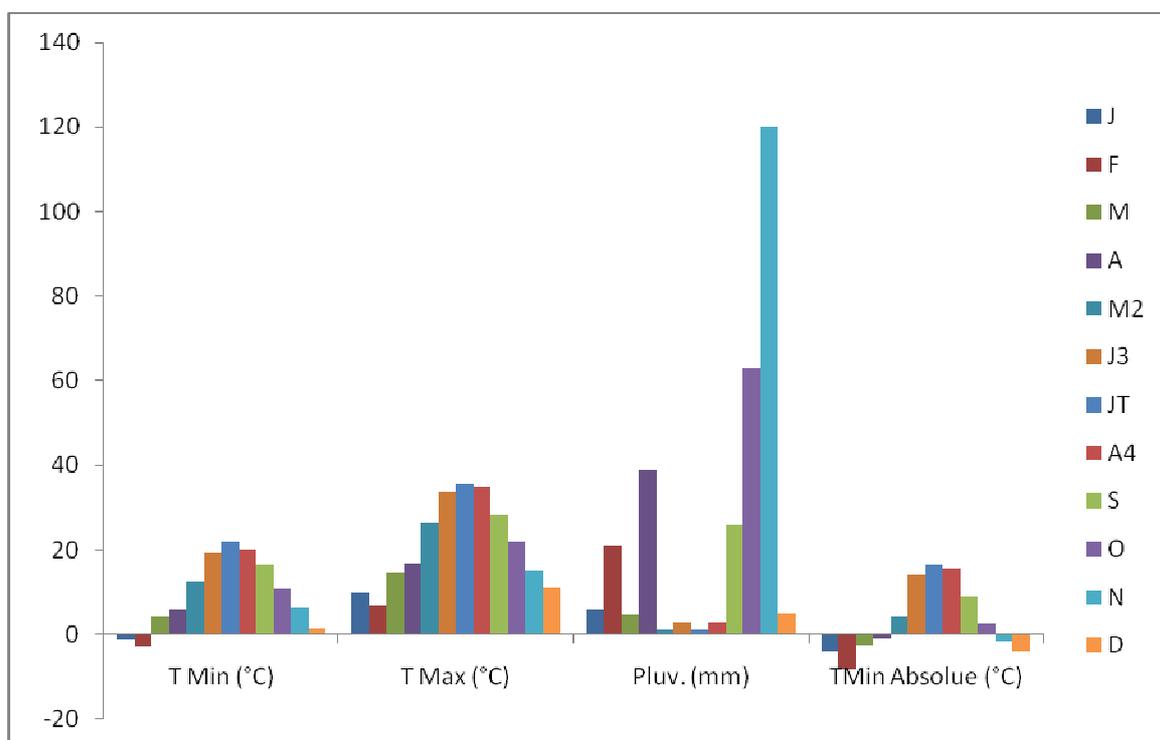
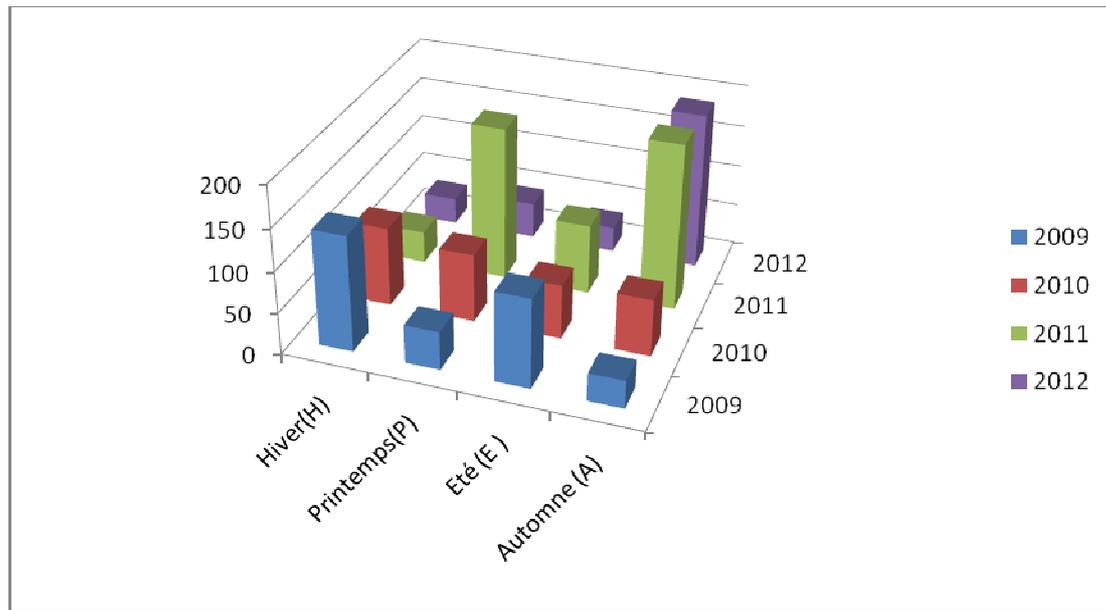


Figure II-26: Moyenne annuelle des précipitation, la température maximale , minimale et la minimale absolue 2012

II.2.7. Régime pluviométrique saisonnier



**Figure II-27 : régime pluviométrique saisonnier d'El Bayadh
pour la période 2009 à 2012**

D'après la figure I-27 le régime saisonnier est très variable d'une année à l'autre. Le régime pluviométrique saisonnier est de type HEPA pour 2009 est de type HPAE pour 2010 alors que cette variation saisonnière est respectivement de type APEH et APHE pour l'année 2011 et 2012.

Notre zone d'étude a une répartition annuelle des pluies à deux maxima situés à des saisons différents hiver /été, hiver / printemps et automne/printemps. En effet les facteurs déterminants température et eau sont présents au même moment pour ce régime.

Ozenda (1983) confirme que l'aridité exprimée par « le rapport pluie/ température subit au cours de l'année des variations beaucoup moins brutales.

II.2.8. Indice de la continentalité thermique

Selon la méthode de Debrach , il est possible de distinguer quatre types de climat (tableauII-5):

- Climat insulaire : $M-m < 15^{\circ}C$
- Climat littoral : $15^{\circ}C < M-m < 25^{\circ}C$
- Climat semi-continentale : $25^{\circ}C < M-m < 35^{\circ}C$
- Climat continentale : $M-m > 35^{\circ}C$

Tableau II-5 : Indice de la continentalité thermique de 2009 à 2012

L'année	M (°C)	m (°C)	M-m (°C)	Continentalité thermique
2009	35.5	0.6	34.9	Climat semi-continental
2010	35.3	2.0	33.3	Climat semi-continental
2011	34.5	0.7	33.8	Climat semi-continental
2012	35.5	-2.7	38.2	Climat continental

II.2.9. Quotient pluviothermique

L'amplitude thermique étant un facteur important de la répartition de la végétation, Emberger(1932) a proposé l'indice quotient pluviothermique (Q₂) pour les climats méditerranéens. Cet indice prend en compte est relié à la moyenne M des maxima du mois le plus chaud (exprimée en Kelvin), à la moyenne m des minima du mois le plus froid en Kelvin) et aux précipitations totales annuelles « P ». L'interprétation du quotient pluviothermique se fait à l'aide du climagramme d'Emberger

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre, Emberger a bien précisé que, sur le diagramme, les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé. Le quotient Q₂ a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = [2000 P / M^2 - m^2]$$

M + m / 2 : température moyenne mensuelle

M – m : amplitude thermique

La valeur (M + m)/2 du fait de son expression en degrés Kelvin varie peu : Stewart l'assimile à une constante k = 3,43, d'où le quotient : Q₂ = 3,43 x [P / M - m] où M et m s'expriment en degré Celsius, Emberger a mentionné qu'un climat ne peut être caractérisé si à la valeur de Q₂ ne vient pas s'ajouter celle de « m ». Les stations météorologiques de même Q₂ peuvent être différenciées par la valeur de « m ». Le paramètre Q₂ nous a permis de localiser nos stations météorologiques sur le climagramme d'Emberger et d'exploiter son zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation (tableau II-6).

Tableau II-6: Quotient pluviothermique d'El Bayadh pour la période 2009 à 2012

L'année	P(mm)	M (°K)	m (°K)	Q2	m (°C)	Étage bioclimatique
2009	325.4	308.5	273.6	32.82	0.6	Semi aride supérieur à hiver frais
2010	310.6	308.3	275.0	31.99	2.0	Semi aride inférieur à hiver frais
2011	505	307.4	273.7	51.39	0.7	Semi aride supérieur à hiver frais
2012	292.7	308.5	270.3	26.28	-2.7	Aride moyen à hiver froid

II.2.10. Indice d'aridité de Martonne:

Les indices climatiques sont des rapports chiffrés qui permettent de caractériser le climat général d'une région. Cet indice est obtenu à partir des précipitations P (annuelles ou mensuelles) et de la température moyenne T par les relations suivantes :

$$\text{Indice d'aridité annuel (IA)} = P / (T + 10)$$

$$\text{Indice d'aridité mensuel (IM)} = 12 \times P / (T + 10)$$

Le tableau II-7 donne l'indice d'aridité de la zone pour la période 2009-2012.

Tableau II-7 : Indice d'aridité De Martonne pour la période 2009 à 2012

L'année	Pluviométrie (mm)	Température (moy. T°C)	Indice d'aridité
2009	325.4	21.05	10.48
2010	310.6	21.76	09.80
2011	505	20.86	16.36
2012	292.7	21.26	13.76

On remarque dans le tableau II-7 que, dans la classification de De Martone, l'année 2010 est marquée par un type de climat aride avec un indice d'aridité compris entre 5 à 10 alors que les autres années (2009, 2011 et 2012) témoignent d'un type de climat semi aride avec un indice compris entre 10 et 20.

II.2.11. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :

Les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen permettent de comparer l'évolution des températures et des précipitations et de comparer facilement les climats d'endroits différents. D'après Bagnouls et Gaussen un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne mensuelle ($P < 2.T$) Les courbes des diagrammes ombrothermiques montrent que la durée de l'été sec et chaud varie selon les stations.

La région d'étude a des températures minimales comprises entre $- 0,3$ et $2,12$ ° C. Le Houérou *et al.* ; 2001 considèrent que les steppes algériennes sont encadrées par les isothermes « m » - 2 et 6 ° C, et que M-m varie peu et reste sensiblement égal à 32,6-37,9°C. Ces amplitudes thermales expliquent l'absence de certaines espèces (figures II-28, II-29, II-30, et II-31).

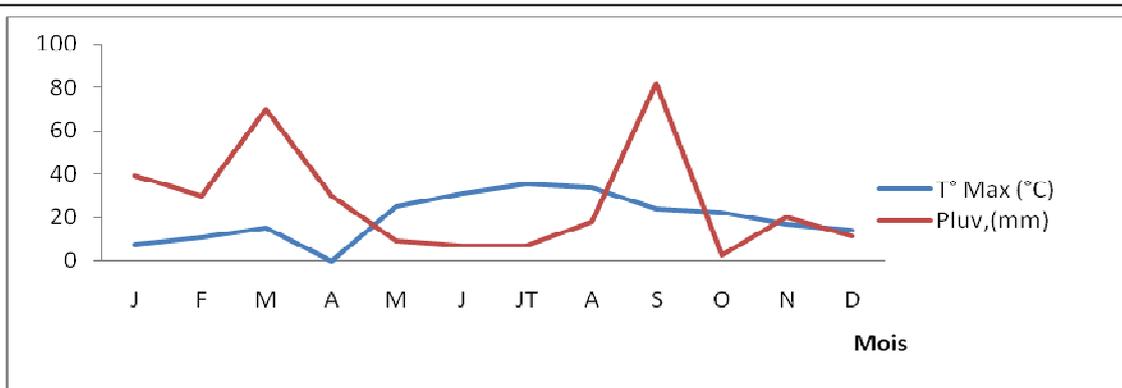


Figure II-28 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'El Bayadh en 2009

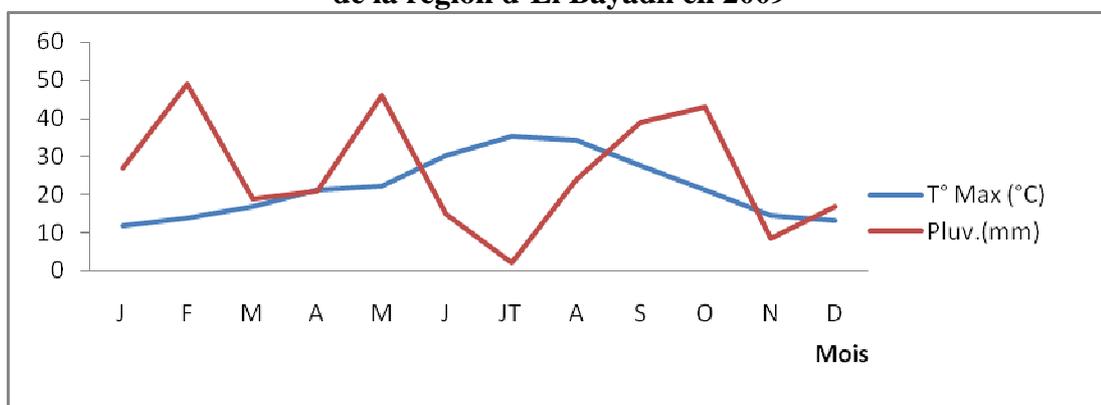


Figure II-29 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'El Bayadh en 2010

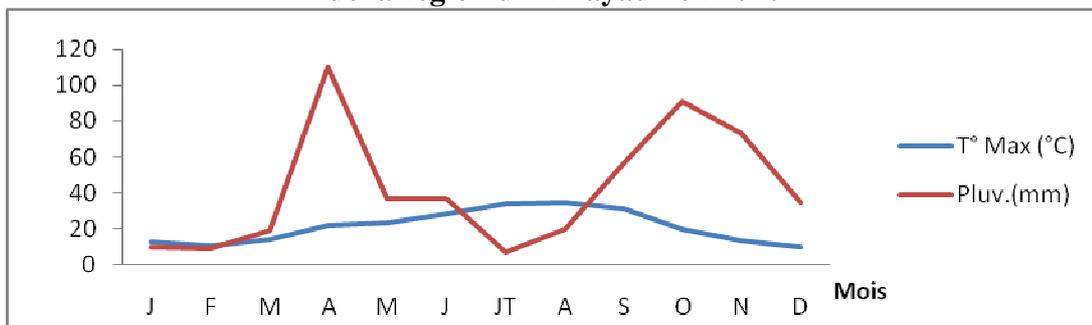


Figure II-30 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'El Bayadh en 2011

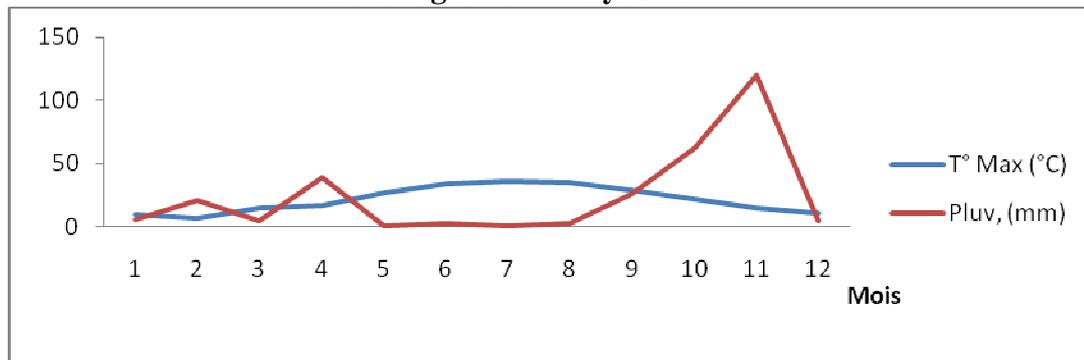


Figure II-31: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'El Bayadh en 2012

Pour affiner la caractérisation du climat, on peut utiliser un diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen comportant trois courbes correspondant à la précipitation « P », à « P = 2T » et « P = 3T ».

Ce type de représentation permet de mettre en évidence les périodes sèches (1) et les périodes à tendances sèches (2).

Les mois à tendance sèche sont ceux dont la précipitation est comprise entre deux et trois fois la température mensuelle.

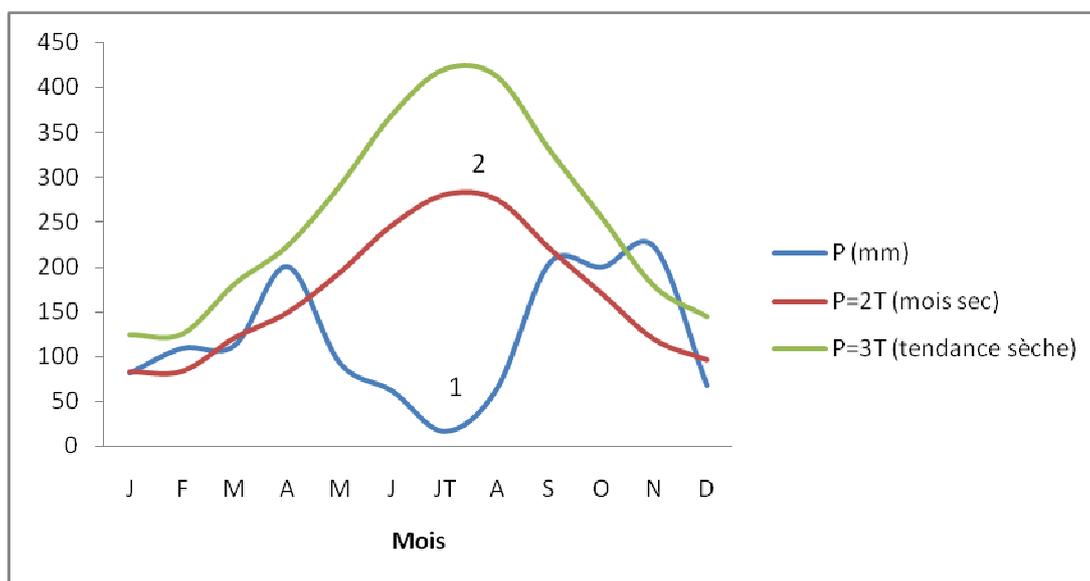


Figure II-32 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen à trois courbes période 2009 à 2012

Partie III

*CARACTÉRISATION
DU MILIEU
BIOLOGIQUE
Etude expérimentale*

III.1. Collecte de la végétation

L'objectif de cette partie de travail est la collecte des données sur terrain sur la flore et sur la végétation.

III.1.1. Méthodologie d'approche préconisée

Durant l'année 2009/2010, dix (10) stations ont été mises en place et étudiées au niveau de l'interface région steppique-région Saharienne ; l'emplacement des stations a été choisi selon deux transects, Nord – Sud et Est – Ouest.

Le choix des sites a été établi à partir des travaux préalables réalisés à l'Université de Mascara (Haddouche, *et al.*; 2007 ; Benouaz, 2001 ; Regagba, 1999 et Mederbal, 1992) en prenant en considération la géomorphologie, la physionomie de la végétation, le climat et le sol (figure III-1).

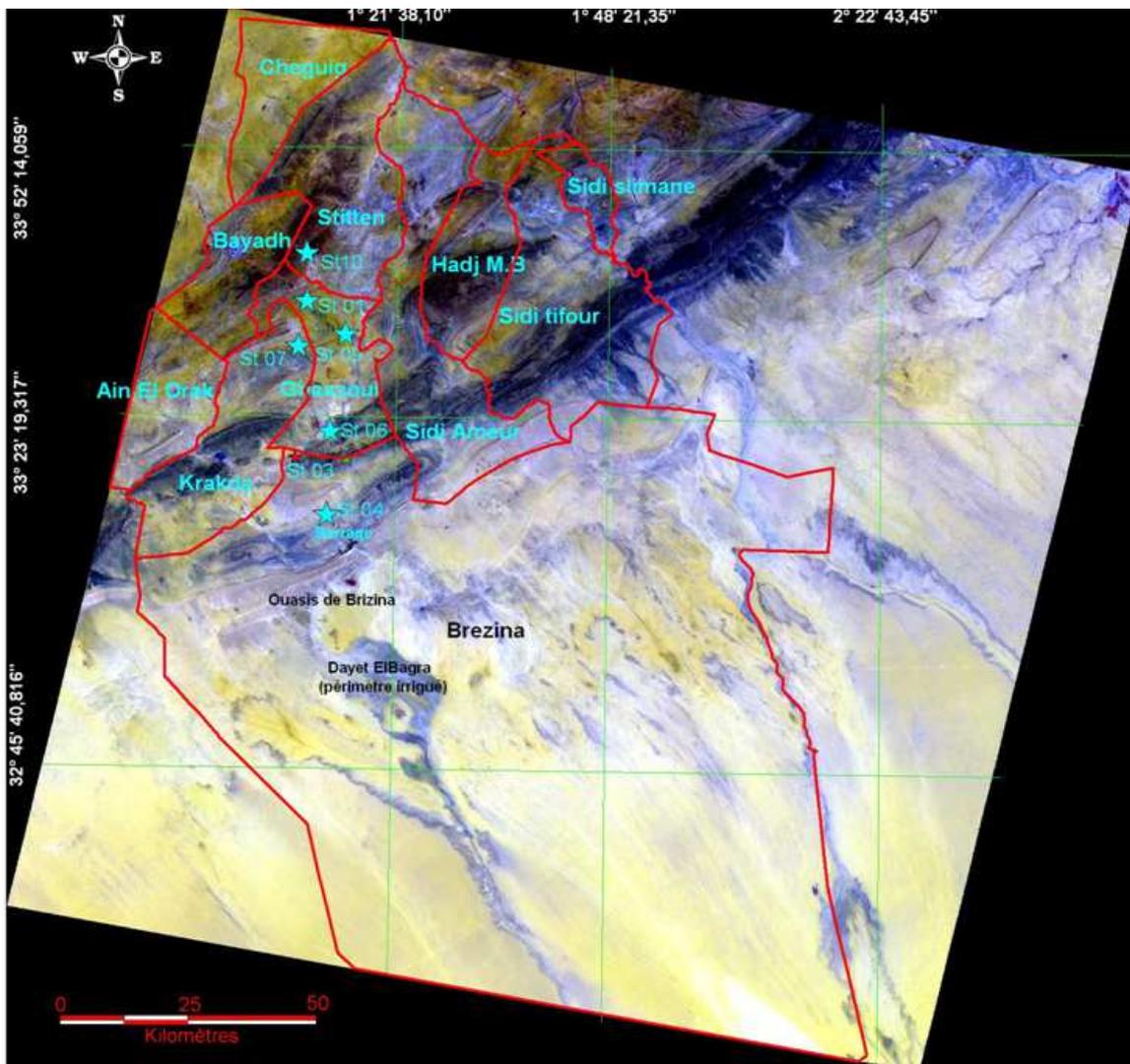


Figure III -1: Localisation des stations d'observation (Mederbal *et al.*, 2011)

En outre, chacune de ces stations a fait l'objet d'observations sur le terrain en référence au modèle de fiches (Annexe III) conforme aux besoins des objectifs de développement et de valorisation des ressources naturelles.

Des échantillons de plantes ont été collectés durant l'année 2009/2010, au cours de cinq sorties multidisciplinaires à différentes périodes du cycle biologique du végétal pour des fins d'identification dans les 10 stations. Nous avons utilisé les clés de détermination classique flore de Quézel et Santa (1962) et la flore d'Ozenda (1983) pour l'identification.

III.1.2. Résultats et discussion

-Un herbier traditionnel ainsi qu'un herbier électronique (Annexe III). Comportant une centaine d'espèces végétales identifiées et répertoriées ; nous avons précisé le nom vernaculaire et le nom scientifique de chaque espèce végétale et nous les avons réparties en 34 familles et 84 genres.

- La flore des régions arides et semi arides semble réduite ; mais elle présente un intérêt capital du fait de sa capacité d'adaptation à ce milieu.

Elle est très variée et presque toutes les familles sont représentées (Ozenda, 1983). La figure III-2 représente le nombre d'espèces répertoriées par famille dans nos stations d'étude.

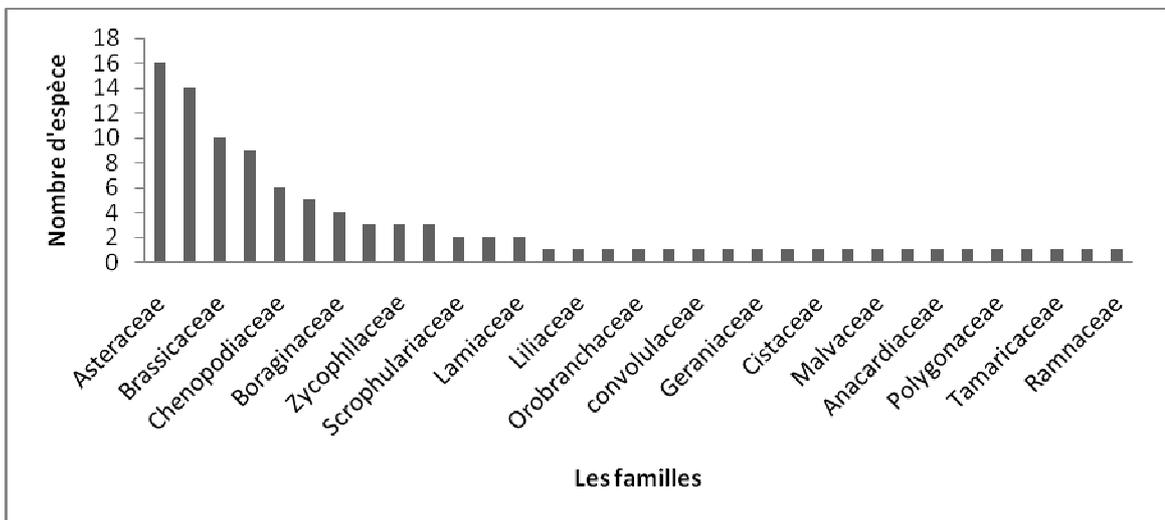


Figure III -2 : Nombre d'espèces répertoriées par famille

- Nos résultats montrent que la famille Asteraceae est représentée par 16 espèces avec un taux de 47.05%, les Poaceae par 14 espèces avec 41.17%, la famille Brassicaceae par 10 espèces avec 29.41%, et la famille Fabaceae 9 espèces avec 26.47%. Les Chenopodaceae et les Fabiaceae représentent respectivement 17.64% et 26.47%. Les zygophyllacées généralement endémiques sont représentées dans notre zone d'étude uniquement par trois espèces soit un taux de 8.82%, identique à celui de la famille Euphorbiaceae (tableau III -1).

Walter 1973 in Ozenda (1983) rapporte qu'il existe une proportionnalité entre la pluviosité et la quantité de matière végétale au moins dans la région présaharienne où la végétation est assez régulièrement répartie. La température est favorable si il y'a suffisamment d'eau. D'une façon générale lorsque les conditions de chaleur, de lumière et d'eau sont réunies, le tapis végétal est régulier.

- La recherche du coefficient générique nous renseigne sur la composition par genre, via le rapport du nombre de genres au nombre d'espèces (Ozenda, 1983). Il est très élevé dans notre zone d'étude avec une valeur de **84%**. Ce résultat concorde avec les travaux de Diels (1917), Maire (1936) et Corti(1942), qui ont montré que la valeur élevée de ce coefficient est caractéristique des flores appauvries des régions arides et diminue avec le nombre d'espèces.

- Le classement générique établi par ordre décroissant du nombre d'espèces par genre est représenté par la figure III -3

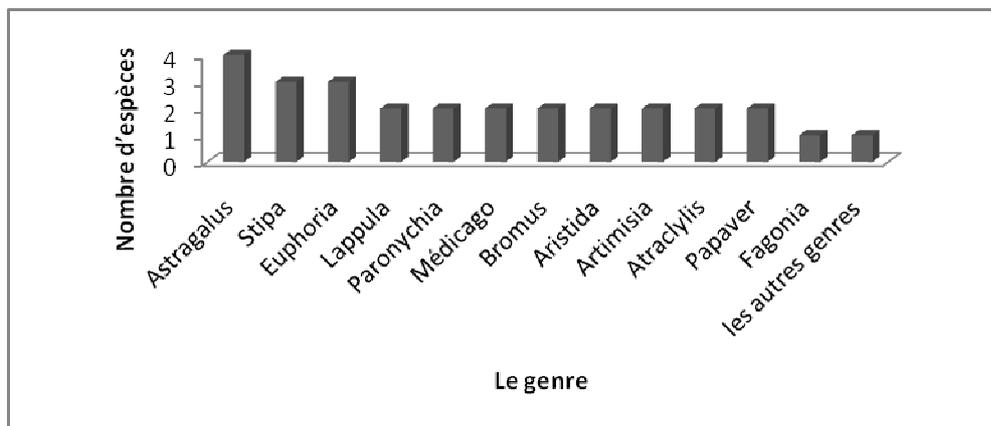


Figure III -3 : Classement générique

Tableau III -1 : Taux de genres et d'espèces par familles

	Familles	Genre	%	Espèce	%
01	Ranunculaceae	1	2.94	1	2.94
02	Poaceae	9	26.47	14	41.17
03	Liliaceae	1	2.94	1	2.94
04	Amaranthaceae	1	2.94	1	2.94
05	Asteraceae	14	41.17	16	47.05
06	Scrophulariaceae	2	5.88	2	5.88
07	Chenopodiaceae	5	14.70	6	17.64
09	Fabaceae	5	14.70	9	26.47
10	Apiaceae	3	08.82	3	08.82
11	Brassicaceae	10	29.41	10	29.41
12	Orobanchaceae	1	2.94	1	2.94
13	Capparidaceae	1	2.94	1	2.94
14	Convolvulaceae	1	2.94	1	2.94
15	Cynomoriaceae	1	2.94	1	2.94
16	Boraginaceae	3	8.82	4	11.76
17	Geraniaceae	1	2.94	1	2.94
18	Euphorbiaceae	1	2.94	3	8.82
19	Zycophyllaceae	3	8.82	3	8.82
20	Rubiaceae	1	2.94	1	2.94
21	Papaveraceae	2	5.88	3	8.82
22	Caryophyllaceae	5	14.70	5	14.70
23	Cistaceae	1	2.94	1	2.94
24	Plumbaginaceae	1	2.94	1	2.94
25	Malvaceae	1	2.94	1	2.94
26	Laminaceae	2	5.88	2	5.88
27	Apocinaceae	1	2.94	1	2.94
28	Anacardiaceae	1	2.94	1	2.94
29	Plantaginiaceae	1	2.94	1	2.94
30	Polygonaceae	1	2.94	1	2.94
31	Dipsacaceae	1	2.94	1	2.94
32	Tamaricaceae	1	2.94	1	2.94
33	Tymelaceae	1	2.94	1	2.94
34	Ramnaceae	1	2.94	1	2.94
	Total	84		100	

- L'étude de la composition floristique repose sur l'établissement des listes des espèces ; ce sont les relevés phytosociologiques (Benabadji et *al.*; 2001). La couverture végétale totale est estimée par la méthode de Braun-Blanquet avec les indices d'abondance-dominance pour quelques stations qui ont été prospectées. Les symboles de notation suivants sont utilisés : R : espèce rare, + : couverture < 5%, 1 : couverture entre 5% et 10%, 2 : couverture entre 11% et 25%, 3 : couverture entre 26 et 50%, 4 : couverture entre 51% et 75%, 5 : couverture >75%.

Deux inventaires floristiques ont été établis pour l'année 2009 au cours du mois de mai et le mois d'octobre mais il est difficile de réaliser une interprétation sur seulement deux relevés. On note qu'il y a des espèces qui sont présentes ou absentes selon la période mai ou octobre (figure III-4) ; l'année 2009 a été marquée par un régime saisonnier de type HEPA avec une température moyenne de 35°C.

La note de 3 est considérée comme une note de dominance bien que les notes 1 à 2 représentent l'abondance des espèces répertoriées qui recouvrent le sol par plages uniquement avec une répartition irrégulière. La couverture < 5% avec la note (+) représente les espèces sporadiques qui n'ont pas un grand impact. *Atriplex canescens* et *Pinus halepensis* sont des espèces introduites, la première dans le but de lutter contre l'ensablement et la désertification, la deuxième dans le cadre du barrage vert. Dans notre étude on remarque que chaque station possède un cortège floristique propre.

Le genre *Astragalus* est représenté par trois espèces dans la station d'El Haoudh. *Stipa parviflora* est présente dans la station du barrage vert et à El Haoudh où on retrouve *Stipa barbata* et *Stipa tinassissima* ; on note l'absence des trois espèces dans la station de Ghassoul et la présence des espèces *Chenopodium foliosum* et *Chenopodium vulvaria*. (Tableaux III -2, III -3, III -4, et III - 5).

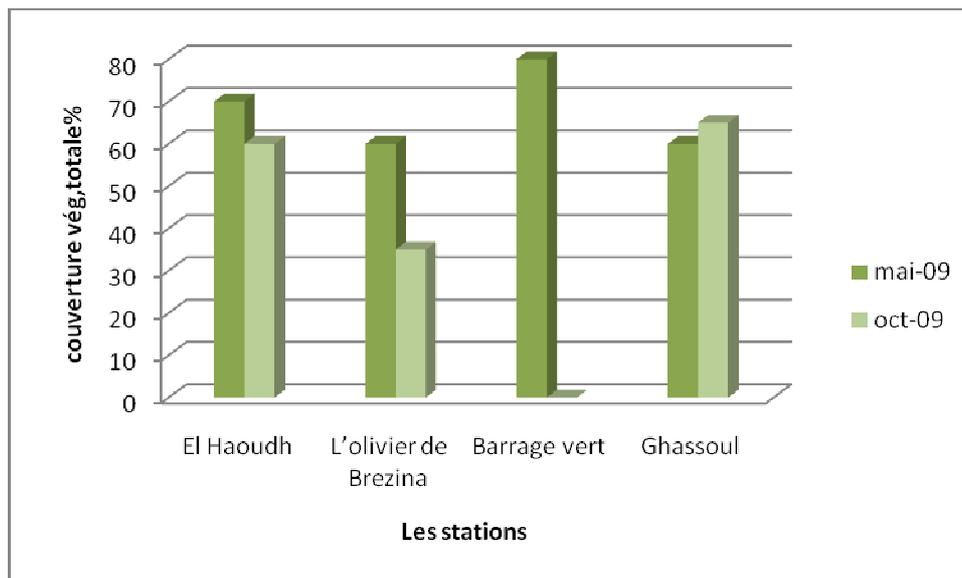


Figure III -4 : Couverture végétale totale pour la période mai et octobre 2009

Tableau III -2 : Couverture végétale totale de la station El Haoudh

	Les espèces	Couvert vég. T. 70% Mai 209	Couvert vég. T. 60% octobre 2009
01	<i>Anacyclus cytopidioides</i>	+	
02	<i>Artemisia herba -alba</i>	+	+
03	<i>Arthrophytum schmittianum</i>		+
04	<i>Astragalus armatus</i>	+	+
05	<i>Astragalus cruciatus</i>		+
06	<i>Astragalus reinii</i>	1	
07	<i>Brachyaplum dichotomum</i>		+
08	<i>Cardus meonanthus</i>	2	+
09	<i>Carthamus lanatus</i>	+	+
10	<i>Ctenopsis pectinella</i>	+	
11	<i>Cutandia dichotoma</i>	+	
12	<i>Echinops spinosus</i>	+	+
13	<i>Echium pycnanthum</i>	+	+
14	<i>Erodium malacoides</i>	+	
15	<i>Eruca vesicaria</i>	3	2
16	<i>Euphorbia calyptrata</i>	+	+

17	<i>Glaucium corniculatum</i>	+	
18	<i>Helianthemum merbeckii</i>	+	+
19	<i>Herniaria hirsuta</i>	+	
20	<i>Lappula sp.</i>	+	
21	<i>Launaea resedifolia</i>	+	+
22	<i>Lygeum spartum</i>	+	+
23	<i>Malva parviflora</i>		+
24	<i>Medicago littoralis</i>	+	+
25	<i>Muricaria prostrata</i>	+	
26	<i>Noaea mucronata</i>	+	1
27	<i>Ononis natrix</i>	+	+
28	<i>Papaver hybridum</i>	+	
29	<i>Paronychia argentea</i>	+	
30	<i>Peganum harmala</i>	1	
31	<i>Plantago albicans</i>	+	+
32	<i>Reseda decursiva</i>	+	
33	<i>Scabiosa cf crenata</i>	+	
34	<i>Scorzonera undulta</i>	+	+
35	<i>Stipa barbata</i>	1	+
36	<i>Stipa parviflora</i>	1	+
37	<i>Stipa tenacissima</i>	+	+
38	<i>Telephium imperati</i>		+
39	<i>Thymelaea microphylla</i>	+	+

Tableau III -3 : Couverture végétale totale de la station Ghassoul

	Les espèces	Couvert vég. T. 60 % Mai 2009	Couvert vég. T. 65% octobre 2009
01	<i>Adonis aestivalis</i>	+	
02	<i>Amaranthus angustifolius</i>	+	+
03	<i>Atriplex canescens</i>	3	3
04	<i>Brassica fruticulosa</i>	+	

05	<i>Cardus meoanthus</i>	+	+
06	<i>Carthamus lanatus</i>	+	+
07	<i>Chenopodium foliosum</i>	+	
08	<i>Chenopodium vulvaria</i>		+
09	<i>Cistanche phelipaea</i>	+	
10	<i>Convolvulus supinus</i>	+	+
11	<i>Cutandia dichotoma</i>	1	
12	<i>Cynodon sp.</i>	1	+
13	<i>Echinops spinosus</i>	+	+
14	<i>Echium pycnanthum</i>	+	
15	<i>Enarthrocarpus clavatus</i>	2	
16	<i>Erodium malacoides</i>	+	+
17	<i>Eruca vesicaria</i>	+	+
18	<i>Hordeum sp.</i>	1	2
19	<i>Launaea rosedifolia</i>	+	
20	<i>Lygeum spartum</i>	+	+
21	<i>Malva parviflora</i>	+	
22	<i>Medicago littoralis</i>	+	
23	<i>Medicago minima</i>	+	
24	<i>Melilotus sulcata</i>	+	
25	<i>Moricandia arvensis</i>	+	
26	<i>Noaea mucronata</i>	+	
27	<i>Peganum harmala</i>	1	+
28	<i>Rapistrum rugosum</i>	+	
29	<i>Retama retam</i>	+	
30	<i>Tymelaea microphylla</i>	+	
31	<i>Triticum sp.</i>	+	
32	<i>Vicia monantha</i>	+	
33	<i>Xanthium spinosum</i>	+	
34	<i>Ziziphus lotus</i>	+	+
35	<i>Diploaxis sp.</i>		+

Tableau III -4 : Couverture végétale totale de la station barrage vert

	Les espèces	Couvert vég. T. 75 à 80 % Mai 2009	Couvert vég. T. assez sèche octobre 2009
01	<i>Galium setaceum</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
02	<i>Glaucium corniculatum</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
03	<i>Salvia sclarea</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
04	<i>Stipa parviflora</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
05	<i>Bromus rubens</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
06	<i>Papaver hybridum</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
07	<i>Echinops sp.</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
08	<i>Eryngium sp.</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
09	<i>Ferula sp.</i>	Non estime très dense	Très sèche non estimable
10	<i>Pinus halepensis</i>	3	3

Tableau III-5 : Couverture végétale totale de la station l'olivier de Brezina

	Les espèces	Couvert vég. T. 60% Mai 2009	Couvert vég. T. 35% octobre 2009
01	<i>Convolvulus supins</i>	1	
02	<i>Herniaria hirsuta</i>	+	+
03	<i>Resda decursiva</i>	+	
04	<i>Limonium sinuatum</i>	3	+
05	<i>Paronychia argentea</i>	+	
06	<i>Silene secundiflora</i>	+	
07	<i>Notoceras bicorne</i>	+	
08	<i>Silene cf muscipula</i>	+	
09	<i>Paronychia arabica</i>	+	
10	<i>Eryngium ilicifolium</i>	1	+
11	<i>Fagona bruguieri</i>	+	
12	<i>Ferula vesveritensis</i>	+	+

13	<i>Cynomorium cocchieum</i>	+	
14	<i>Stipa barbata</i>	+	+
15	<i>Euphorbia calytrata</i>	+	
16	<i>Arthrophytum schmittianum</i>	+	
17	<i>Arthrophytum scoparium</i>	2	2
18	<i>Lygeum spartum</i>	+	+
19	<i>Stipa tenacissima</i>		+
20	<i>Artemisia herba- alba</i>		+
21	<i>Eruca vesivaria</i>	+	+
22	<i>Helianthemum confertum</i>		+
23	<i>Helianthemum lippii</i>		+
24	<i>Schismus barbatus</i>	+	+
25	<i>Medicago sp.</i>		+
26	<i>Resda villosa</i>	+	

III.1.3. Conclusion

Nos observations du terrain et les analyses de laboratoire ont abouti à un inventaire floristique exhaustif concernant les stations choisies. Du point de vue écologique, nos résultats montrent que notre région d'étude, même si elle est sérieusement exposée au phénomène de la désertification, présente des potentialités pastorales à ne pas négliger avec une végétation naturelle et introduite.

III.2. Approche analytique LFA (Landscape Function Analysis)

La connaissance des potentialités naturelles de chaque milieu écologique et sa caractérisation en tenant compte de l'ensemble des indicateurs, véritables éléments de diagnostic constituent des étapes nécessaires à toute évaluation des potentialités naturelles.

Il s'agit d'une approche LFA (Landscape Function Analysis) ; c'est un ensemble de procédures de surveillance et d'évaluation du paysage qui repose sur les expériences déjà acquises dans le domaine de l'aménagement des ressources naturelles décrites par Tongway et *al.*; (2004).

LFA est une méthode pour analyser le fonctionnement des paysages arides et semi arides largement appliquée en Australie (Lau et *al.*; 2008), en Iran (Rezaei et *al.*; 2006) et en Espagne (Tongway et *al.*; 2006).

Le principe de la méthodologie est simple ; on considère le biosystème dans un stade stationnaire, c'est-à-dire sans régression ni progression, si les éléments nécessaires à son fonctionnement ne décroissent pas et n'augmentent pas.

Ces éléments sont pris au sens large (eau, température, nutriments,...). Si on fait une analyse de ce biosystème on doit observer des indices des pertes ou des gains de ces éléments. Les auteurs définissent dans le système des aires d'arrivée (patches) et de départ (inter patches) de ces éléments.

Si on arrive à définir et à identifier ces deux types de surfaces, il est possible d'établir un bilan, au moins qualitatif, de l'état évolutif de l'écosystème. Pour cela on doit définir les éléments de paysage à introduire dans l'inventaire, leurs relations mutuelles, le flux établi (processus et fonctions) (Maestre et *al.*; 2006).

Comme outil de travail on établit un transects au sein duquel on identifie les différents types de patches présents. La méthode considère comme patches toutes les surfaces qui contiennent des éléments qui représentent des arrivées et des transports des sources de végétation. Ces éléments sont, par exemple, les individus végétaux (ils contiennent des nutriments qui vont rester dans le système), les résidus de matière organique, les surfaces favorables à l'infiltration (recharge d'eau) et les résidus des animaux.

Par contre on identifie comme inter-patches les surfaces avec des indices de départ de nutriments (surfaces d'érosion, sol nu, accumulation des cailloux, perte des particules fines,...).

Par la méthode du transects on peut faire un bilan simple des segments de patches et inter-patches. Ce bilan peut être répété annuellement et permettre ainsi de suivre l'évolution du biosystème (James, et *al.*; 2003).

Nous proposons une procédure d'évaluation de la fonction des parcours, constituée de trois composantes ; un cadre conceptuel, une méthodologie de terrain et une interprétation du cadre. Le cadre conceptuel traite les parcours comme des systèmes qui fonctionnent en termes d'économie de ressources vitales. La méthodologie de terrain évalue rapidement les indicateurs sur le terrain à l'échelle du parcours pour fournir et structurer l'information et satisfaire les besoins du cadre conceptuel.

Le cadre d'interprétation introduit un processus pour identifier les seuils critiques de la fonction du parcours (paysage) et fournit ainsi un état de transition du paysage basé sur une fonction d'évaluation. Le LFA est l'étape initiale d'acquisition de données et de recueil d'informations à l'échelle du versant. Les données sont collectées et comptabilisés selon le protocole décrit dans le manuel des méthodes techniques (Tongway et *al.*, 2004, Tongway et *al.*;1996, Tongway et *al.*, 1995). Plusieurs indices d'organisation du paysage sont calculés à partir de ces données et des tableaux sont fournis avec le manuel.

Dans notre approche nous avons opté pour deux approches, l'étude de la qualité des sols et l'évaluation des indices de la stabilité, de l'infiltration et du cycle des éléments nutritifs de la surface du sol.

L'interprétation des données collectées a été réalisée au niveau du laboratoire de botanique (Universitat Politècnica de Catalunya : DEAB, ESAB. Espagne) sous la direction des Professeurs Josa Ramon, Mas, M.T, Verdú, AMC.

III.2.1. Evaluation de la qualité des sols

Notre objectif est de tester des procédures simples permettant d'évaluer rapidement la qualité des sols pour conserver ses fonctions, maintenir l'actuelle couverture végétale et surveiller les effets des transformations liées à l'action anthropique dans la mesure où la surveillance périodique est un indicateur qui nous renseigne sur les processus de dégradation.

III.2.1.1. Méthodologie d'approche préconisée

La méthodologie appliquée est celle proposée par Tongway et Hindley 2004 (figure III -5) pour analyser les fonctions écohydrologiques des différents éléments du paysage (Landscape Function Analysis, LFA).

C'est une procédure de suivi qui utilise des indicateurs rapides, simples et faciles pour évaluer la fonction biogéochimique du paysage à l'échelle du versant.

Dans cette méthodologie, il s'agit d'organiser les processus qui se produisent dans le sol, suivant une séquence de transport, d'utilisation et le recyclage des rares ressources présentes (eau, matière organique et propagules) alors que les ressources disparues du système sont évaluées à la fois comme une perte d'import et comme une perte provenant du feedback. Ainsi donc, un transect tracé sur un versant devient une séquence de tronçons successifs de :

- arrivées et transport de ressources pour la végétation (soit taches de végétation, soit accumulations de matière organique,...) ;
- des points de perte de ressources (érosion, sol nu, accumulation de cailloux et perte des particules fines).

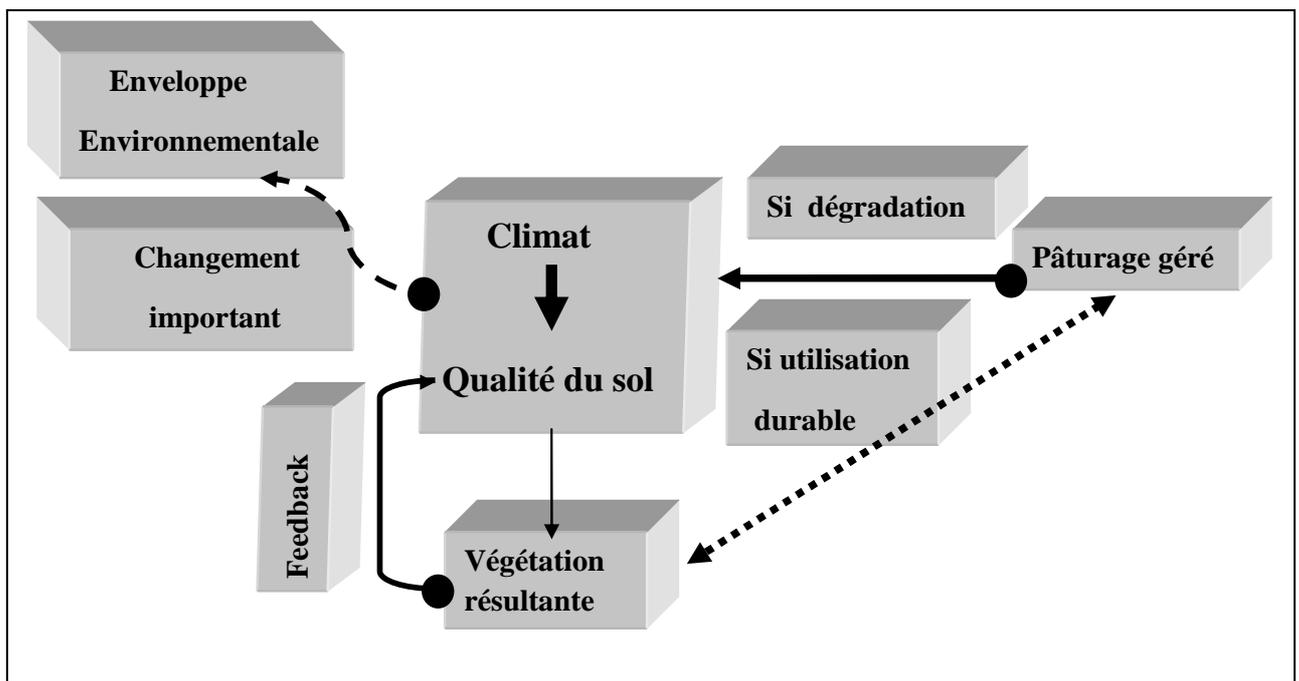


Figure III-5 : Principe méthodologique

A partir de cette approche, on peut analyser chaque transects selon la perspective d'un bilan de ressources : longueur des segments d'« arrivées + transport » – longueur des segments de « pertes »

Du point de vue méthodologique, nous avons choisi des transects représentatifs de 25 m, dans le sens de la pente. Deux types d'unités sont essentiels :

- a. Des patches (soit taches de végétation, branche, ou accumulation de matière organique) ;
- b. Des espaces inter patches (sol nu, sable, accumulation caillouteuses ou affleurements rocheux).

Nous avons réalisé le travail terrain sur un transects Nord -Sud qui commence au nord de la station d'El Haoudh (coordonnées : 1° 13' 21,2'' E ; 33° 55'30,4'' N) et un transects dans la station de Ghassoul (coordonnées : 1° 15' 36,6'' E ; 33° 09'10,0'' N).

Pour la station de Krekda , nous avons réalisé deux transects très proches l'un de l'autre afin de mettre en évidence la variabilité latérale entre transects parallèles très proches (moins de 100m).

III.2.1.2. Résultats

Nous avons regroupé les résultats préliminaires en deux niveaux : une approche générale, à grande échelle, pour essayer de tirer des informations sur la distribution spatiale des types de couverts ; une approche plutôt locale pour essayer d'obtenir des informations sur la variabilité locale de ces couverts et son origine (variabilité spatiale dans une même unité de paysage, utilisation de l'espace,...).

La Figure III -6 montre la proportion des indicateurs de couverture retenus que nous avons mesurés sur chaque transects local. Le complémentaire à 100% correspond à la couverture « sol nu ». Ainsi, ce type de couvert est majoritaire dans tous les transects observés.

Ce graphique nous montre clairement la tendance décroissante de l'ensemble des couvertures « patches de végétation + accumulation de litière » vers le Sud, évolution déjà visible lors d'un déplacement Nord – Sud.

À l'échelle kilométrique nous avons pu constater qu'il est possible de mesurer cette évolution spatiale. Cette possibilité est le point de départ de l'indicateur que nous nous proposons de développer. Nous avons aussi constaté une importante variabilité spatiale à l'échelle locale. Dans un premier cas nous avons vu l'effet de la position topographique comme indicateur de la fertilité du sol dans un megatransect -Nord – Sud

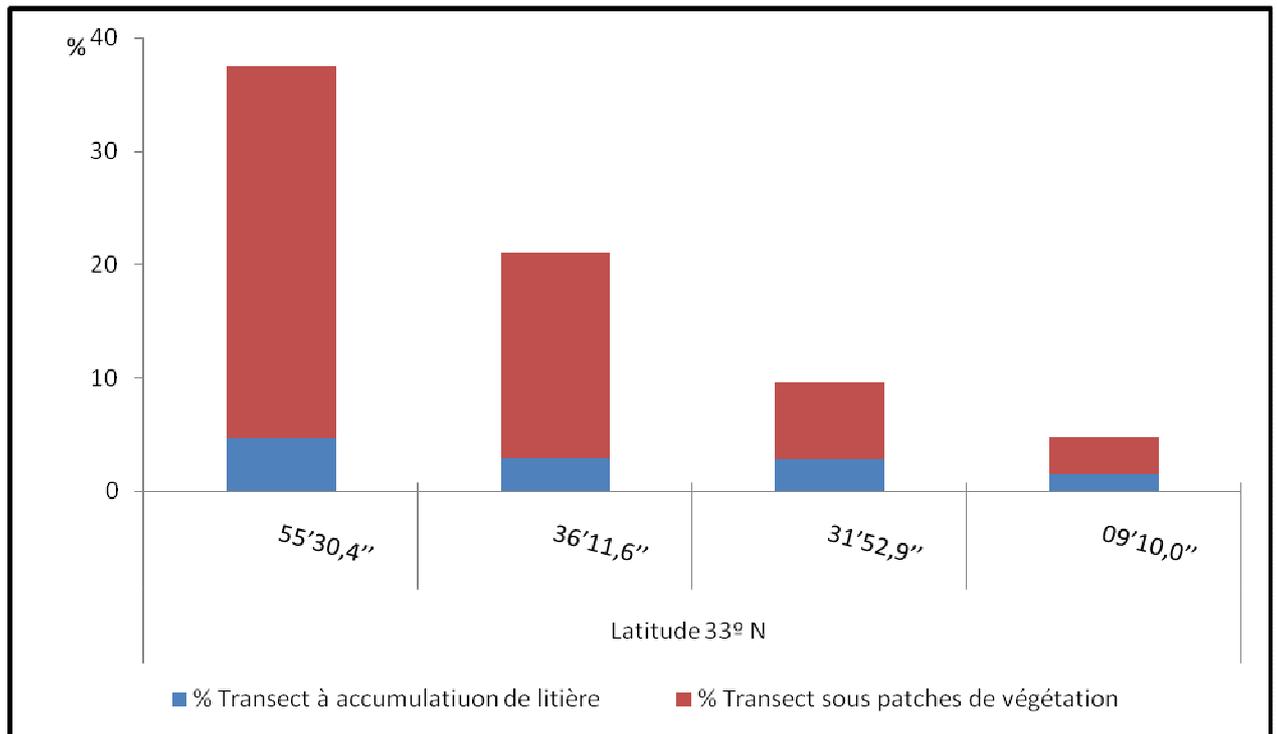


Figure III-6 : Evolution latitudinale du type de couverture

La photo III-1, montre l’aspect de la zone pour la station de Ghassoul. Le sommet du versant est constitué d’une falaise de grès plus au moins calcaire au pied de laquelle on peut observer du sable remontant sous l’action du vent ; le pied du versant est limité par un oued.



**Photo III -1 : Transects de la station de Ghassoul :
Falaise, Sable remontant et Revers de pente.**

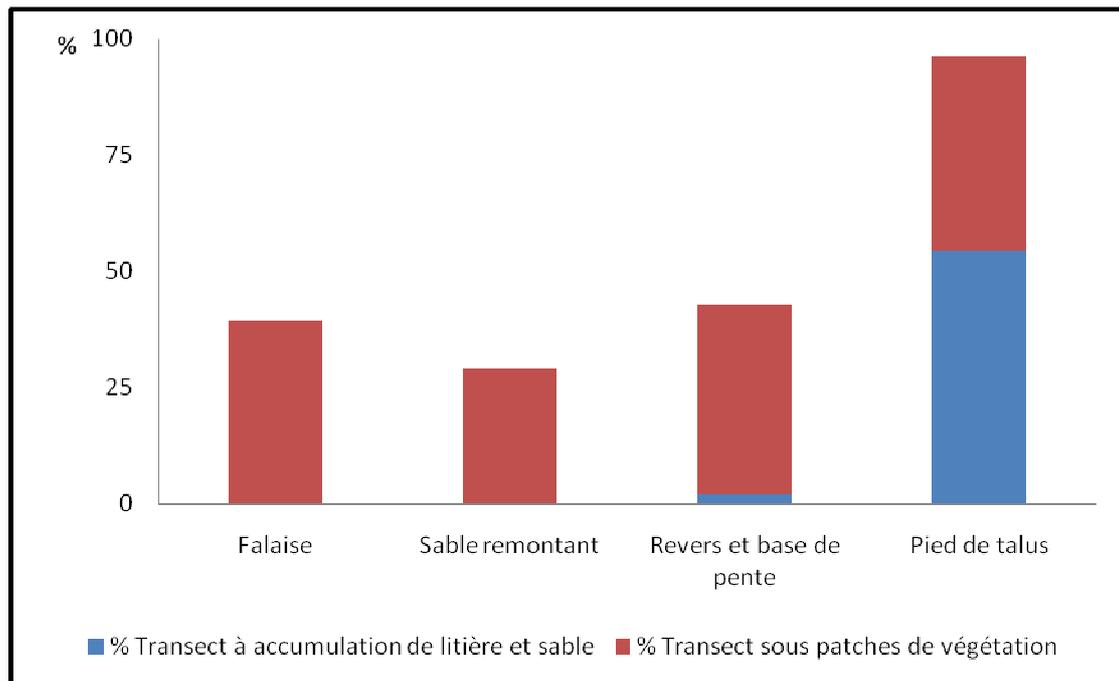


Figure III-7 : Distribution des couvertures « litière plus sable » et « taches de végétation » dans les différentes parties du transects.

Les résultats sont présentés dans la Figure III -7. Le transects a été divisé verticalement en quatre parties: a) sommet et falaise, b) versant sous sable remontant, c) revers et bas de pente et d) pied de talus et oued.

Dans la falaise on a observé la présence d'individus de *S. tenacissima*, et *Aristida pungens*. Dans la partie pied de talus il y a une plantation d'*Atriplex canescens* introduite quatre ans auparavant.

L'analyse du tapis végétal montre qu'il y a une couverture globale de 60-65% avec la présence de 37 espèces (Josa et al.; 2011) *Noaea mucronata*, *Peganum harmala*, et *Thymelaea microphylla*.

Du point de vue de la végétation la station peut être caractérisée comme une steppe (Quezel, 1999), qui présente un gradient de variation du facies sableux (falaise) au facies steppe à Salsolacées, dans ce cas avec *A. canescens* (pied de talus).

D'après les résultats, il y a une forte variabilité spatiale associée à la position géomorphologique du transect. Ce transect montre aussi l'importance évidente des teneurs en eau du sol (réserve hydrique) pour le développement de la végétation dans la région steppique.

Finalement nous avons constaté dans la station Krekda la possibilité d'existence d'autres sources de variabilité, liées à l'utilisation de l'espace, au niveau des Dayas. Les résultats sont présentés dans la figure III -8 on voit effectivement cette variabilité à Krekda qui représente une zone assez dégradée.

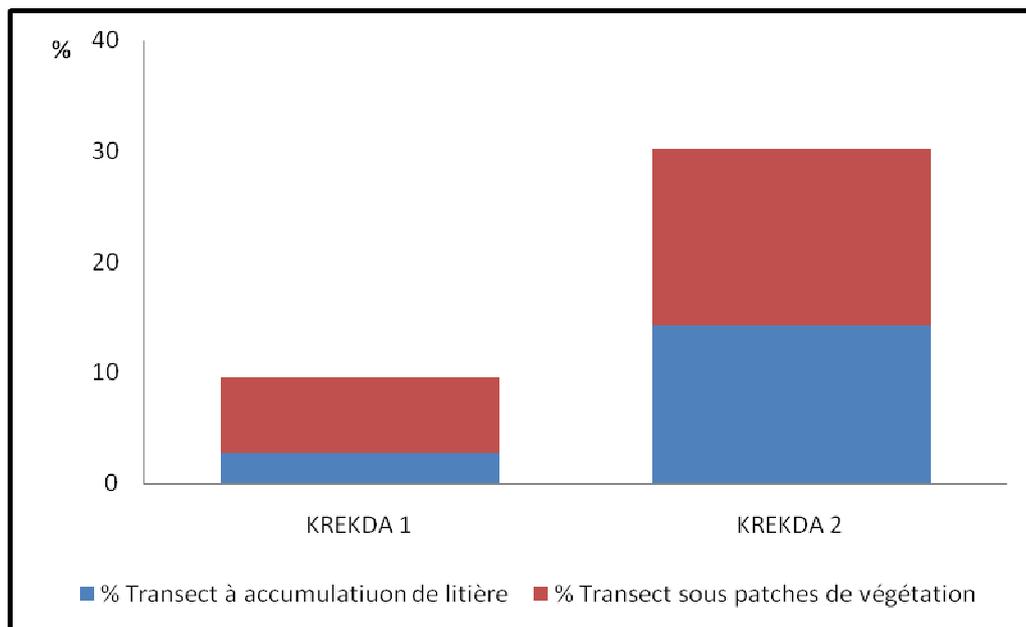


Figure III 8 : Distribution des couvertures « litière » et « taches de végétation » dans les deux transects de Krekda.

III.2.1.3. Discussion

Nos travaux de terrain nous ont permis d'observer l'existence de variations importantes des indicateurs de milieu ; dans certains cas nous avons mis en évidence des règles qu'expliquent ces différences. La couverture végétale des régions arides s'organise en taches de végétation, discontinues et entourées des surfaces de sol nu. Cette organisation de la couverture végétale est associée à la morphologie de la couche superficielle de surface des sols (two-phase mosaic soils).

La végétation se développe là où la couche de la surface du sol est plus meuble, moins compactée et plus riche en matière organique.

L'espace entre taches de végétation apparaît comme un sol nu soumis à des conditions encore plus arides (insolation supérieure, présence de croûte saline,...).

L'organisation de la couverture végétale et des couches supérieures est importante pour comprendre le fonctionnement écohydrologique des unités du paysage. Le sol nu, par ses caractéristiques hydrodynamiques, contribue positivement à l'alimentation hydrique des plantes se développant dans les taches de végétation.

En même temps, cette organisation conditionne la distribution spatiale des éléments nutritifs, ce qui fait que pour étudier la fertilité naturelle de ces sols on doit prendre en compte la variabilité latérale et spatiale.

Lors de l'étude du transects Nord-Sud nous avons constaté une évolution de la distribution des taches de végétation et du sol nu, Au Nord de la région steppique (El Bayadh) la couverture végétale est presque continue et les surfaces de sol nu sont presque isolées. Par contre au Sud de la région steppique (Brézina pré Saharienne) cette distribution est à inversée, l'espace étant dominé par le sol nu. L'application de ces critères écohydrologiques pour l'échantillonnage et la caractérisation de la fertilité des sols de la steppe nous semble très intéressante.

III.2.2. Analyse de la surface de sol (SSA)

L'objectif est d'évaluer les indices de stabilité, d'infiltration et le cycle des éléments nutritifs par la méthode Soil Surface Analysis (SSA)

III.2.2.1. Méthodologie d'approche préconisée et description du site

Pour l'application de cette méthode, les données ont été recueillies dans deux stations représentant un large éventail de *Stipa tenacissima* dans les mises en défens, loin des parcours de pâturage et des pistes d'accès ; l'une (Stiten1, photos III-2) en bon état de développement, l'autre (Stiten 2 photo III-3) présentant un degré de dégradation, localisée au GPS aux coordonnées N 33°49'39.1" et E 001°13'38.5", à une altitude de 1370 m.

Le climat est semi aride inférieur à hiver frais avec un régime pluviométrique saisonnier de type HPAE et une moyenne annuelle des précipitations de 310.6mm pour l'année 2010. La température mensuelle pour la même année varie de 2°C mois de janvier à 35.5°C au mois de juillet.

Chaque petite surface du sol peut contribuer au soutien de l'écosystème. Nous avons ainsi délimité des parcelles de 10 m x 10 m que nous avons analysées par la distribution des patches et inter-patches afin d'identifier chaque touffe d'alpha et la surface du sol qui l'entoure.

Le recueil des informations a été réalisé selon une orientation linéaire respectant le sens des pentes maximales, la direction du vent dominant et la direction principale de l'écoulement des ressources. Dans cet environnement, les caractéristiques des touffes, leur taille, leur forme et leur distribution dans l'espace jouent un rôle clé dans la génération des flux de l'eau et des sédiments nécessaires au bon fonctionnement de l'écosystème (Puigdefabregas et *al.*; 1999).

Nous avons également récolté des données complémentaires, notamment le taux de croissance de la végétation que nous avons suivi au cours d'une année. Les mesures ont été réalisées sur le niveau de croissance des tiges et sur le niveau de croissance des touffes au cours de janvier, février et décembre 2010 (photos III-4 et III-5).

Des échantillons du sol ont été prélevés pour des analyses physico-chimiques et microbiologiques au laboratoire.

Les 11 variables qui définissent l'état du sol sont classées dans des combinaisons différentes pour procéder au calcul de trois indices de qualité du sol : **la stabilité** définie comme la résistance à l'érosion, **l'infiltration** définie par le ruissellement et **le cycle des éléments nutritifs**, représentés sur une échelle de 0 à 100 (figure III -9), selon Tongway et *al.*; 2004.

Dans la figure III -9 la stabilité est représentée par les indicateurs 1, 3a, 4, 5, 6, 7, 9 et 10, l'infiltration par les indicateurs 2, 3b, 8, 9, 10 et 11. Le cycle des éléments nutritifs par les indicateurs 2, 3b, 4, et 8.

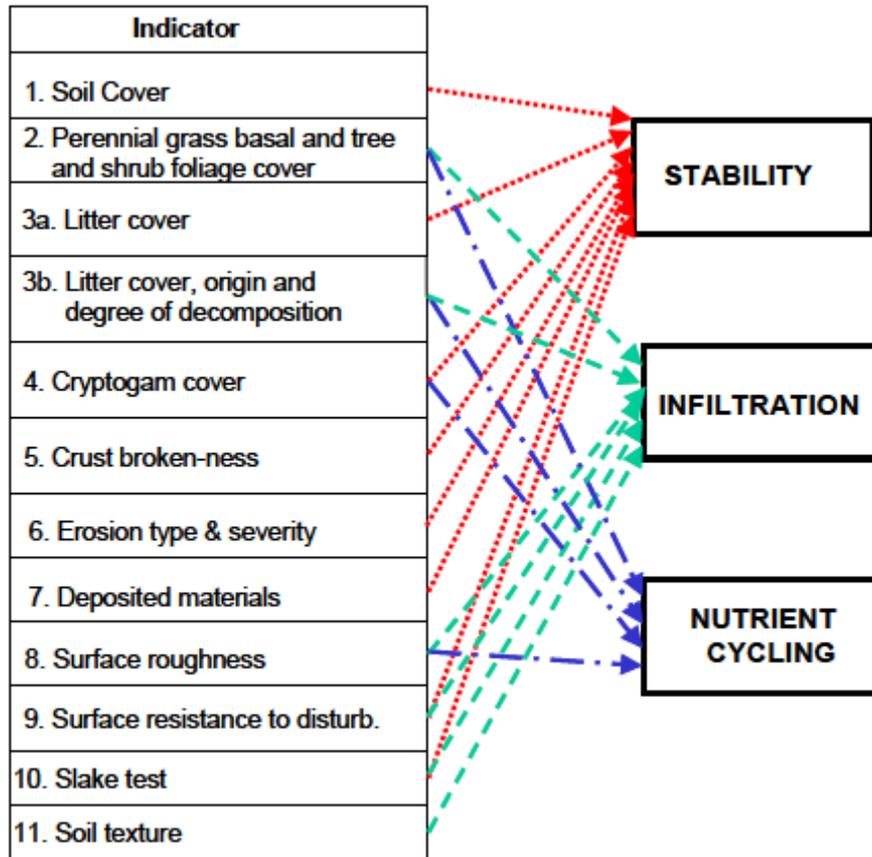


Figure III -9 : Répartition des indicateurs pour les trois indices de la stabilité, de l'infiltration et du cycle des éléments nutritifs (Tongway et al.; 2004)



Photo III-2 : *Stipa tenacissima* en bon état (Stiten1)

Photo III-3 : *Stipa tenacissima* en mauvais état (Stiten2)



Photos III-4 et III-5 : Illustration des patchs et les mesures effectués

Pour une bonne fiabilité statistique et afin de pouvoir tester et comparer les moyennes et les variances, les mesures sont répétées cinq fois pour chaque patch et inter- patch. Ces données sont la base du calcul des indices qui est effectué automatiquement pour tout les indices après la saisie des collectes.

Les valeurs de ces indices présentées en pourcentage sont inversement proportionnelles à la baisse de l'état d'une fonction de l'écosystème (Ludwig *et al.*; 1997).

Les 11 variables sont calculées avec une méthodologie d'évaluation de la surface du sol, de la nature, du sens et l'apport de chaque élément de surface et une procédure de classification très détaillée permettant de reporter les paramètres dans le manuel de manière simple et accessible et de fournir des images utiles pour classer chaque indicateur (Mc Donald *et al.*; 1990).

Les variables sont représentées par :

1. La couverture de la végétation qui a pour objectif d'évaluer le couvert végétal pérenne d'une hauteur de 0.5m, ainsi que les roches de taille supérieure à 2cm et tout matériau boisés de diamètre supérieur à 1cm ainsi que tout autre objet immobile qui intercepte et réduit la vitesse des gouttes de pluie et peut atténuer leur effet et leur impact sur la surface du sol en la rendant moins érosive.
2. Couverture basale des espèces herbacées et des arbustes : cet indicateur évalue la contribution de la biomasse souterraine de la végétation pérenne au processus du cycle des éléments nutritifs et d'infiltration.

3. Couverture de litière qui évalue la quantité, l'origine et le degré de décomposition de la litière végétale. C'est la couverture des plantes annuelles herbacées éphémères (feuilles détachées, tiges, branches, fruits, fumier).
4. Couverture de la croûte biologique formée par des cryptogames visibles sur la surface du sol ; leur présence indique la stabilité de la surface du sol et la disponibilité des éléments nutritifs.
5. Degré de fragmentation de la croûte qui indique dans quelle mesure elle peut être brisée, rendant le sol vulnérable et facilement érodable..
6. Type et degré d'érosion et de gravité récente ; c'est une estimation de la nature et de la sévérité provoquée par le type d'utilisation du sol et les aléas climatiques.
7. Matériaux déposés : c'est une estimation de la nature et de la quantité d'alluvions transportées et déposées sur la zone d'étude
8. Microtopographie qui a pour objectif d'évaluer la rugosité de la surface et sa capacité à capter et retenir les ressources mobiles telles que l'eau, les propagules, la matière organique.
9. Résistance aux chocs et aux perturbations : ce paramètre évalue la facilité avec laquelle le sol peut être perturbé mécaniquement et céder des matériaux à l'érosion éolienne ou hydrique ; ce paramètre se mesure uniquement sur sol sec.
10. Test de mouillabilité : c'est une évaluation de la stabilité des fragments de sol après mouillage et de vérification de la cohésion du sol.
11. Texture du sol : c'est un test qui a pour but de connaître la perméabilité du sol et sa capacité d'infiltration et de stockage d'eau. (tableau II-6)

Tableau III -6 : Variables évaluées de la surface du sol pour estimer les indices LFA (SSA) selon Tongway et Hindley (1995)

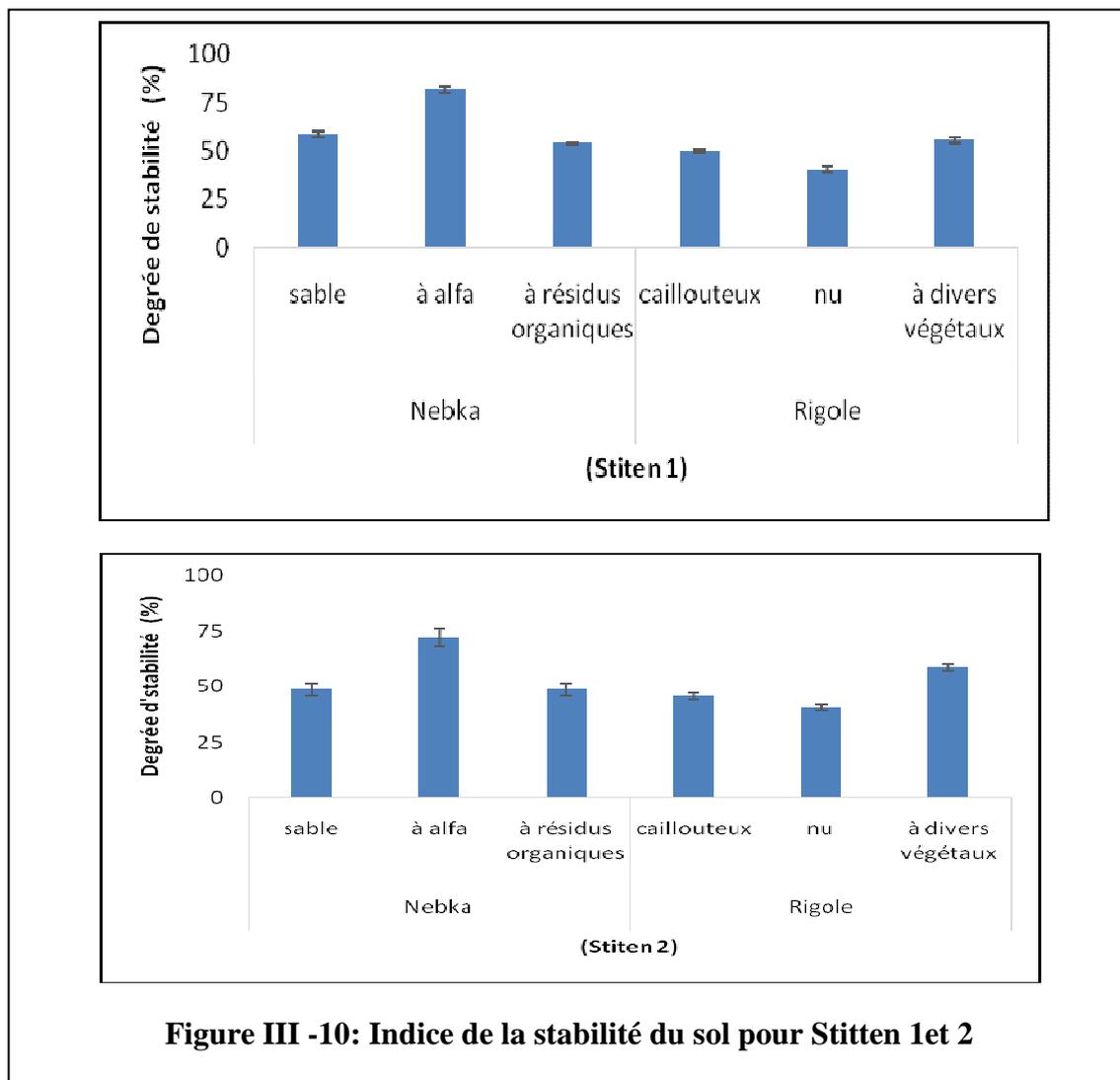
	Variables	Signification	Indice(s) utilisés
1.	Couverture complète	Vulnérabilité estimée à l'érosion par les gouttes de pluie	Stabilité
2.	Couverture basale des espèces herbacées et des arbustes	Évalue la contribution de la biomasse dans le processus de cycle des éléments nutritifs	Infiltration et recyclage des éléments nutritifs
3.	Couverture de la litière, l'origine et le degré de décomposition	Indique la disponibilité de la matière organique et des éléments nutritifs	Infiltration et recyclage des éléments nutritifs
4.	Couverture de la croûte biologique	Indicateur de la stabilité de la surface du sol, sa résistance à l'érosion et la disponibilité des nutriments	Recyclage des éléments nutritifs et stabilité
5.	Degré de fragmentation de la croûte	Mesure la quantité de croûte de la surface du sol disponible pour l'érosion hydrique ou éolienne	Stabilité
6.	Type et le degré d'érosion	Estime la nature et la sévérité de l'érosion en cours	Stabilité
7.	Matériaux déposés	Évalue le montant des dépôts alluviaux	Stabilité
8.	Microtopographie	Indicateur de la rugosité par la capacité à retenir l'eau, les sédiments et les graines...	Infiltration et recyclage des éléments nutritifs
9.	Résistance aux chocs	Estime la probabilité de perte de vitesse par une perturbation mécanique	Stabilité
10.	Test de mouillabilité	Évalue la stabilité / dispersion des agrégats de sol lorsqu'il est mouillé	Stabilité et infiltration
11.	Texture	La capacité d'infiltration et le stockage de l'eau	Infiltration

III.2.2.2. Résultats

La séquence ordonnée des indices LFA (SSA) a révélé un comportement différent des deux parcelles étudiées. L'indice de stabilité pour les patchs et les inter-patchs est de 80% pour nebka à végétation d'Alfa pour Stiten1 ; il est inférieur à 50% au niveau de nebka de sable pour la station Stitten2 et de presque 60% pour la station Stitten1.

Dans les patchs et inter-patchs le taux des résidus organiques et couverture de divers végétaux est nettement plus élevé. Les indices de l'infiltration et du cycle des éléments nutritifs montrent une différence significative entre les deux stations sachant que l'infiltration est ralentie par les surfaces du sol compactes et qu'une rugosité de surface élevée ralentit la sortie des ressources favorisant un temps d'infiltration plus long avec un dépôt plus important de litière et de végétaux.

La répartition des touffes de *S. tenacissima* dans la station Stitten1 et leurs bons états indiquent que cette végétation engendre un microenvironnement permettant d'améliorer la surface du sol et ainsi la survie d'autres espèces (figure III-10, III-11, III et III-12).



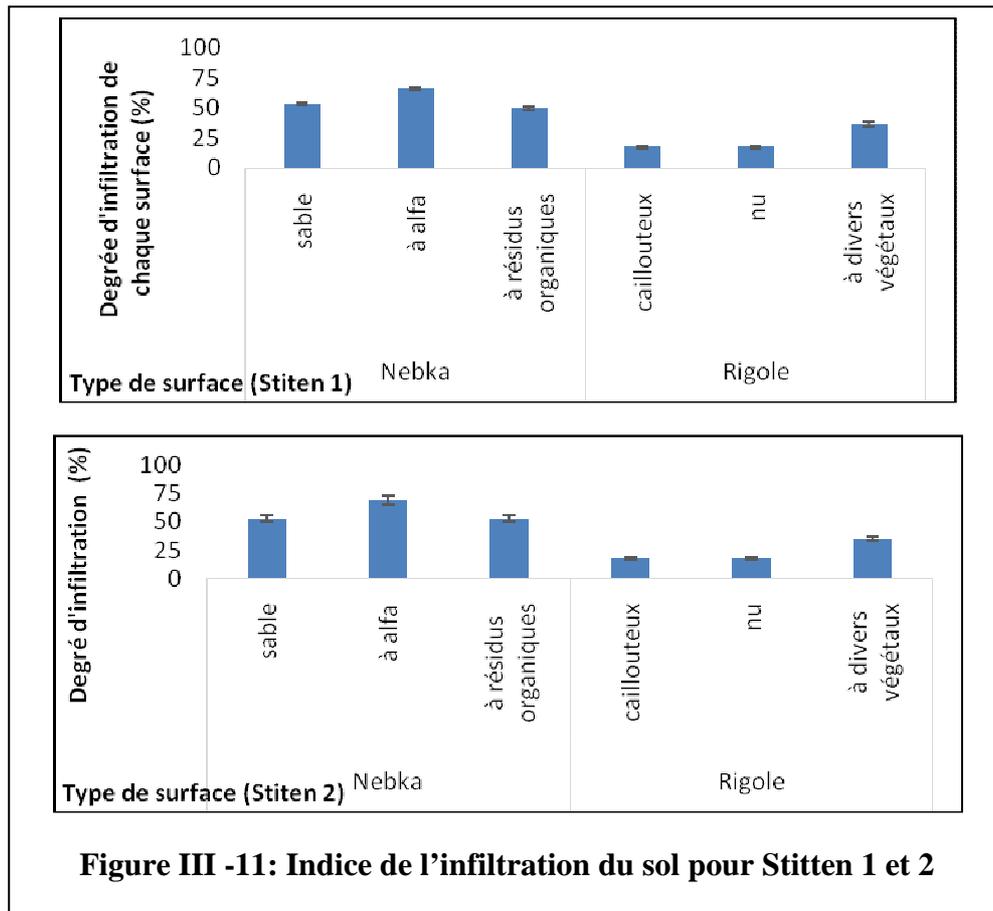


Figure III -11: Indice de l'infiltration du sol pour Stitten 1 et 2

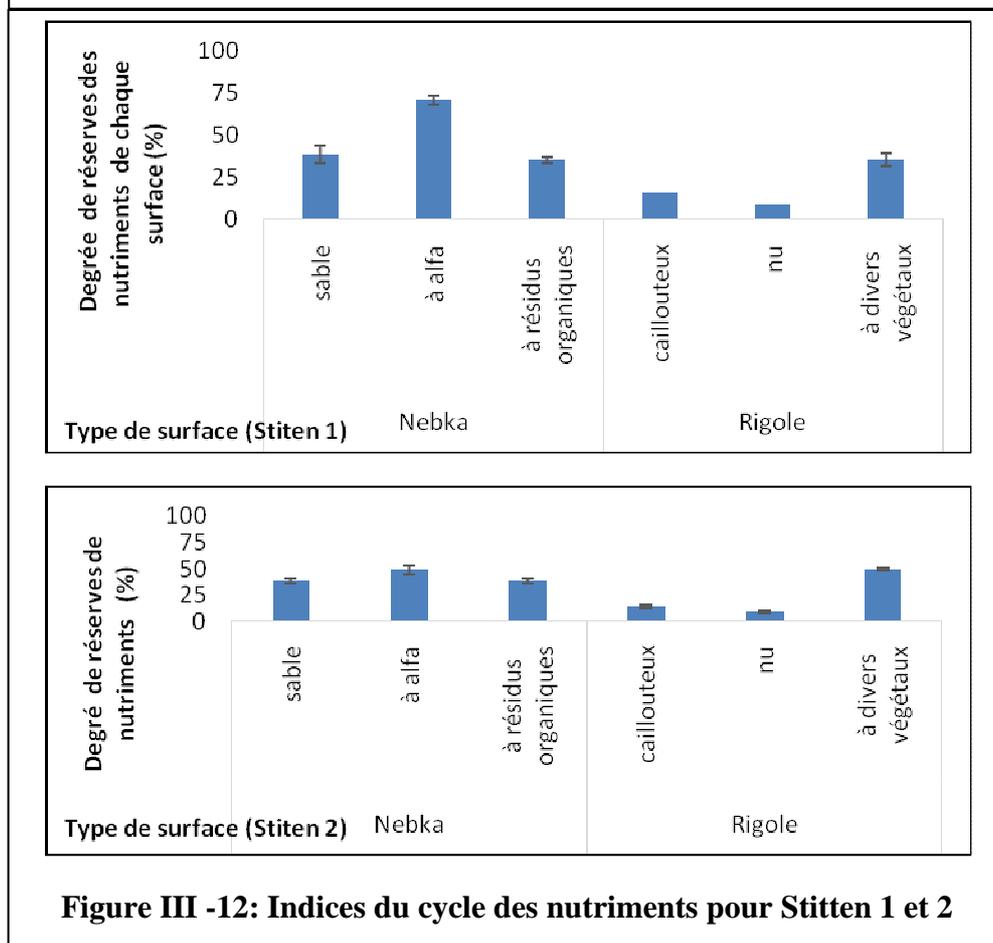


Figure III -12: Indices du cycle des nutriments pour Stitten 1 et 2

Dans la genèse de cette méthode une série d'indicateurs est développée ; ces données sont à la base des calculs des cartes de transects. Les figures III-13, III-14, III-15, III-16, III-17 et III-18 montrent qu'au niveau du parcours Stitten1 et Stitten2 ; les taux des indices de stabilité, d'infiltration et des éléments sont en rapport avec la présence des patches et inter-patches.

La nebka avec végétation d'alfa s'attribue une stabilité de 32% avec une capacité d'infiltration de 37% et contribue à 44% dans le cycle des éléments nutritifs : ce comportement indique une disponibilité de matière organique, une capacité de retenir de l'eau et de résistance à l'érosion. Par contre la stabilité du sol caillouteux est de 13% contre 7% seulement pour le sol nu. L'infiltration est de 6% pour le sol caillouteux et 5% pour le canal nu. Les éléments nutritifs disponibles sont respectivement avec 6% et 3% pour ce site

Les divers végétaux confèrent à cette zone une stabilité de 31%, une infiltration d'eau de 9% et une présence d'éléments nutritifs de 30%.

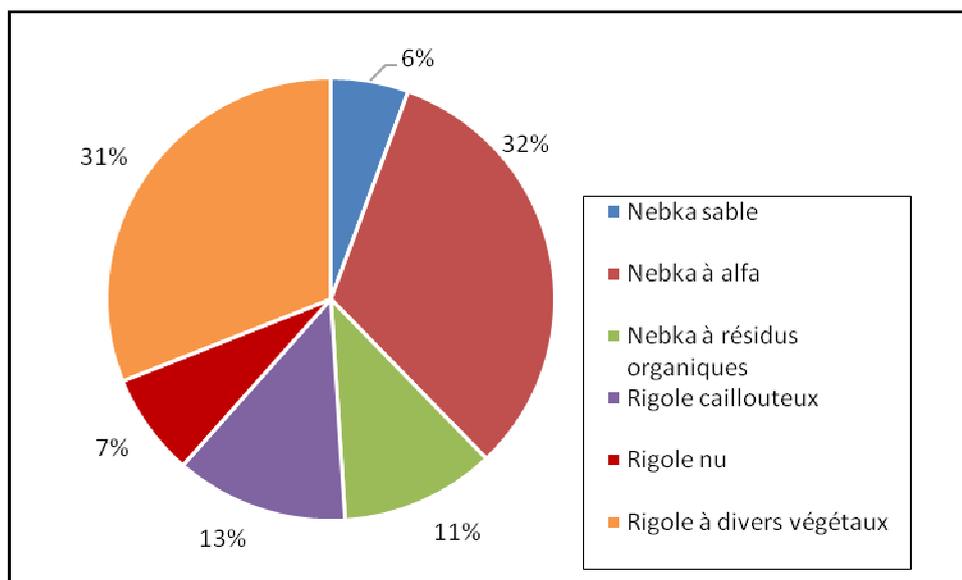


Figure III -13 : Carte de la contribution individuelle de la stabilité Stitten 1

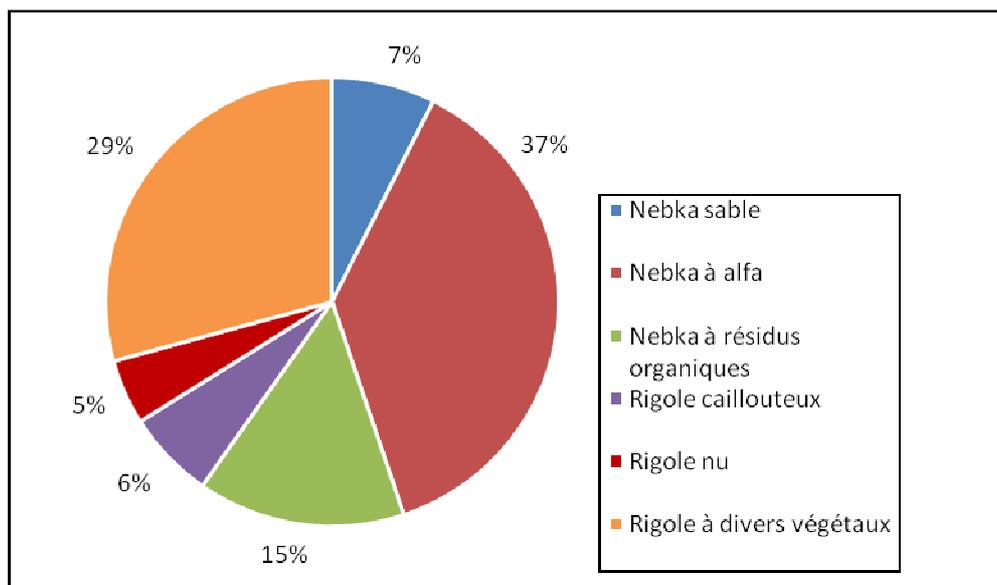


Figure III -14 : Carte de la contribution individuelle de l'infiltration Stitten 1

Certaines zones du paysage accumulent plus de ressources que d'autres; dans la station de Stitten 2 l'accumulation des éléments nutritifs est de 54% au niveau du canal avec résidus organiques, avec un taux de stabilité et d'infiltration d'eau de 48% et 37% respectivement. Les indicateurs sont nettement plus faibles au niveau du canal nu avec des taux respectifs de 3% pour la stabilité, 2% de capacité d'infiltration et une disponibilité d'éléments nutritifs de 1%.

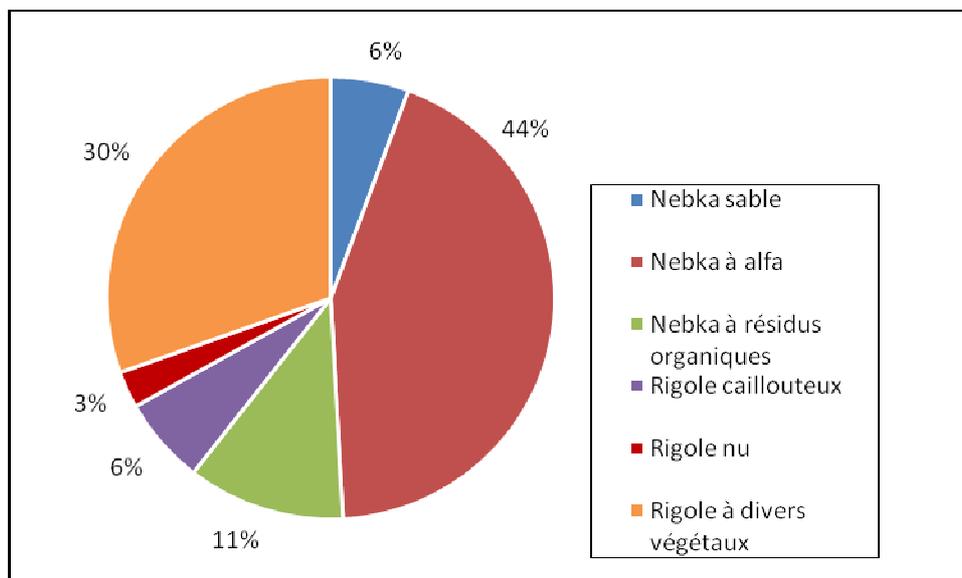


Figure III -15: Carte de la contribution individuelle des éléments nutritifs Stitten 1

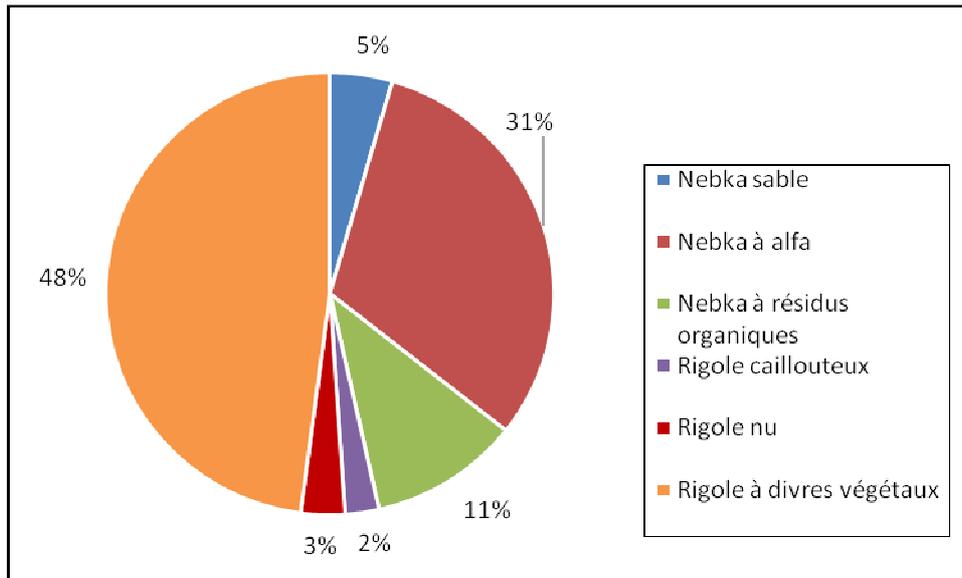


Figure III -16 : Carte de la contribution individuelle de la stabilité Stitten 2

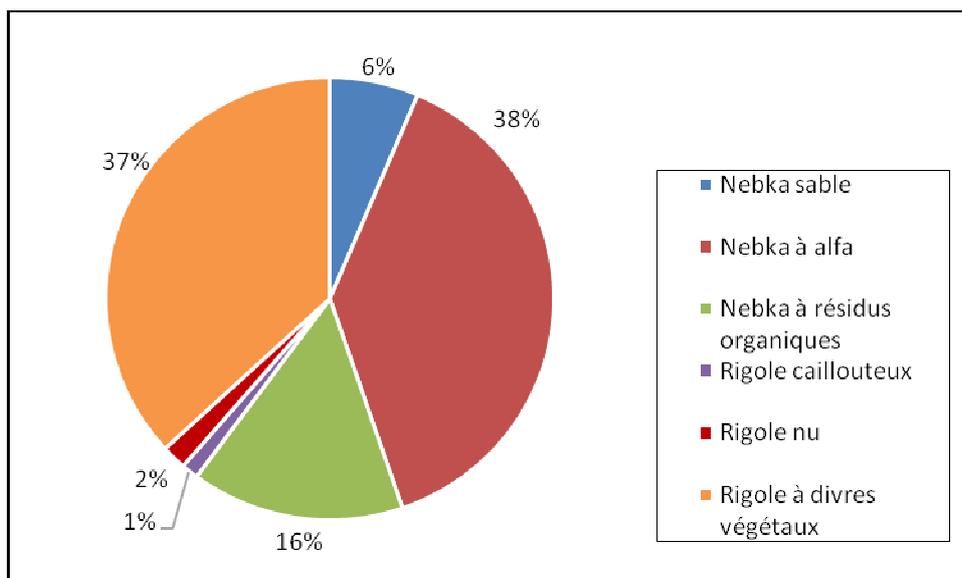


Figure III -17 : Carte de la contribution individuelle de l'infiltration Stitten 2

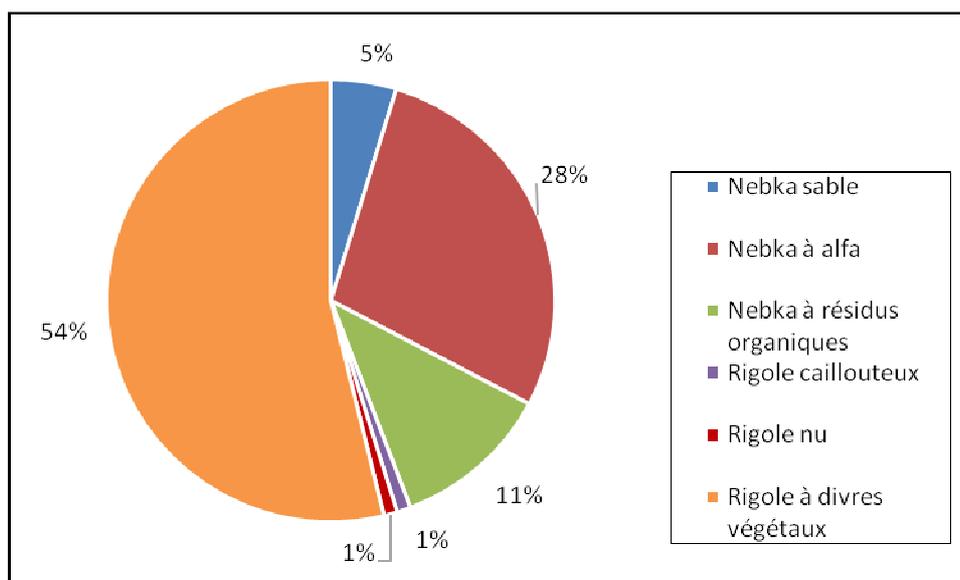


Figure III -18 : Carte de la contribution individuelle des éléments nutritifs Stitten 2

III 2.2.3. Discussion

Dans la méthodologie d'évaluation de la surface du sol, la nature, le sens et l'apport de chaque élément de la surface du sol sont reportés dans le manuel de manière simple et accessible, avec une procédure de classification très détaillée et des images qui orientent la classification de chaque indicateur.

Nous avons regroupé les observations individuelles des indicateurs de la surface du sol en trois indices qui ont chacun une signification relative à la surveillance de la fonction du parcours. Cette approche permet de structurer les données et de les transformer en une information utile pour la prise de décision dans le cadre des réhabilitations des parcours.

Ces indices permettent non de classer un écosystème donné automatiquement en bon ou mauvais mais de comparer des lieux avec différents degrés de fonctionnalité (dans notre étude, il s'agit d'un écosystème dégradé et d'un écosystème en bon état dans les mêmes conditions) ou d'évaluer la réponse temporelle à une perturbation. LFA est une procédure de suivi, utilisant des indicateurs pour évaluer dans quelle mesure un écosystème fonctionne comme un système biogéochimique.

Nous avons réalisé des mesures répétées, présentant les données sous forme de séries chronologiques. Notre résultat montre une hétérogénéité dans la distribution des indices de la surface du sol ; selon Schlesinger et *al.*; 1998 les hétérogénéités spatiales des facteurs environnementaux et de la végétation sont des caractéristiques intrinsèques des systèmes arides et semi arides qui n'ont pas été prise en considération dans la gestion et la restauration de ces milieux.

Ces hétérogénéités contribuent à la redistribution des ressources telles que l'eau et les nutriments (Ludwig et *al.*; 2002) ; la contribution locale du lixiviat, de la litière, des racines fines représente la concentration de ces ressources dans les niveaux de taches de végétation et les eaux de surface de ruissellement apportent des débris organiques et des sédiments d'élément nutritifs qui après dissolution s'ajoutent à l'hétérogénéité spatiale (Aguilar et *al.*; 1999 ; Belnap et *al.*; 2001).

La répartition spatiale de la végétation et les propriétés du sol peuvent jouer un rôle important dans la restauration des zones arides dégradées ; mais cette propriété n'a guère été utilisée à cette fin (Whisenant, 1995).

Maestre et *al.*; 2003 ont mené des expériences en Espartales qui indiquent que les touffes de *S. tenacissima* offrent un microenvironnement qui permet d'améliorer l'état physiologique et la survie des jeunes plants et d'autres espèces d'arbustes indigènes, et que l'utilisation de l'hétérogénéité de la végétation a fourni de bons résultats dans la restauration des parcours dégradés.

Tongway et *al.*; 1996, Vilagrosa et *al.*; (1997), Maestre et *al.*; (2002), Maestre et *al.*; (2003), , Bonet (2004), et d'autres auteurs ont dressé une liste, non exhaustive, qui donne une idée du rôle que ces facteurs peuvent jouer dans les études écologiques basées sur les informations recueillies et structurées à partir de l'approche LFA.

Citons par exemple l'ajout des branches, des fagots, dans les éviers permettant la concentration des sédiments, de l'eau, des semences et ainsi la formation d'îlots fertilisés. La technique des cintres conduit au processus de concentration de propagules et éventuellement d'eau et d'éléments nutritifs ; l'ajout de pierres et de gravier favorise la stabilité de la surface du sol par la diminution de la violence des précipitations, de l'érosion et la possibilité de conservation de l'humidité.

Les pavés présents sur les surfaces affaiblies l'infiltration entre les taches de végétation favorisent le ruissellement de surface. L'inoculation de cyanobactéries avec formation de croûtes biologiques confère une protection au sol par la concentration des eaux de ruissellement.

Ces résultats encore préliminaires ouvrent des axes de travail encourageants ; ils doivent être complétés par d'autres études et d'autres expérimentations pour pouvoir comparer et suivre l'évolution de l'écosystème.

La steppe est un milieu soumis à une dynamique spécifique qui est fortement influencé par l'action anthropique. L'utilisation de cet espace doit être pensée et réalisée dans le cadre d'une exploitation durable respectant sa fragilité. La préservation de la qualité des sols joue un rôle essentiel dans la stabilité de ce milieu.

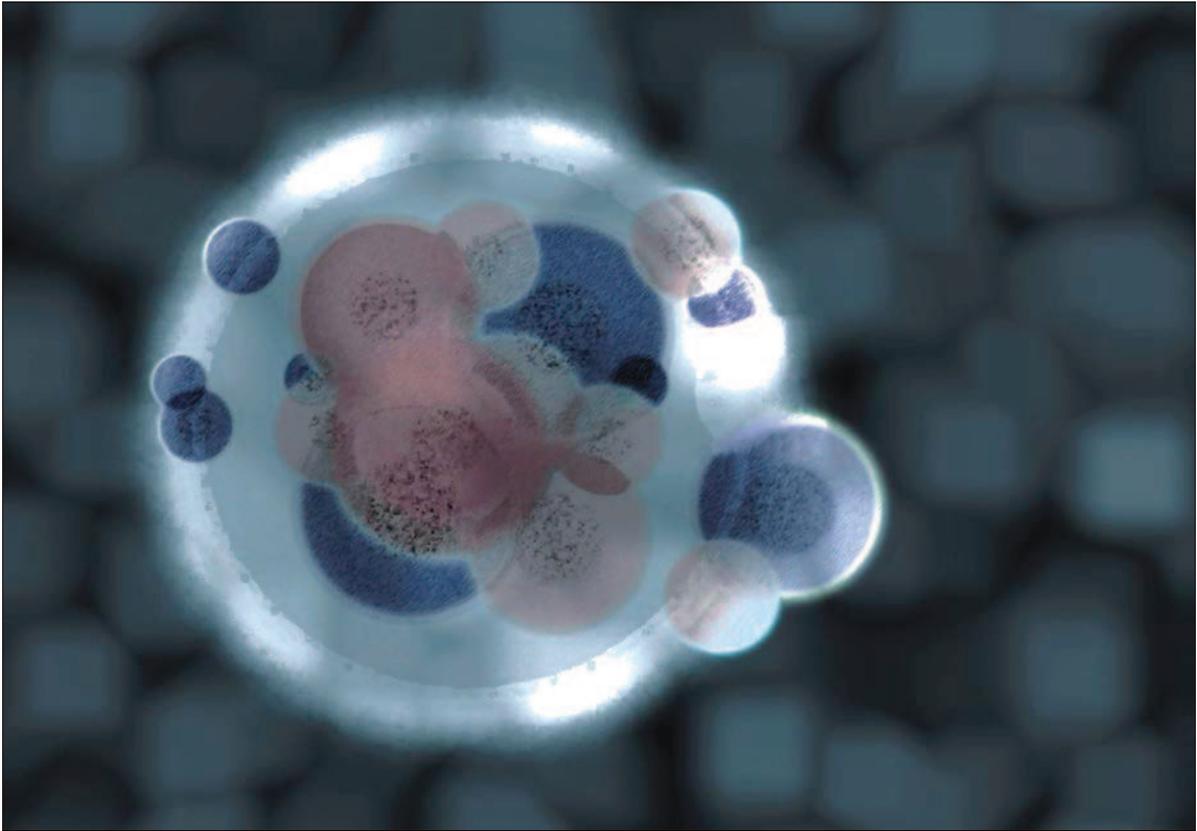
Nous proposons l'utilisation de ce principe comme une méthodologie simple et rapide pour renseigner les bases de données et les utiliser pour caractériser l'état de fertilité des sols, contrôler sa dégradation et apporter ainsi une aide pertinente à la prise des décisions relatives à l'aménagement des zones pastorales.

Chapitre 3

Publication internationale

1

*Caractérisation
physicochimique
et
microbiologique*



Journal of Biological Sciences

ISSN 1727-3048

science
alert

ANSI*net*
an open access publisher
<http://ansinet.com>

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

DOI: 10.3923/jbs.2015.124.130

Physicochemical and Microbiological Characterization of a Dry Soil in the Interface Steppe-Saharan Region in Southwest of Algeria

¹Tadjeddine Nadia, ²Mederbal Khelladi, ¹Regagba Mohamed, ³Josa Ramon, ⁴Daniella Meyer Allevalo and ²Latigui Amina

¹Universite de Mascara, Laboratoire, LREEG, Mascara, Algeria

²Faculte des Sciences de la Nature et de la Vie, Universite Ibn Khaldoun de Tiaret, Tiaret 14.000, Algeria

³Universitat Politecnica de Catalunya, UPC-ESAB, Castelldefels, Barcelone, Espagne

⁴University of California, Berkley, CA, USA

ARTICLE INFO

Article History:

Received: June 19, 2015

Accepted: September 21, 2015

Corresponding Author:

Tadjeddine Nadia

Universite de Mascara, Laboratoire,
LREEG, Mascara Algeria

ABSTRACT

The interface region steppe-Saharan, where the study was conducted is pastoral where the main activity is sheep production. The strong anthropological pressure has resulted in a reduction of the plant's potential, inducing a fragile ecosystem promoting more increased desertification. This work was undertaken in six stations distributed along a north-south transect. The physicochemical analyzes of these stations indicated a skeletal nature of the soil, sandy and limestone with CaCO₃ amount greater than 20, a pH ranging from 8.10-8.70 and a water retention capacity between 17.40-36%. The analyzes have also shown that the studied soils are rich in organic matter with a ratio greater than 4%, with a C/N ratio lower than 12. As for microbiological analyzes, they showed a bacterial presence varies that greatly from one station to another predominantly of *Pseudomonas* sp., *Staphylococcus* sp., *Clostridium sulphite-reducing*, *Enterobacteria* and *Streptococci* sp.

Key words: Ecosystem, microbiological analysis, physicochemical parameters, steppe-saharan

INTRODUCTION

The Algerian steppe has an area of 20 million ha. It is located on the edge of the northern Sahara (Brague-Bouragba *et al.*, 2007). It has a geographical entity differentiated by the harsh climate, the nature of its hydrology and particularly by the representative vegetation. The investigations undertaken *in situ* by Josa *et al.* (2011), allowed the identification of 137 plant species representing almost all plant families distributed in this area.

The phenomenon of the "regression ecosystem" (Peltzer *et al.*, 2010; Wardle *et al.*, 2004) concerns largely microbial communities and their effects on soil chemistry, nutrient availability and vegetation (Wardle *et al.*, 2004; Chadwick *et al.*, 1998).

In this study, the soil particle size was investigated. It involved coarse and fine sands, coarse and fine silts and clay.

This is because, aggregate stability is the main property of erosion control, runoff (Barthes *et al.*, 2000; Barthes and Roose, 2002) and plant growth (Gawlik *et al.*, 1999; Vdovic *et al.*, 2010) in semi-arid regions (Dunne *et al.*, 1991).

The main physicochemical porosity, moisture content, pH and electrical conductivity; involved in plant growth (Fan and Yang, 2007; Medina *et al.*, 2012) have also been studied.

In parallel, a biological soil analysis was conducted. This concerned the Enterobacteriaceae, *Staphylococcus*, *Clostridium sulphite-reducing* Streptococci, *Pseudomonas* and *Azotobacters* present in the soil. This fauna is important because they are involved in geochemical cycles and soil quality through the extracellular enzymes produced during the degradation of the organic matter complex (Sinsabaugh *et al.*, 1993).

As for the chemical analysis, major elements K, Na, P, total Ca, organic matter (Tagliavini *et al.*, 2005) and the C/N were analyzed. According to Pandey *et al.* (2011) and Wong *et al.* (2010), a high salt concentration inhibits the growth of microorganisms and therefore that of plants; causing land degradation (Nannipieri *et al.*, 2012) and a physicochemical change resulting in a significant loss of soil fauna (Singh *et al.*, 2012; Yuan *et al.*, 2007).

The study concerned the soil particle size, the main physicochemical parameters, the microbiological soil analysis, the major chemical elements and the organic matter. It was conducted in six stations located in the interface Saharan-steppe region, an arid bioclimatic zone of the El Bayadh in southwest Algeria. These stations were distributed along a north-south transect.

MATERIALS AND METHODS

Presentation of the study field and choice stations: The territory of the province of El Bayadh covers a total area of 6,642,039 ha, of which 5,704,445 ha includes steppe rangelands and pre-Saharan areas. The average rainfall is relatively low at 326 mm year⁻¹ (Josa *et al.*, 2011). The sampling sites were selected to cover the types of dominant and representative soils of the region. They are represented by six stations; ST1, ST2, ST3, ST4, ST5 and ST6 (Table 1).

Collection of soil samples: On each plot, six soil samples were carried out between 0 and 5 cm of depth, according to the Baize (2000) method. Next they were mixed to obtain a composite sample. The samples were stored in coolers at 4°C. They samples were used for the physicochemical and microbiological analyzes in the laboratory.

Physical and chemical analysis: The particle size was determined by the method described by Aubert (1978). The porosity, moisture content, residual moisture, pH, electric conductivity, organic matter and carbon were analyzed by Petard (1993) method. The amount of assimilable phosphorus was realized by Olsen Method, the nitrogen by the Kjeldahl method, the total calcareous content by Bernard's calcimeter.

Analysis and enumeration of prokaryotes: Ten grams of soil samples were diluted in 90 mL of physiologic and sterile water, then stirred with a vortex. From this stock solution, a

series of dilutions were carried out appropriately. One hundred microliter of each dilution was used for the different analyzes provided in this work.

A non-selective nutrient agar medium was used for the search of the total flora. By contrast, selective media glucose agar with bile compound, Baid parker, Meat-Liver, Hagar bile esculin of Cetrimide and synthetic medium were used, respectively for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae, staphylococci, of sulphite-reducing *Clostridium*, *Streptococcus*, *Pseudomonas* and *Azotobacters*.

Incubation of microorganisms was carried out in Petri dishes at 37°C for 24-72 h. Macroscopic and microscopic examinations and conventional biochemical tests for bacterial identification were performed according to the Method in Bergey's Manual (1986).

Analysis and enumeration of eukaryotic: Eukaryotic existing soil fungi were studied. Incubation of the samples containing the fungi was performed at 25°C for 3-5 days in Petri dishes containing the medium supplemented with citric acid, sulfated streptomycin and chlortetracycline hydrochloride with 250, 100 and 50 mg L⁻¹, respectively. Enumeration of viable bacteria was expressed in colony forming units (CFU) per gram of sample using the following formula (Beraud, 2001):

$$\text{Log CFU g}^{-1} \text{ of sample} = \frac{\text{Number of colonies}}{\text{Dilution} \times \text{Volume seeded}}$$

Statistical analysis: Statistical analyses were performed using SPSS Version 17 software. All experimentations were performed in duplicate. The results are expressed as Mean±standard deviation ESM. The Pearson r coefficient was used to study the correlation between organic biomass and other factors. Because, it measures adequately the linear relationship between these two variables.

The value of P or sig. (bilateral) introduced by Gibbons and Pratt (1975) and used by several authors (Bezeau and Graves, 2001; Cashen and Geiger, 2004; Maddock and Rossi, 2001; Paul and Plucker, 2004) to confirm the actual links between the factors studied. Therefore, it implies a causal relationship between the two variables.

RESULTS AND DISCUSSION

Grain size: Table 2 showed a sandy texture of ST1, ST2, ST3, ST5 and ST6. However, the St4 showed a sandy-loam texture.

It should be noted that sandy soils are often dry, nutrient-poor and very draining. They have an unstable structure. They are, therefore, susceptible to wind erosion. As for sandy loam (ST4), the soil is relatively more fertile and retains moisture.

Total porosity: According to Chong (2005) and Vaughn *et al.* (2011), the total porosity of the soil is between 50 and 85%. In

Table 1: Locations of study sites

Stations	Geographic	Coordinates (m)
Haoudh (ST1)	1° 09' 02,2'' E; 33° 55'30,4'' N	1294
Laguermi (ST2)	1° 12' 24,0'' E; 33° 34'52,1'' N	1303
Ghassoul (ST3)	1° 09' 02,5'' E; 33° 31'52,6'' N	1376
Stitena (ST4)	1°13'61,1'' E; 33°41'68,6''N	1457
Hadjrat derissa (ST5)	1°13'61,1'' E; 33°13' 61,0'' N	1400
Krekda (ST6)	1° 09' 02,2'' E; 33° 31'52,9'' N	1366

Table 2: Results of physico-chemical analyses of soil in study stations

Variables	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6
Grain size						
CS	45.35	40.98	10.94	33.75	33.75	41.64
S	44.38	49.43	80.04	49.39	49.39	46.58
CS	2.50	3.52	3.52	13.16	5.31	5.00
FS	1.50	3.50	1.50	2.03	5.20	2.00
C	1.00	2.00	1.00	1.00	0.80	3.00
Porosity	41.50	41.50	46.03	46.79	57.35	52.83
Water retention (%)	17.47	23.24	23.06	26.04	36.02	32.38
Moisture (%)	0.90	1.00	2.40	2.50	2.50	2.60
pH (H ₂ O)	8.60	8.70	8.20	8.70	8.10	8.20
EC (mmhos/cm)	1.152	1.222	1.502	1.035	1.2212	1.515
Organic matter (%)	5.00	24.15	4.65	35.85	28.25	8.45
C/N	11.60	11.70	11.74	11.64	11.64	11.69
Limestone (%)	35.96	37.00	30.01	20.59	26.46	25.90
K (%)	4.00	4.00	4.40	4.90	11.89	4.40
Na (%)	0.05	0.06	0.05	0.07	0.125	0.05
P (ppm)	5.00	8.00	6.00	3.00	8.00	10.00

CS: Coarse sand, S: Sandy, CS: Coarse silt, FS: Fine silt, C: Clay, EC: Electrical conductivity

Table 3: Test pearson correlations (r) and the significance test of the slope or Sig. (bilateral) (P) between the different factors with number of stations N = 6

Variables	RH	OM	C/N	Na	P	BM
RH correlation	0.206	0.279	0.334	0.106	-0.251	
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	1	0.695	0.593	0.518	0.842	0.632
N	6	6	6	6	6	6
OM correlation	0.206		-0.258	0.635	-0.267	0.836
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	0.695	1	0.622	0.176	0.609	0.38
N	6	6	6	6	6	6
C/N correlation	0.279	-0.258		-0.322	0.388	-0.322
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	0.593	0.622	1	0.534	0.447	0.534
N	6	6	6	6	6	6
Na correlation	0.334	0.635	-0.322		0.097	0.213
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	0.518	0.176	0.534	1	0.854	0.686
N	6	6	6	6	6	6
P correlation	0.106	-0.267	0.388	0.097		-0.322
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	0.842	0.609	0.447	0.854	1	0.534
N	6	6	6	6	6	6
BM correlation	-0.251	0.836	-0.322	0.213	-0.322	
pearson (r)						
Sig. (bilaterale) (P)	0.632	0.38	0.534	0.686	0.534	1
N	6	6	6	6	6	6

RH: Residual moisture, OM: Organic matter, BM: Biomass, C/N ratio, Carbon products: Nitrogen products

our case (Table 2), ST5 and ST6 have a relatively high porosity. Therefore, they have a water retention capacity that is higher compared to other stations.

Water retention and moisture: The results (Table 3) show that the moisture content varies from one station to another. However, it is higher in stations ST3, ST4, ST5, ST6. However, in ST1 and ST2, the rate is about 1%. These findings may be related to the vegetation cover. Because, the roots play an important role in the exchange and maintenance of plant-animal symbiosis in the soil (Choi *et al.*, 2010).

pH: The pH of the soils studied is between 8.2 and 8.7 (Table 2) within 6 stations. This high pH is according to Mengel and Kirkby (2001) caused by an absence of ammoniacal nitrogen. A qualitatively high pH affects the solubility of some elements; thus influencing their absorption Raven *et al.* (2010). On the other hand, in more acidic soils, nitrification is greater (Cookson *et al.*, 2004; Tong and Xu, 2012; Norton and Stark, 2011; Serjeant and Dempsey, 1979). According to Babiker *et al.* (2004), De Paz and Ramos (2004), Albregts and Howard (1980), Urrestarazu *et al.* (2008) and Abad *et al.* (2001), a pH between 5.5 and 6.5 allows full absorption of microelements.

Electrical conductivity: The electrical conductivity of soils in the study area varies between 1.15 and 1.5 dS m⁻¹ (Table 2). We deduce, while moderately saline soils are studied. If the level of salinity is less than 2.0 dS m⁻¹, the effects on the plant's growth are negligible (Saied *et al.*, 2005; D'Anna *et al.*, 2003). Caruso *et al.* (2011) and Baize (2002). The ideal values are between 2.18-2.34 dS m⁻¹ (De Pascale *et al.*, 2001; Keutgen and Pawelzik, 2007; Choi and Latigui, 2008; Skiredj, 2005). Greater than those above mentioned values can cause high salinity consequently, causing phytotoxicity (Latigui, 1992; Latigui *et al.*, 2011).

Organic matter and C/N: The studied soils are rich in organic matter (Table 2). This reflects the abundance of vegetation cover. Generally, the organic status is evaluated by measuring the total organic carbon concentration (TOC) and Total Nitrogen (TN) in the soil. This is due to the estimate of the N/C ratio that shows values lower than 20; optimal for the mineralization of organic matter values (Genot *et al.*, 2011). The higher levels of organic matter associated can be also associated with an improvement of the structure, facilitation of infiltration, an increase in water retention capacity and the ability to resist erosion (Raven *et al.*, 2010).

Limestone: The contents of total calcium in the soils studied are between 20.60-37% (Table 2). Thus, it appears that the soil in the study areas are calcareous like most Algerian soils. It should be noted that according to Benchetrit (1959) 70-80% of the soil of Algeria is slightly to moderately filled with limestone horizons deep in the soil versus superficially.

Potassium and sodium: For the rate of K and Na, the highest values were found in ST5 with 11.89 and 0.125% (Table 2), respectively. This value appears to be due to the abundance and/or the type of vegetation cover (Genot *et al.*, 2011). A high concentration of Na inhibits the nitrogen cycle, thus influencing the microbial biomass, enzyme activity and nitrification (Tong and Xu, 2012; Matsushima *et al.*, 2009).

Phosphorus: In this study, ST6 contains relatively more of the available P (Table 2). This value appears to be due to the

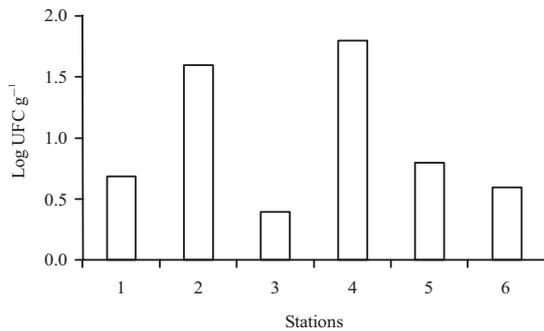


Fig. 1: Total microbial biomass for each station

density of vegetation cover or to the herbaceous dominant type in the region (Balesdent, 1996). An inappropriate concentration of P causes a profound change in the aerial (De Groot *et al.*, 2001) and root parts of the plants. A low concentration of P is mainly due to mineral weathering and leaching (Izquierdo *et al.*, 2013).

2 laboratory tests

Microbiological analysis: Microbiological analysis (Fig. 1) showed the presence of a complex and diverse microbial biomass. It is relatively denser in the soils of ST4. This relative growth of microbial flora is related to the low electrical conductivity negligible in this threshold (Table 1), the richness of soil organic matter with water holding capacity and the highest low limestone. These factors promote microbial growth (De Pascale *et al.*, 2001; Raven *et al.*, 2010; Kuroiwa *et al.*, 2011).

Parameters such as pH and nutrient availability are known to be important factors for the structure, diversity and function of communities both plant and microbial (Grayston *et al.*, 2004; Lauber *et al.*, 2009; Marschner *et al.*, 2004).

Bacterial biomass is a sensitive indicator of a long-term decline of soil organic matter resulting from a disturbance of a natural ecosystem. The organic matter regulates the biological activities and contributes to the diversity and complexity of the soil. It is, moreover, a large reserve of nutrients that will be available to the plant (Genot *et al.*, 2011).

Fungal analysis: A comparative analysis showed that the rate of fungi growth was lower than those of bacteria (Fig. 2).

According to Roux (2005), the increase in humidity stimulates bacteria. A slightly alkaline pH is optimum for growth of bacteria whereas the fungi prefer a low pH from 3-5.

Distribution of bacterial flora: The microscopic and biochemical identification of microorganisms isolated showed the presence of Enterobacteriaceae, *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Pseudomonas* sp. These represent a large fraction of the bacterial community particularly in ST5. They are found in all walks of life, especially on the root systems of

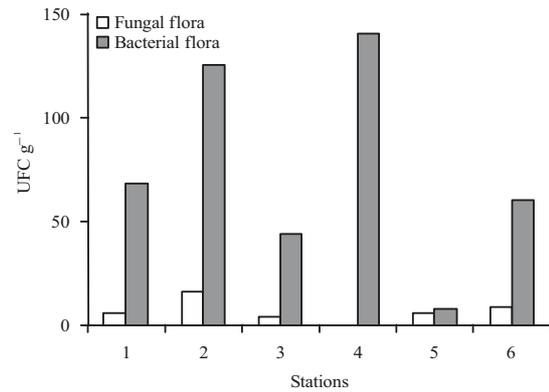


Fig. 2: Distribution of bacterial and fungal flora in each station

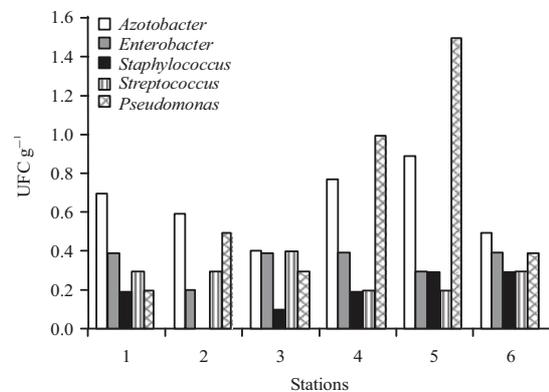


Fig. 3: Bacterial breakdown of the six stations

plants (Haas and Keel, 2003). Their predominance in soils can be explained by a high density of vegetation (Josa *et al.*, 2011; Chapin III, 1980), particularly in ST5 (Fig. 3), where the canopy is 75-80% (Josa *et al.*, 2011).

Moreover, porosity, aeration and depth have, firstly, the growth and development of the genus *Pseudomonas* sp., strict and also inhibit, also the proliferation of aerobic bacteria *Clostridium sulphite* (Roux, 2005).

Since the study area is an integral part of transhumance routes, the presence of staphylococci and streptococci, ubiquitous bacteria may have an animal origin. The abundance of nitrogen-fixing bacteria *Azotobacter* sp. is found in the soil of ST5, particularly in the rhizosphere of *Pinus halpensis*.

Distribution of the fungal flora: The analysis shows the predominance of fungal flora in ST2 while, in ST4 it is devoid. This explains the decrease in phosphorus in the later (Fig. 2). According to Bolan (1991), fungi improve the collection and transport to the plant very little mobility mainly phosphorus nutrients. They increase tolerance to drought and reduce the effects of pathogenic infections. In addition, positive interactions were found between mycorrhizal interactions.

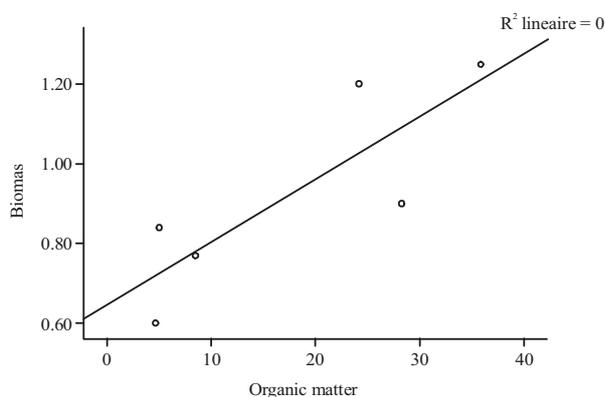


Fig. 4: Presentation of regression line

Fungi and soil bacterial communities: Interpretation of the results (Table 3) was made by combining the Pearson correlation (r) and tests for significance of the slope (p).

Pearson correlation (r) allows us to determine if the relationship between the 2 factor is perfect (1), very high (0.85), high (0.5-0.8), medium (0.2-0.5), low (0-0.2) or zero (0). However, Sig. (bilateral) (p) allows us to determine if this relationship is significant and not due to chance. Recall that if the Sig. or p -value is greater than 0.5 we conclude that the correlation expressed by Pearson's R is due to chance. However, if P is less than 0.5, the relationship between the two factors is significant.

In our case, we deduce that the Mo-Na correlation ($r = 0.635$, $p = 0.176$) is strong and that there is indeed a relationship between the two factors.

The correlation C/NP ($r = 0.388$, $p = 0.447$) is moderate, but really exists.

The correlation BO-MO ($r = 0.836$, $p = 0.38$) is very strong and really exists (Table 3 and Fig. 4).

CONCLUSION

Parameters such as pH and nutrient availability are known to be important factors in the structure, diversity and function of communities of both plant and flora.

This approach seems to be an interesting contribution to the study of semi-arid soil with a much diversified native flora, with the exception in ST3 whose land has the introduced *Atriplex canescens*.

In light of our results, we can infer that the soils of our study sites are sandy and skeletal. By contrasts, the soil of ST4 is sandy loam, limestone and rich in organic matter with an alkaline pH favoring the development of bacterial flora compared to the fungal flora.

Through correlation tests, this diversity is not only related to the physicochemical parameters of the soil but also to the existing microbial community and its frequency. Microbiological characterization revealed a diversity in bacterial flora and fungal flora. The bacterial flora includes

Enterobacteriaceae, *Staphylococcus* spp, *Streptococcus* sp, the sulphite-reducing *Clostridium*, with a predominance of *Pseudomonas* sp.

Steppe soils are fragile and are easily eroded. Nevertheless, there is a balance in the ecosystem, especially between the physicochemical and microbiological parameters supporting a significant vegetation cover or more or less discontinuous, that is essential for maintaining pastoral activity characteristic of this region. This will allow periodic monitoring of these indicators. Because, they inform us about the soil's ability to withstand the anthropological pressure. They will also, help ecologists choose species for highly sensitive areas that can adapt to these conditions in rehabilitation programs.

The perspective is to set up a database in a Geographical Information System (GIS). It would integrates multiple data sources physical, chemical, microbial, climate, water and socio-economic in order to monitor and intervene in real time to minimize the phenomena of steppe desertification.

REFERENCES

- Abad, M., P. Noguera and S. Bures, 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresour. Technol.*, 77: 197-200.
- Albregts, E.E. and C.M. Howard, 1980. Accumulation of nutrients by strawberry plants and fruit grown in annual hill culture. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 105: 386-388.
- Aubert, G., 1978. *Methods of Soil Analysis*. CRDP, Marseille, pp: 191.
- Babiker, I.S., M.A.A. Mohamed, H. Terao, K. Kato and K. Ohta, 2004. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environ. Int.*, 29: 1009-1017.
- Baize, D., 2000. *Analyzes of soil science guide*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- Baize, D., 2002. *Analyzes of soil science guide*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- Balesdent, J., 1996. A point on the evolution of organic land reserved in France. *Study Soil Manage.*, 3: 245-260.
- Barthes, B. and E. Roose, 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*, 47: 133-149.
- Barthes, B., A. Azontonde, B.Z. Boli, C. Prat and E. Roose, 2000. Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). *Eur. J. Soil Sci.*, 51: 485-495.
- Benchetrit, M., 1959. The soils of Algeria. *Alpine Geog. Rev.*, 44: 749-761.
- Beraud, J., 2001. *The Technician Biological Analyzes Theoretical and Practical Guide*. Tec and Doc Lavoisier, Paris, pp: 988-990.

- Bergey's Manual, 1986. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. 4th Edn., Williams and Wilkins, USA., ISBN-13: 978-0683078930, Pages: 672.
- Bezeau, S. and R. Graves, 2001. Statistical power and effect sizes of clinical neuropsychology research. J. Clin. Exp. Neuropsychol., 23: 399-406.
- Bolan, N.S., 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant Soil, 134: 189-207.
- Brague-Bouragba, N., A. Brague, S. Dellouli and F. Lieutier, 2007. [Comparison of coleopteran and spider communities between a reforested area and a still steppe area in a pre-Saharan region of Algeria]. Comptes Rendus Biol., 330: 923-939.
- Caruso, G., G. Villarib, G. Melchionnac and S. Conti, 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. Scientia Horticulturae, 129: 479-485.
- Cashen, L.H. and S.W. Geiger, 2004. Statistical power and the Testing of null hypotheses: A review of contemporary management research and recommendations for future studies. Organiz. Res. Meth., 7: 151-167.
- Chadwick, O.A., L.A. Perry, P.M. Vitousek, B.J. Huebert and L.O. Hedin, 1998. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. Nature, 397: 491-497.
- Chapin III, F.S., 1980. The mineral nutrition of wild plants. Annu. Rev. Ecol. Syst., 11: 233-260.
- Choi, J.M. and A. Latigui, 2008. Effect of various magnesium concentrations on the quantity of chlorophyll of 4 varieties of strawberry plants (*Fragaria ananassa* D.) cultivated in inert media. J. Agron., 7: 244-250.
- Choi, J.M., A. Latigui and Y.M. Kyung, 2010. Growth and nutrient uptake of seolhyang strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) responded to elevated nitrogen concentrations in nutrient solution. Korean J. Hort. Sci. Technol., 285: 777-782.
- Chong, C., 2005. Experiences with wastes and composts in nursery substrates. HortTechnology, 15: 739-747.
- Cookson, W.R., C. Muller, P.A. O'Brien, D.V. Murphy and P.F. Grierson, 2004. Nitrogen dynamics in an Australian semiarid grassland soil. Ecology, 87: 2047-2057.
- D'Anna, F., G. Incalcaterra, A. Moncada and A. Miceli, 2003. Effects of different electrical conductivity levels on strawberry grown in soilless culture. Acta Hort., 609: 355-360.
- De Groot, C., L.F.M. Marcelis, R. Van den Boogaard and H. Lambers, 2001. A Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. Plant Cell Environ., 24: 1309-1317.
- De Pascale, S., A. Maggio, V. Fogliano, P. Abrosino and A. Ritieni, 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. J. Hort. Sci. Biotechnol., 76: 447-453.
- De Paz, J.M. and C. Ramos, 2004. Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS-GLEAMS system. Agric. Ecosyst. Environ., 103: 59-73.
- Dunne, T., W. Zhang and B.F. Aubry, 1991. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. Water Resour. Res., 27: 2271-2285.
- Fan, W.G. and H.Q. Yang, 2007. Nutrient deficiency affects root architecture of young seedlings of *Malus hupehensis* (Pamp) Rehd. under conditions of artificial medium cultivation. Agric. Sci. Chin., 6: 296-303.
- Gawlik, B.M., F. Bo, A. Kettrup and H. Muntau, 1999. Characterisation of a second generation of European reference soils for sorption studies in the framework of chemical testing-Part I: Chemical composition and pedological properties. Sci. Total Environ., 229: 99-107.
- Genot, V., D. Buffet, X. Legrain, M.J. Goffaux, T. Cugnon and R. Oger *et al.*, 2011. [To a sampling and personal fertility advice, the tools for decision support]. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 15: 657-668.
- Gibbons, J.D. and J.W. Pratt, 1975. P-values: Interpretation and methodology. Am. Stat., 29: 20-25.
- Grayston, S.J., C.D. Campbell, R.D. Bardgett, J.L. Mawdsley and C.D. Clegg *et al.*, 2004. Assessing shifts in microbial community structure across a range of grasslands of differing management intensity using CLPP, PLFA and community DNA techniques. Applied Soil Ecol., 25: 63-84.
- Haas, D. and C. Keel, 2003. Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. Ann. Rev. Phytopathol., 41: 117-153.
- Izquierdo, J.E., B.Z. Houlton and T.L. van Huysen, 2013. Evidence for progressive phosphorus limitation over long-term ecosystem development: Examination of a biogeochemical paradigm. Plant Soil, 367: 135-147.
- Josa, R., M.T. Mas, A.M.C. Verdu, K. Mederbal and Z. Regagba *et al.*, 2011. [Herbal electronic pre-Saharan steppe (Zone d'THE Bayadh- Bresina) gelia Ar: A Amenta herr for integrated management systems postoraless]. I Congreso Investigacion en Agricultura para el Desarrollo. http://oa.upm.es/9315/1/libro_de_actas-CONGRESO.pdf
- Keutgen, A.J. and E. Pawelzik, 2007. Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. J. Agric. Food Chem., 55: 4066-4072.
- Kuroiwa, M., K. Koba, K. Isobe, R. Tateno and A. Nakanishi *et al.*, 2011. Gross nitrification rates in four Japanese forest soils: Heterotrophic versus autotrophic and the regulation factors for the nitrification. J. For. Res., 16: 363-373.
- Latigui, A., 1992. Effect of different fertilization of the eggplant and tomatoes grown out of ground on the potential of biotic macrosiphum euphorbiae. Ph.D Thesis, One Aix Marseille III France.

- Latigui, A., J.M. Choi and C.W. Lee, 2011. Growth and nutrient uptake responses of Seolhyang strawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen in nutrient solution culture using inert media. *Afr. J. Biotechnol.*, 10: 12567-12574.
- Lauber, C.L., M. Hamady, R. Knight and N. Fierer, 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Applied Environ. Microbiol.*, 75: 5111-5120.
- Maddock, J.E. and J.S. Rossi, 2001. Statistical power of articles published in three health-psychology related journals. *Health Psychol.*, 20: 76-78.
- Marschner, P., D.E. Crowley and C.H. Yang, 2004. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. *Plant Soil*, 261: 199-208.
- Matsushima, M., W.J. Choi and K. Inubushi, 2009. Nitrification inhibitor reduces nitrous oxide production from different soil profiles of an Andosol soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 40: 3181-3193.
- Medina, E., C. Paredes, M.A. Bustamante, R. Moral and J. Moreno-Caselles, 2012. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma*, 173-174: 152-161.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby, 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Edn., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, ISBN-13: 9781402000089, Pages: 849.
- Nannipieri, P., L. Giagnoni, G. Renella, E. Puglisi and B. Ceccanti *et al.*, 2012. Soil enzymology: Classical and molecular approaches. *Biol. Fertil. Soils*, 48: 743-762.
- Norton, J.M. and J.M. Stark, 2011. Regulation and Measurement of Nitrification in Terrestrial Systems. In: *Methods in Enzymology*, Glotz, M.G. (Ed.). Vol. 486, Academic Press, Burlington, pp: 343-368.
- Pandey, V.C., K. Singh, B. Singh and R.P. Singh, 2011. New approaches to enhance eco-restoration efficiency of degraded sodic lands: Critical research needs and future prospects. *Ecol. Restoration*, 29: 322-325.
- Paul, K.M. and J.A. Plucker, 2004. Two steps forward, one step back: Effect size reporting in gifted education research from 1995-2000. *Roeper Rev.*, 26: 68-72.
- Peltzer, D.A., D.A. Wardle, V.J. Allison, W.T. Baisden and R.D. Bardgett *et al.*, 2010. Understanding ecosystem retrogression. *Ecol. Monogr.*, 80: 509-529.
- Petard, J., 1993. The Analyses Methods Tome Soils Analyses. Orstom Publisher, French West African, USA.
- Raven, P.H., L.R. Berg and D.M. Hassenzhl, 2010. Environment. John Wiley and Sons, Inc., USA.
- Roux, X., 2005. Effects of grazing on microbial functional groups involved in soil N dynamics. *Ecol. Monographs*, 75: 65-80.
- Saied, A.S., A.J. Keutgen and G. Noga, 2005. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. 'Elsanta' and 'Korona'. *Sci. Hortic.*, 103: 289-303.
- Serjeant, E.P. and B. Dempsey, 1979. Ionization Constants of Organic Acids in Solution, IUPAC Chemical Data Series No. 23. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Singh, K., B. Singh and R.R. Singh, 2012. Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena*, 96: 57-67.
- Sinsabaugh, R.L., R.K. Antibus, A.E. Linkins, C.A. Mcclaugherty, L. Rayburn, D. Repert and T. Weiland, 1993. Wood decomposition: Nitrogen and phosphorus dynamics in relation to extracellular enzyme activity. *Ecology*, 74: 1586-1593.
- Skiredj, A., 2005. Fertilization of vegetable crops. General and Calculation of Nutrient Solutions. Department of Horticulture/IAV Hassan II/Rabat-Morocco.
- Tagliavini, M., E. Baldi, P. Lucchi, M. Antonelli, G. Sorrenti, G. Baruzzi and W. Faedi, 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria x Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *Eur. J. Agron.*, 23: 15-25.
- Tong, D. and R. Xu, 2012. Effects of urea and (NH₄)₂SO₄ on nitrification and acidification of ultisols from Southern China. *J. Environ. Sci.*, 24: 682-689.
- Urrestarazu, M., M. del Carmen Salas, D. Valera, A. Gomez and P.C. Mazuela, 2008. Effects of heating nutrient solution on water and mineral uptake and early yield of two cucurbits under soilless culture. *J. Plant Nutr.*, 31: 527-538.
- Vaughn, S.F., N.A. Deppe, D.E. Palmquist and M.A. Berhow, 2011. Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. *Ind. Crops Products*, 33: 514-517.
- Vdovic, N., J. Obhodas and K. Pikelj, 2010. Revisiting the particle-size distribution of soils: Comparison of different methods and sample pre-treatments. *Eur. J. Soil Sci.*, 61: 854-864.
- Wardle, D.A., L.R. Walker and R.D. Bardgett, 2004. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science*, 305: 509-513.
- Wong, V.N.L., R.S.B. Greene, R.C. Dalal and B.W. Murphy, 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: A review. *Soil Use Manage.*, 26: 2-11.
- Yuan, B.C., Z.Z. Li, H. Liu, M. Gao and Y.Y. Zhang, 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil. Ecol.*, 35: 319-328.

Chapitre 4

Publication internationale

2

*Intégration des données
multi sources dans un
systèmes SIG
du sol*



Research Article

ISSN : 0975-7384
CODEN(USA) : JCPRC5

Search for medicinal plants with pharmaceutical use by integration of the physical and biotic informations in a geographic information system: The interface steppe region - Saharan region (Algeria)

Tadjeddine N.¹, Regagba M.¹, Mederbal K.¹, Tadjeddine A. F.¹, Josa R.^{1,2}, Mas M. T.², Verdú A. M. C.², Regagba Z.¹ and Bousmaha A. M.³

¹Université de Mascara, Laboratoire : LREEG. Mascara Algérie

²Universitat Politècnica de Catalunya : DEAB, ESAB. Espagne

³Direction de Météorologie El Bayadh Algérie

ABSTRACT

Algeria is a large, rich country in flora and fauna. The objective of this study was the integration of biological and physical data in a GIS for research of medicinal plants. The use of GIS has allowed us to create several maps of the interphase region steppe-region Saharan Africa, and discover that *Stipa tenacissima* was the most dominant species. The plant could be a promising source of bioactive compounds and drugs.

Key words: *Stipa tenacissima*, GIS, Algeria, Medicinal plants.

INTRODUCTION

Algeria is a big northern African country, more than five times the size of California [1]. Its rich flora may be a promising source of new drugs. Knowledge of plant biodiversity in arid regions may contribute to understanding and controlling the human impact on the environment. Steppe ecosystems specifically, interface region steppe- African Sahara with mainly pastoral vocation, are a promising source of medicinal plants and thus new drugs [2-6]. Unfortunately, these ecosystems are exposed to high degradation resulting in reduction of the biological potential and disruption of ecological and socio-economic equilibrium.

GIS or geographic information systems combine different methods and computer technology that can mobilize, capture digitally, store, manage, view, analyze, represent objects or collections of objects, with the particularity to take into account their spatial characteristics as well as descriptive attributes attached thereto. Indeed GIS designation covers a wide variety of software implementation built to different choices to features and broad performance [7].

Our researches aim to understand the functioning of these ecosystems and the establishment of a system for acquiring information that could lead to clarify the relationship between plant biodiversity and other environmental factors [8].

The main objective of this study is integration of multi-source data (satellite imagery, field observations, or other available data generated thematic ...) of a rich region of medicinal plants and biopharmaceuticals in a geographic information system (GIS).

EXPERIMENTAL SECTION

For our study, we chose the steppe pre-Saharan interface region in western Algeria. This territory represents a biologically and ecologically particular entity. Our study area is divided into six stations, established and chosen in two transects North-South and East-West. Sites were located by Global Positioning System (GPS) and a Staff Map Scale 1 / 50,000 or 1/25, 000 of the study area was used. Data processing was performed by the Software Map Info Professional (8-5 Original Version) [9].

Functional analysis involved accessing data (requests) and representations (maps, cartographic edition) and the use of a library of map symbols specific to the study area. We then looked for GIS solution, it consists of critical examination of various possible technical scenarios for the application and, secondly, the choice of good prototype for the application with, in particular, the choice of program (s) as MapInfo.

Finally we proceeded to data modelling to translate the real world with all its complexity in data structures by checking the documents to be scanned (graphics plans); fixing of scanning parameters such as resolution; choosing the recording format; timing scanned image; indexing and fitting scanned boards; vectorization, either manual or automatic. Furthermore, we've carried out the collection of data necessary for the achievement of expected results as previously described [10].

RESULTS AND DISCUSSION

Geographical situation of the study area is shown on maps at different scales (fig 1).

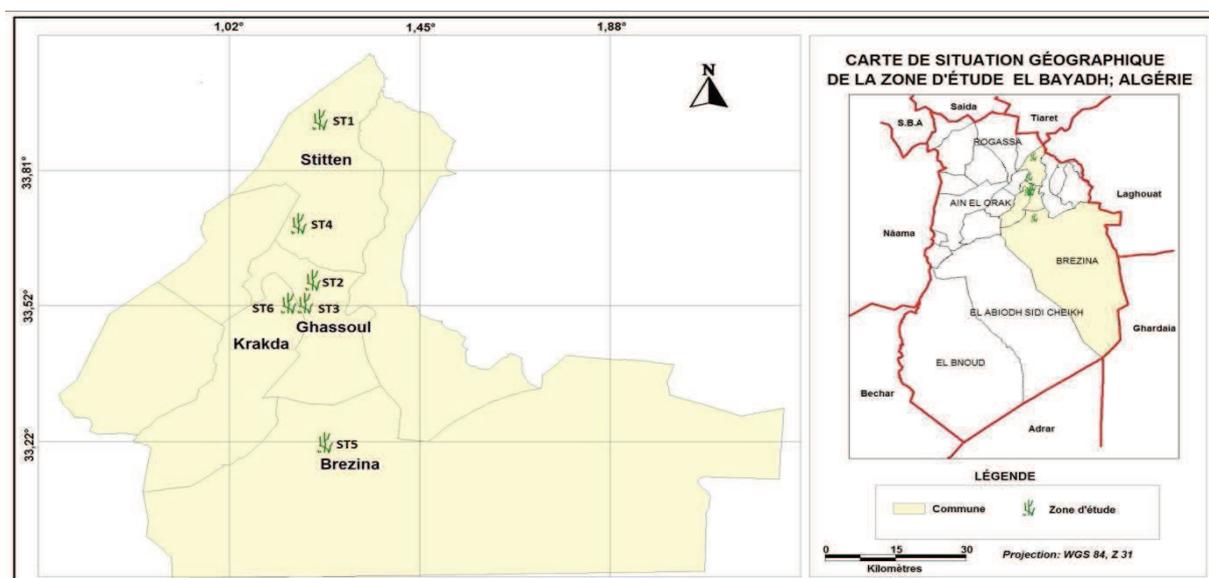


Figure 01. Geographical localization of the study aeria

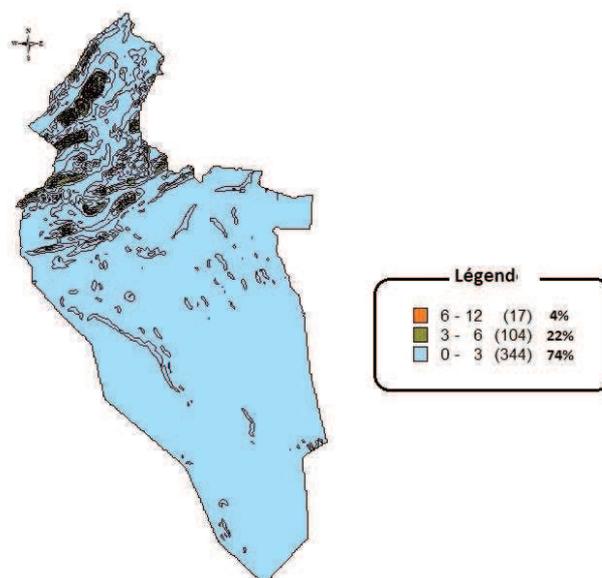


Figure 02. Slopes map of the study area

With the GIS processes we obtained in a short time an image containing the value of all the slopes (Fig.02). The slope informs us, plus the profile, the greater or lesser ability to runoff the land. The slope class 0-3% characterizes all funds valleys, plains and plateaus. This class demonstrates the stability of the ground with a low risk of erosion. The slope class 3-6% characterizes the plateau land or low hills foothills. The slopes of 6-12% class most often characterized foothills areas that are an extension of mountains of the study area. These are usually courses and forest land courses (light scrub). Erosion risks are present with onset of signs caused by overland flow [11].

The study area is characterized by high altitudes (1100 m on average), the highest reaches 1200 m and lower range between 1000 and 1100 m. These findings show that the irregularities are unimportant (Fig 03). This space is characterized by arid climate, low rainfall, irregularity and the harmful effects of sirocco. Substrate is relatively encrusted with limestone dominance generating only low horizons. The latter are severely affected by wind erosion. Relief of the study area is quite diverse since it differs from the plains, plateaus and mountainous area. Thus, physiographic regions are characterized [12].

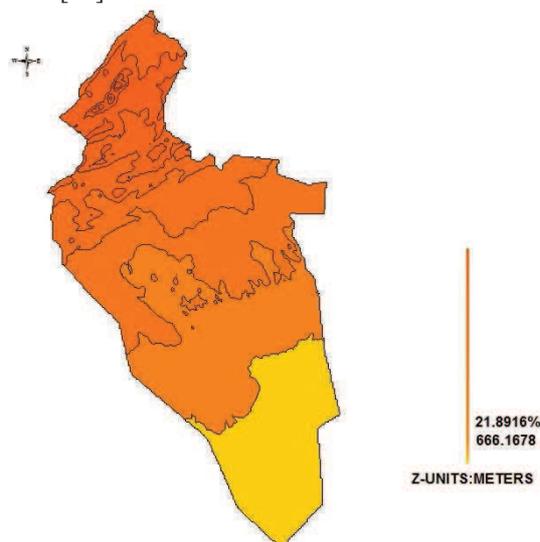


Figure 03. Contour map of the study area

The effect of exposure is particularly important and is reflected in the difference between the north side and south side of the mountains, or between the two sides of a valley when the latter has a generally east –west direction. The presence of a cliff facing south protects lands in his foot against the north winds, concentrates the light and determines a significantly warmer local climate than the rest of the study area [10].

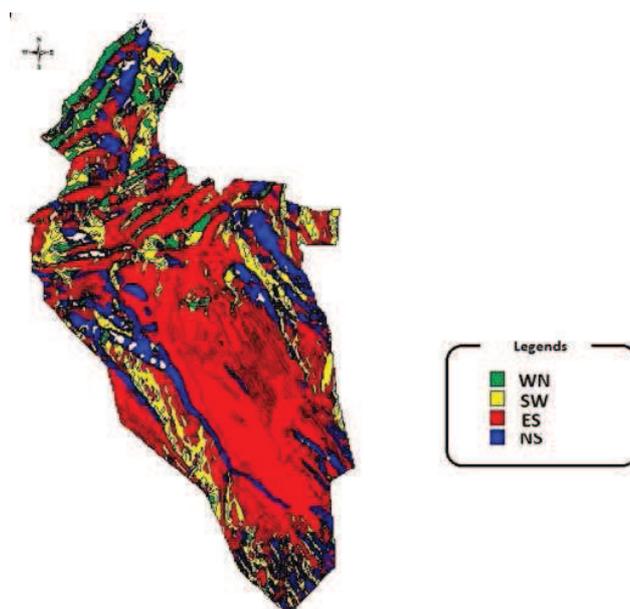


Figure 04. Exposure map of the study area

We noticed the predominance of clear and dense scrub trees, consisting of Aleppo pine forests. It is appropriate to note the dominance of hardy species characteristics of the semi-arid bioclimatic stage. Interestingly, we found that Alfa, *Stipa tenacissima*, is the most dominant species in these forest areas (Fig 05). It has been reported that the plant possess an anti-crystallisation Calcium Oxalate Urolithiasis activity [13]. *Stipa tenacissima* is a rich source of lignins with promising potentials. Indeed, lignins of *Stipa tenacissima* have shown a high antioxidant capacity over a range of concentrations that are not harmful to normal human cells [14]. Promising anticancer properties of Soda lignin, dioxane lignin and milled lignin from the plant have been demonstrated [15].

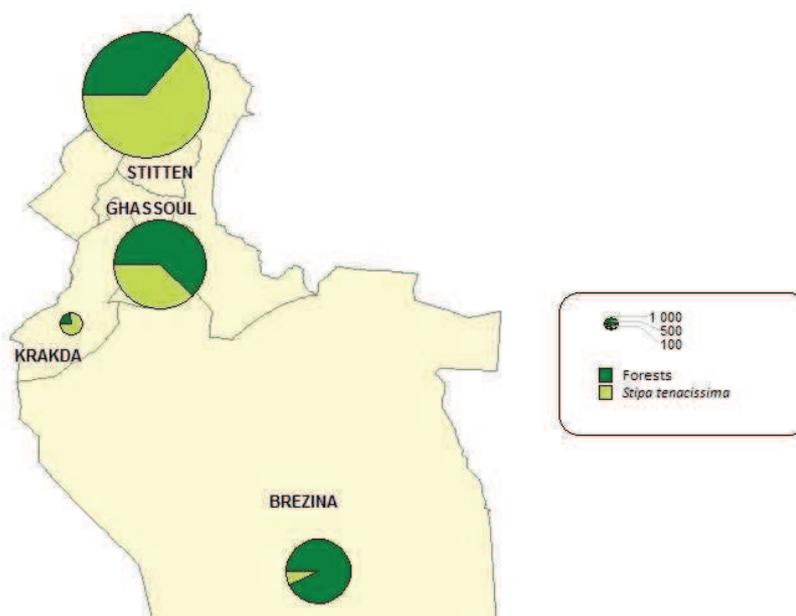


Figure 05. Distribution of forests and *Stipa tenacissima* in the study area

CONCLUSION

At the end of our work, we were able to create maps using a GIS and effectively inexhaustible source of information in a reasonable time, this allows us to offer a development model for the rational use of space (soil and vegetation). The most important finding of the present study was the importance of *Stipa tenacissima* in the study area, as a source of bioactive compounds and pharmaceutical substances to valorize.

REFERENCES

- [1] Benarba B; Meddah B; Hamdani H. *Excli J*, **2014**,13, 709-723.
- [2] Benarba B; Meddah B; Tir-Touil A. *Adv Pharmacol Sc*, **2014**, 2014, 1-4.
- [3] Benarba B; Ambroise G ; Aoues A ; Meddah B ; Vazquez A. *International Journal of Green Pharmacy*, **2012**, 6, 45-49.
- [4] Benarba B; Meddah B; Aoues A.. *J Ethnopharmacology*, **2012**,141, 510-516.
- [5] Benarba B; Meddah B. *J Intercultural Ethnopharmacol* **2014**. 3, 150-154.
- [6] Moumen Chentouf W; Benzekoura S; Chouiref S; Benarba B. *J Chem Pharmal Res*, **2015**, 7(4), 963-966.
- [7] Baudat J. Systèmes d'informations localisés pour l'aménagement des parcours. *Editions universitaires* **2003**. 42-43.
- [8] Mederbal K ; Josa R ; Mas MT; Verdu AMC ; Tedjeddine N ; Regagba Z ; Ouldali O ; Khader M ; Boukhari Y. Contribution à l'étude de la qualité des sols de la steppe algérienne (cas du secteur « El bayadh- Brezina » Ouest de l'Algérie. Séminaire International « La Préservation et la Mise en Valeur de l'Ecosystème Steppique» . Université de M'SILA. F.S.S.I - Département d'Agronomie. M'Sila, Algeria **2010**.
- [9] Mederbal K; Josa R; Mas MT; Verdu AMC; Tedjeddine N; Regagba Z; Ouldali O; Khader M; Boukhari Y. Ecosystèmes steppiques (cas El bayadh- Brezina) :caractérisation et proposition d'une fiche de travail sur terrain. Séminaire International « La Préservation et la Mise en Valeur de l'Ecosystème Steppique» . Université de M'SILA. F.S.S.I - Département d'Agronomie. M'Sila, Algeria **2010**.
- [10] Haddouche I; Mederbal K; Saidi S. *Revue SFPT* **2007**, 185, 1-12.
- [11] Hamimed A ; Mederbal K ; Khaldi A. Utilisation des données satellitaires TM de Lansat pour le suivi de l'état hydrique d'un couvert végétal dans les conditions semi-arides en Algérie. *Téledétection* **2001**, 2,29-38.
- [12] De Graaf GJ ; Marttin F ; Manjarrez JA; Jenness J. Geographic information system in fisheries management and planning. *FAO Technical report No 449*, **2003**.
- [13] Beghalia M; Ghalem S; Allali H; Belouatek A; Marouf A. *Malaysian Journal of Biochemistry and Molecular Biology* **2008**, 16(1), 11-15.
- [14] Ugartondo V; Mitjans M; Vinardell MP. *Bioresource Technology* **2008**, 99, 6683–6687.
- [15] Nadji H; Diouf PN; Benaboura A; Bedard Y; Riedl B; Stevanovic T. *Bioresour Technol* **2009**, 100(14), 3585-92.

Chapitre 5

Valorisation des ressources naturelles

III.5. Valorisation de l'*Eruca vesicaria*.

Notre problématique est d'ordre bio-écologique et socio-économique, la steppe algérienne étant une grande étendue écologiquement très intéressante. Elle constitue interface entre la région tellienne et la région Saharienne ; à vocation pastorale, elle est soumise à une forte pression anthropozoïque et les plantes fourragères y sont très précieuses. Nos préoccupations et nos réflexions portent sur la construction d'une stratégie permettant de valoriser les espèces autochtones qui sont écologiquement intéressantes.

L'Algérie est reconnue pour sa biodiversité végétale ; plusieurs espèces, telle que l'*Eruca vesicaria* (photos III-6), sont utilisées en préparation culinaire et fourragère. Nous avons alors sélectionné comme objet de notre étude la valorisation de cette espèce spontanée autochtone. C'est une plante méditerranéenne de la famille des Brassicaceae, à capacité de régénération très grande et présentant des potentialités pastorales intéressantes (Ozenda, 1983).

La première étape a porté sur l'étude de la toxicité aigüe de la plante, une étude phytochimique de la plante fraîche (floraison) et naturellement sèche (après fructification). Nous avons ainsi démontré la non toxicité de cette plante et nous nous sommes assurés de son innocuité comme une alimentation saine animale et humaine.

La deuxième étape a été consacrée aux problèmes de la résistance bactérienne aux antibiotiques ; nous avons réalisé des expériences *in vitro* sur l'activité d'extraits aqueux, éthanolique et organique de l'*Eruca vesicaria* vis-à-vis de quelques souches microbiennes.

La première récolte de l'*Eruca vesicaria*, à l'état de floraison, était faite le mois d'avril et la deuxième, après la fructification mai 2013.

III.5.1 Etude toxicologique de la plante fraîche et sèche

Après l'extraction des deux extraits aqueux de la plante verte (PV) et de la plante sèche (PS), des tests de toxicité aigüe sont effectués durant trois semaines, sur des rats Wistar mâles du même âge et dont le poids est compris entre 240 g et entre 250 g. La dose administrée est de 03 g/kg par gavage. Les tests sont réalisés en trois répétitions (Robert, 1986).

III.5.2. Etude phytochimique de la plante fraîche et sèche

Dans cette optique, nous nous sommes intéressées à l'étude qualitative et quantitative de quelques composés ayant un impact sur la qualité nutritionnelle de cette espèce utilisée par la population locale de la zone d'étude comme aliment culinaire à l'état frais et broutée par le cheptel lorsqu'elle devient sèche.

Trois solvants de polarité différente sont utilisés l'extraction aqueuse et éthanolique: l'eau distillée, l'éthanol et l'éther. L'extraction se fait par infusion du matériel végétal à raison de 10%. Les extraits obtenus ont fait l'objet de plusieurs tests phytochimiques .

Nous avons recherché la présence des tanins, flavonoïdes, alcaloïdes, saponosides, glucosides cardiotoniques, mucilages, anthraquinones, amidon, anthracénosides et les acides aminés selon les méthodes décrites respectivement par Bruneton, 1999 ; Benmehdi, 1999 ; Karumi, et *al.* ; 2004 et Edeoga et *al.* ; 2005).

Nous avons analysé la teneur en eau selon la norme (AFNOR¹⁷, 1990), les sucres totaux (Dubois et *al.* , 1956), les protéines par la méthode de Kjeldahl (AFNOR¹⁸ 1977), les composés phénoliques au bleu de Prusse (Martin et *al.* ; 1977), la matière minérale selon (Lafon et *al.* ; 1998). Le dosage des sels minéraux (K, Na, Ca) se fait par spectrophotomètre à flamme et celui de la cellulose brute selon la méthode (AFNOR 1990).

III.5.3. Détermination du rendement des extraits secs

Le rendement est déterminé par le rapport du poids de l'extrait sec après évaporation sur le poids de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction (Bekhechiben, 2001).

$$\text{Rd \%} = (\text{m1 X 100}) / \text{m0}$$

m1 : masse en gramme de l'extrait sec ;

m0 : masse en gramme de la matière végétale sèche ; Rd : rendement

¹⁷ Recueil de normes françaises. Méthodes d'analyses françaises et communautaires. Aliments des animaux. Dosage de la teneur en eau. Paris. 1990

¹⁸ Recueil de normes françaises. Méthodes d'analyses françaises et communautaires. Aliments des animaux. Dosage de la teneur en protéines. Paris. 1977

III.5.4. Evaluation de l'effet antibactérien de l'extrait aqueux et organique d'*Eruca vesicaria*

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux et organique et leurs fractions respectives ; par deux méthodes : une méthode qualitative (diffusion sur gélose), et une méthode quantitative de dilution en milieu solide pour déterminer les concentrations minimales inhibitrices (CMI).

Le choix des bactéries a été porté sur des souches de références, fréquentes en pathologie humaine. Nous avons testé des bactéries bénéfiques, probiotiques qui jouent un rôle primordial dans l'équilibre de notre microbiote intestinal. Des bactéries à Gram négatif telles *Pseudomonas aerogenosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella thyphi*, *Proteus mirabilis* et à Gram positif telles que *Staphylococcus aureus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Avant utilisation, la pureté et l'identité des souches bactériennes ont été confirmées par des tests biochimiques conventionnels. Les bactéries sont soumises à plusieurs examens d'identification (caractérisation macroscopique et microscopique) et des tests biochimiques (Fauchère, 1997).

III 5.4.1. Méthode de diffusion (test de sensibilité)

A partir d'une culture pure de 18- 24 heures sur milieu non sélectif adapté aux exigences de chaque souche bactérienne, une suspension inoculum en eau physiologique stérile est réalisée pour chaque souche bactérienne.

La standardisation a été effectuée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 620 nm. La densité optique mesurée (DO) doit être comprise entre 0,08 et 0,1 ce qui correspond à une concentration de 10^7 à 10^8 UFC/ml selon Mc Ferland. L'inoculum estensemencé par inondation sur milieu gélosé Mueller Hinton (Guerin-Fauble, 1999).

Les disques imprégnés par les différentes dilutions (100, 50 et 25 mg/ml) de l'extrait aqueux et organique à raison de 20 µl, sont délicatement déposés à la surface de la gélose. Des disques témoins imbibés seulement par le Diméthyl sulfoxyde (DMSO) ont été réalisés.

Les boîtes de Pétri sont d'abord laissées pendant 30 minutes pour une pré-diffusion de l'extrait avant d'être incubées à 37°C pendant 24 h. La lecture selon la présence ou non d'une zone d'inhibition a été observée (Minakchi *et al.*; 2003) et (Guinoiseau, 2010).

III.5.4.2. Méthode de dilution (Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI).

Cette méthode consiste à placer 1 ml de l'inoculum bactérien au contact de concentrations croissantes des extraits aqueux et organique dans des tubes. La gamme de concentration des deux extraits est préparée par la méthode de la double dilution selon une progression géométrique de raison 1/2 à partir de 200 mg/ml. Tous les essais sont réalisés en Duplicata.

La CMI est la plus faible concentration de la substance pour laquelle il n'y a pas de croissance visible à l'œil nu après un temps d'incubation de 18 à 24h. Sa détermination se fait par observation du trouble induit par la croissance des germes étudiés dans chaque tube.

III.5.5. Résultats

III.5.5.1. Résultat de l'étude toxicologique

Les tests de toxicité aigüe mesurent montrent qu'il n'y a pas de différence entre les deux extraits. Nous n'avons détecté ni signe de toxicité, ni mortalité, ni chute de poids corporel. Ce résultat est cohérent avec l'utilisation traditionnelle de l'*Eruca vesicaria* comme plante culinaire et fourragère figure (III-19).

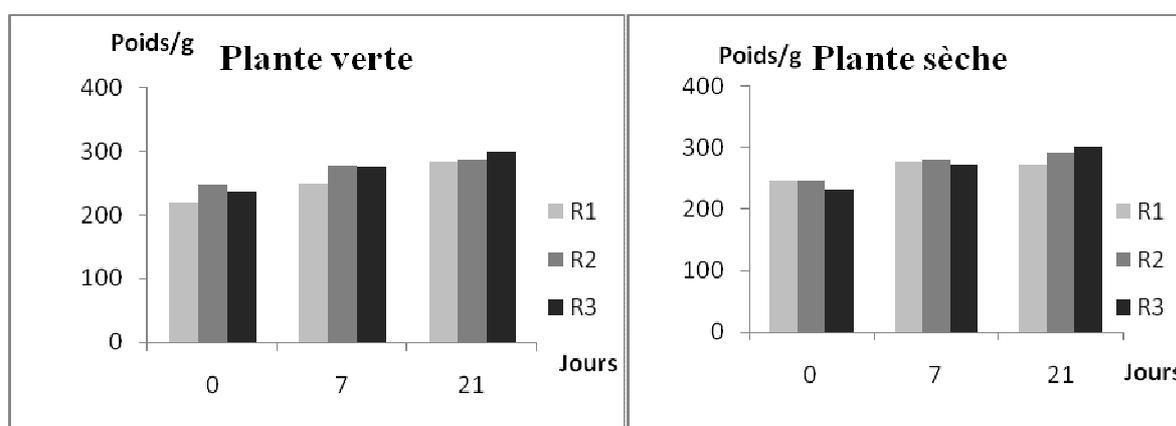


Figure III -19: Test de toxicité aigüe de la plante verte et sèche chez les rats Wistar

III.5.5.2. Résultats de l'étude phytochimique

II.5.5.2.1. Etude qualitative

Les résultats montrent la présence des tanins dans les deux extraits aqueux de plante fraîche (floraison) et sèche (après fructification). Cette famille de composés est extraite par l'eau pour la plante fraîche et par l'eau et l'éthanol pour la plante sèche.

De même, les alcaloïdes et les flavonoïdes sont retrouvés dans les deux extraits.

Les glucosides cardiotoniques, extraits par les différents solvants, sont richement présents dans les deux plantes ainsi que les mucilages et les coumarines.

Néanmoins les anthracénosides et les anthraquinones sont absents. Quant aux acides aminés et aux saponosides, ils sont présents dans les deux plantes mais avec des caractéristiques d'extraction différentes. Par contre l'amidon n'est présent que dans la plante sèche (Tableau III-7).

Tableau III -7: Comparaison entre e la plante fraîche et la plante sèche

Test	Plante	Plante fraîche			Plante sèche		
		Extrait aqueux	Extrait étherique	Extrait éthanolique	Extrait aqueux	Extrait étherique	Extrait éthanolique
Tannins		+	-	-	+	-	+
Flavonoïdes		+	-	-	+	-	+
Alcaloïdes	Mayer	+	-	-	-	-	+
	Wagner	+	-	-	+	-	+
	Dragendroff	+	-	-	+	-	+
Glucosides cardiotoniques		+	+	+	+	+	+
Mucilage		+	/	/	+	/	/
Coumarine		+	/	+	+	/	+
Saponosides	Test (1)	+	/	-	-	/	-
	Test (2)	-	+	+	-	+	+
	Test (3)	+	/	+	+	/	+
Acides aminés		+	+	+	-	/	+
Amidon		-	/	/	+	/	/
Anthracénosides		/	/	-	/	/	-
Anthraquinones		Test négatif réalisé sur la poudre de la plante					

+ : test positif

- : test négatif

/ : test non effectué.

III.5.5.2.2. Etude quantitative

Nous avons mesuré un taux d'humidité très différent entre la plante fraîche (61,46%) et la plante sèche (34,66%). La même observation s'applique à la teneur en matière sèche qui est 38,54% pour la plante fraîche et de 65,34% pour la plante sèche.

De plus, on a enregistré un taux plus élevé des sucres totaux dans la plante sèche (4,27%) par rapport à la plante fraîche (3,16%). Le taux des protéines est par contre plus élevé pour la plante fraîche (1,08%) que pour plante sèche (0,8%).

La teneur en composés phénoliques est de (0,40%) dans la plante sèche et de (0,24%) dans la plante fraîche.

Nos avons mesuré une valeur élevé de la cellulose brute dans nos échantillons, celle de la plante sèche (17,1%) étant légèrement inférieure à celle de la plante fraîche (18,35%).

Le taux la matière minérale est de 3,10% dans la plante fraîche et seulement de 1,63% dans la plante sèche. La teneur en matière minérale est pratiquement deux fois plus importante dans la plante fraîche que dans la plante sèche, ce qui est considérable.

La teneur en Ca dans la plante sèche (0,65%) est plus importante que celle de la plante fraîche (0,01%).

Le potassium est présent avec un taux de 0,1% dans la plante fraîche et de 0,22%. Pour la plante sèche, le taux de Na s'élève 0,55% dans la plante fraîche alors qu'il n'est que 0,08% dans la plante sèche (tableau III-8).

Tableau III-8: Dosage quantitatif sur les plantes, sèche et fraîche

Plante Composé	Plante fraîche	Plante sèche
Humidité	61,46%	34,66%
Matière sèche	38,54%	65,34%
Sucres totaux	3,16%	4,27%
Protéines	1,13%	0,80%
Composés phénoliques	0,24%	0,40%
La cellulose brute	18,35%	17,10%
Matière minérale	3,10%	1,63%
Ca	0,01%	0,65%
K	0,10%	0,22%
Na	0,55%	0,08%

- **Discussion**

La présence des tannins dans l'*Eruca vesicaria* peut lui conférer des propriétés antiseptiques, anti oxydantes et antibactériennes. Les tannins favorisent aussi la régulation des tissus en cas de blessures superficielles ou de brûlures (Bruneton 1999).

Les flavonoïdes rassemblent une large gamme de composés phénoliques ; ce sont des pigments responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Leur extraction est beaucoup plus importante dans la plante sèche que celle de la plante fraîche.

Les flavonoïdes ont des effets hypoglycémiantsethypocholestérolémiant. Ils favorisent la relaxation vasculaire et empêchent l'agglutination des plaquettes sanguines et par conséquent ils réduisent la coagulation du sang et favorisent la fluidité du sang (Guigniard, 1996). Aussi, ils agissent comme antioxydant, certains d'entre eux sont des anticancéreux et inhibent la croissance des cellules tumorales (Bruneton, 1999).

Les alcaloïdes forment une grande famille hétérogène de métabolites secondaires qui présentent un intérêt thérapeutique par leurs propriétés pharmacologiques et leurs applications en médecine

Eruca vesicaria contient des coumarines qui peuvent donner à la plante des propriétés anti inflammatoires et des effets hémostatiques (William, 2003).

Les résultats obtenus confirment la présence des saponisides dans la plante étudiée. Les saponosides sont des hétérosides de stérols ou triterpènes ; la combinaison d'un triterpène hydrophobe et d'un glucide hydrophile confère aux saponosides des propriétés de tensionactives ou de détergeant. Ils facilitent l'absorption alimentaire (Richter 1993) et possèdent aussi d'autres propriétés anti tumorales et antidiabétique (Iserin, 2001).

La formation de deux phases colorées en rouge brun dans tous les extraits préparés indique la présence des glucosides cardiotoniques.

Nous avons remarqués la présence d'amidon dans la plante sèche, alors qu'il est absent dans la plante fraîche. Ce résultat confirme la différence de composition de la plante dans les deux états.

Nos résultats indiquent que le taux d'humidité est de 61,46% dans la plante fraîche et de 34,66% dans la plante sèche. Par conséquent le taux de la matière sèche s'abaisse quand la teneur en eau augmente, ce qui est prouvé dans nos résultats, puisque dans la plante fraîche le taux est de 38,54% et alors qu'il est de 65,34 dans la plante séchée spontanément.

Selon Roux, (2007), les sucres sont les constituants de base les plus abondants et les plus importants dans le règne végétal. Les sucres totaux représentent une source d'énergie incontournable pour l'être humain (Boulangier et *al.*; 1979). Leur teneur est élevée dans la plante fraîche par rapport à la plante sèche, ce qui indique qu'elle est plus énergétique, comparée à l'état sec.

Les cendres représentent une forme de sels minéraux. Ces derniers sont essentiels pour la nutrition humaine.

Nos résultats révèlent une teneur en protéines avec un taux de 1,08% dans la plante fraîche et de 0,45% dans la plante sèche.

La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-glucose et représente le principal constituant des végétaux et en particulier de la paroi de leur cellules. Dans notre étude, on a enregistré une teneur élevée de la cellulose brute avec une valeur importante de 18,35% pour la plante fraîche et en parallèle un taux de 17,1% dans la plante sèche, ce qui indique que la plante fraîche destinée à l'alimentation humaine est plus riche en fibres de cellulose. La plante sèche est consommée par les animaux herbivores qui utilisent en général des enzymes d'origine exogène, produites par certaines bactéries de la flore intestinale pour digérer la cellulose (Roland, 2001). La plante sèche est aussi riche en cellulose ce qui représente une source énergétique très importante pour les herbivores.

Les polyphénols sont des composés très précieux, présents spécifiquement chez les végétaux. La teneur en polyphénols est de 0,24% dans la plante fraîche et de 0,40% dans la plante sèche. Leur présence dans *Eruca vesicaria* indique que cette dernière peut avoir un effet anti oxydant et antibactérien ainsi qu'un rôle protecteur contre les insectes.

III.5.5.3. Rendement de différents extraits

Le calcul des rendements permet non seulement d'apprécier des extraits d'une plante, mais également d'envisager la quantité des parties de la plante à prélever en cas de besoin pour une étude similaire éventuelle ; cette démarche permet de rationaliser et rendre durable l'utilisation rationnelle des espèces sélectionnées. L'extrait aqueux présente un rendement très important de 20,02 % par rapport à l'extrait éthanolique qui s'élève à 03,20% seulement (figure III-20).

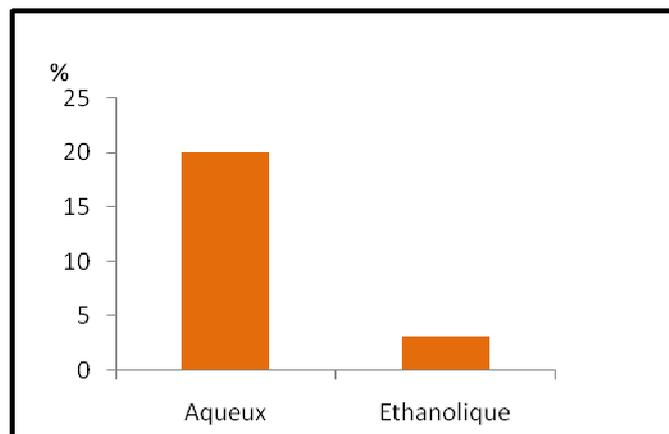


Figure III-20: Rendement de l'extraction éthanolique et aqueuse



Photos III-6 : *Eruca vesicaria* région de Boussemgoun (original)

III.5.5.4 Résultats de l'effet antibactérien des extraits

A partir de l'ensemble de plusieurs essais, nous observons une croissance normale de la souche sur la boîte contenant le témoin le diméthylsulfoxyde (DMSO).

Les résultats consignés dans le tableau III-9 montrent que concentration testées, l'extrait aqueux a une bonne activité inhibitrice sur les souches bactériennes avec un diamètre d'inhibition de 20mm sur *S. typhi* et 18 mm sur *S. aureus* à la concentration de 200 mg/ml. Par ailleurs, à cette concentration, une résistance est observée pour *Lactobacillus bulgaricus*.

Tableau III-9: Diamètres (mm) des zones d'inhibition des deux extraits

Souches	Extrait aqueux mg/ml				Extrait éthanolique mg/ml			
	200	100	50	25	200	100	50	25
<i>Staphylococcus aureus</i>	18	10	08	06	10	08	00	00
<i>Pseudomonas aerogenosae</i>	14	10	08	04	00	00	00	00
<i>Proteus mirabilis</i>	15	10	08	06	06	04	00	00
<i>Salmonella thyphi</i>	20	15	06	02	06	02	00	00
<i>Echerichia coli</i>	14	12	08	06	14	12	00	00
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	00				00			

Nous observons une diminution progressive de l'intensité du trouble induit par la croissance des bactéries au fur et à mesure que la concentration de l'extrait végétal augmente. La souche *S. thyphi* est plus sensible avec des valeurs de CMI de 06,2 mg/ml. La plus grande valeur de CMI a été observée avec la souche d'*E. coli* et *Pseudomonas aerogenosae* (25mg/ml) tableau III-10.

Tableau III-10 : Résultats de la CMI

Bactéries	CMI mg/ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	12,5
<i>Pseudomonas aerogenosae</i>	25
<i>Proteus mirabilis</i>	12,5
<i>Salmonella thyphi</i>	06,5
<i>Echerichia coli</i>	25

• Discussion

Les extraits aqueux de l'*Eruca vesicaria* se sont révélés actifs avec un degré relativement différent, lié au contenu des extraits et aux substances bioactives. D'après les résultats obtenus, il apparaît que toutes les souches bactériennes testées sont inhibées, confirmant ainsi le spectre large d'activité de cette plante.

L'extrait aqueux d'*Eruca vesicaria* semble avoir l'effet inhibiteur le plus puissant notamment sur les souches *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella typhi* présentant respectivement un diamètre des zones d'inhibitions de 18, 14, 15, 20 et 14 mm.

Par contre l'extrait éthanolique présente un effet inhibiteur seulement sur *E.coli* (14mm) et *Staphylococcus aureus* (10mm).

Par ailleurs, une résistance de *Lactobacillus bulgaricus* est constatée en présence des différentes concentrations des deux extraits.

A la lumière de nos résultats préliminaires, nous déduisons que cette plante possède un potentiel inhibiteur bactérien prometteur sur les souches pathogènes testées avec un niveau d'action variable étant donné que chacune possède un métabolisme particulier.

L'activité d'une substance végétale dépend de plusieurs facteurs dont le mode d'extraction et la concentration en principes actifs. Compte-tenu de la diversité des molécules présentes dans les extraits, l'activité antibactérienne semble résulter d'une combinaison de plusieurs modes d'action (Kalemba ,2003).

L'hydrophobicité de certaines molécules présentes permet leur solubilisation dans les membranes de la cellule bactérienne, ce qui provoque une déstabilisation de la structure et une augmentation de la perméabilité membranaire (Sikkem, 1995).

La phytochimie d'*Eruca vesicaria* a révélé la présence des flavonoïdes, des saponines, des glycosides, des alcaloïdes et des tanins. Ces composés ayant des propriétés antibactériennes connues, leur présence pourrait donc expliquer les propriétés antimicrobiennes observées.

Par manque de données antérieures sur l'activité antimicrobienne de cette plante, aucune comparaison n'est possible au stade de cette étude.

III.5.6. Conclusion

Notre région d'étude est à vocation pastorale, soumise à une forte pression anthropozoïque où les plantes fourragères sont très précieuses.

Plusieurs espèces, telle que sont utilisées comme plantes fourragères et même en préparation culinaire telle que l'*Eruca vesicaria*. Notre objectif principal est de mettre en évidence l'intérêt de cette espèce autochtone; l'*Eruca vesicaria* est une espèce culinaire destinée à l'alimentation humaine lorsqu'elle est fraîche ainsi fourragère lorsqu'elle devient sèche.

A la lumière de nos résultats, nous déduisons que l'*Eruca vesicaria* dans son état frais renferme des métabolites considérables : eau (61,46%), protéines (1,8%), cellulose brute (18,35%), sucre (3,16%) et matière minérale (3,1%) ; par contre dans son état sec elle contient plus de sucres (4,27%) et de composés phénoliques (0,4%) et moins d'eau (34,66%), de protéine (0,8%) et de matière minérale (1,63%).

La plante est très riche en plusieurs familles chimiques d'intérêt biologique et pharmacologique important; citons les coumarines, le mucilage, les tannins, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les glucosides cardiotoniques.

L'analyse d'évaluation de l'effet antibactérien de la plante d'*Eruca vesicaria* montre qu'elle présente un pouvoir inhibiteur intéressant sur les souches pathogènes testées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nos travaux nous ont permis, à partir d'observations sur terrain et d'analyses de laboratoire, de réaliser un inventaire floristique exhaustif de la région étudiée.

Nous pouvons noter qu'en ce qui concerne ce volet diagnostic du milieu les résultats obtenus sont cohérents et concordent avec la réalité du terrain. Ainsi, l'utilisation d'une fiche d'observation de terrain simple a permis de récolter des données sur les facteurs du milieu les plus pertinents. Quant aux analyses de laboratoire, elles nous ont orientés vers une connaissance approfondie d'espèces végétales phares au niveau des écosystèmes steppiques et sahariens.

Du point de vue écologique et en nous basant sur nos résultats, la région d'étude, même si elle est sérieusement exposée au phénomène de la désertification, présente des potentialités pastorales importantes. L'utilisation de cet espace doit être conduite dans le cadre d'une exploitation durable tenant compte de sa fragilité. La préservation de la qualité des sols joue un rôle essentiel dans la stabilité de ce milieu.

D'après les travaux de terrain, nous avons observé l'existence de variations importantes des indicateurs de milieu, dans certains cas nous avons mis en évidence des règles qui expliquent ces différences. La couverture végétale des sols présente un aspect très caractéristique des régions arides, avec une organisation en taches de végétation entourées des surfaces de sol nu et une distribution spatiale hétérogène et discontinue. Cette organisation de la couverture végétale est associée à la morphologie du terrain de surface des sols. Là où la végétation se développe, un sol plus meuble, moins compacté et plus riche en matière organique prédomine. L'espace entre taches de végétation est constitué d'un sol nu, soumis à des conditions encore plus arides.

L'organisation de la couverture végétale et des horizons supérieurs est importante pour comprendre le fonctionnement écohydrologique des unités de paysage. Le sol nu, par ses caractéristiques hydrodynamiques, contribue positivement à l'alimentation hydrique des plantes se développant dans les taches de végétation. En même temps, cette organisation conditionne la distribution spatiale des éléments nutritifs, ce qui fait que pour étudier la fertilité naturelle de ces sols on doit prendre en compte cette variabilité latérale et spatiale. Lors de la réalisation d'un transect Nord-Sud dans notre zone d'étude nous avons constaté une distribution variable des taches de végétation et du sol nu.

Conclusion générale

Au Nord (El Bayadh) le couvert végétal est presque continu, les surfaces de sol nu étant pratiquement isolées. Par contre au sud (Brézina) cette distribution est inversée et l'espace est dominé par le sol nu.

La démarche LFA est une procédure conçue pour caractériser et suivre le fonctionnement d'un écosystème comme un système biogéochimique. Elle utilise des indicateurs simples qui présentent deux avantages. Le premier est la simplicité de la procédure expérimentale qui permet de faire des mesures répétées dans le temps, et d'accéder à l'évolution temporelle du milieu (séries temporelles). Elle est très souple et applicable à des milieux et des écosystèmes diversifiés. Par exemple elle a été mise au point pour des régions arides et semi arides de l'Australie (Ludwig et *al.*; 1997). Elle a été appliquée avec succès dans les domaines du contrôle de la progression de l'érosion (Tongway et *al.*; 2000), dans des sites dégradés par l'activité humaine (Maestre et *al.*; 2004) et même dans la restauration des sites dégradés par l'activité minière (Maestre, et *al.*, 2006).

Nous avons décidé d'appliquer cette méthode à une région de la steppe d'Algérie. Un des avantages de cette approche réside dans le fait qu'on peut définir comme patches les surfaces en fonction des connaissances du milieu dont nous disposons à chaque instant et qui peuvent qui peut changer au cours de l'expérimentation. Parfois la présence d'une espèce peut être en elle-même un indice de stabilité ou d'instabilité du système ; dans ce cas notre approche peut être assimilée à l'utilisation traditionnelle du recouvrement végétal des botanistes.

L'approche LFA permet de comparer l'état d'un endroit précis à deux moments différents (évolution dans le temps) ou de comparer plusieurs sites au même moment. Avec une expérimentation de longue durée nous pourrions accumuler des données dynamiques suffisantes pour être en mesure de concevoir des interprétations pertinentes et utiles sur les indices ; évidemment c'est un processus de longue haleine, mais il s'appuie sur une démarche expérimentale robuste et stable, capable de fournir des informations précieuses aux bases de données et aux décideurs. La méthode LFA permet également d'étudier la dynamique de la végétation ainsi que l'habitat en combinant les données les indices de la surface du sol (Tongway et *al.*; 2004)

Nous proposons l'utilisation de ce principe comme une méthodologie simple et rapide pour caractériser l'état de fertilité des sols et contrôler la dégradation, et comme une aide à la

Conclusion générale

prise de décisions relatives à l'aménagement des zones pastorales. Cette approche nous semble constituer une contribution intéressante à l'étude des sols en milieu aride et semi-aride avec une flore autochtone très diversifiée, à l'exception de la St3 dont le sol est occupé par une plantation d'*Atriplex canescens* introduite.

A la lumière de nos résultats, il est possible de déduire que les sols de nos stations d'étude sont des sols sableux, squelettiques à l'exception de la station St4 qui est sablo-limoneuse et calcaire, relativement riche en matière organique, avec un pH alcalin favorisant préférentiellement le développement de la flore bactérienne par rapport à la flore fongique.

Les tests de corrélation montrent que cette diversité est non seulement liée aux paramètres physicochimiques des sols mais également à la communauté microbienne existante et à sa fréquence. La caractérisation microbiologique a révélé une communauté microbienne très diversifiée (flore bactérienne et flore fongique), La flore bactérienne comportant les *Entérobactéries*, les *Staphylocoques sp*, les *Streptocoques sp*, les *Clostridium sulfito-réducteurs*, avec une prédominance des *Pseudomonas sp*.

Les sols steppiques sont fragiles et facilement érodables ; cependant dans cet écosystème un équilibre existe entre les paramètres physicochimiques et microbiologiques supportant une couverture végétale importante plus au moins discontinue, indispensable pour maintenir l'activité pastorale caractéristique de cette région.

Nous pouvons ainsi exercer une surveillance périodique de ces indicateurs qui nous renseignent sur la capacité du sol à supporter la pression anthropozoïque et fournir une aide aux écologistes pour choisir l'espèce qui peut le mieux s'adapter au milieu dans les programmes de réhabilitation de ces zones très sensibles.

Les systèmes d'information géographiques (SIG) regroupent différentes méthodes et techniques informatiques permettant de mobiliser, de saisir sous forme numérique, de stocker, de gérer, de consulter, d'analyser, de représenter des objets ou des collections d'objets, avec la particularité essentielle de prendre en compte leurs caractéristiques spatiales au même titre que les attributs descriptifs qui y sont attachés. En effet la dénomination SIG recouvre une grande variété de réalisations logicielles construites selon des choix différents, aux fonctionnalités et aux performances très diverses.

Conclusion générale

Pour contribuer à la compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes, notre recherche vise à la mise en place d'un système pour l'acquisition des informations pouvant déboucher sur la relation entre la biodiversité végétale et les autres facteurs caractéristiques du milieu ; ces informations alimenteront la base de données dédiée à la gestion des zones arides afin de reconstituer le milieu et revenir à un état d'équilibre par une gestion rationnelle et raisonnée.

A l'issue de notre travail, nous avons pu réaliser des cartes à l'aide d'un SIG source d'information inépuisable et efficace, dans un temps raisonnable et qui pourra permettre de proposer un modèle d'aménagement pour l'utilisation rationnelle de l'espace (sol et végétation) dans l'avenir.

La lutte contre la dégradation des milieux naturels doit mobiliser les compétences, les moyens, le SIG constituant un outil d'investigation et de diagnostic en mesure d'analyser, d'identifier en temps réel des grands espaces, fournissant une aide inestimable aux praticiens du terrain et des réponses ciblées sur les besoins de chaque thématiques.

Les principaux résultats obtenus ont débouché sur la réalisation de différentes cartes ; carte des pentes, carte hypsométrique, carte d'exposition, répartition de la superficie forestière et alfatière.

Notre région d'étude est à vocation pastorale, soumise à une forte pression anthropozoïque où les plantes fourragères sont très précieuses. Plusieurs espèces sont utilisées comme plantes fourragères et en préparation culinaire telle *l'Eruca vesicaria*. Notre objectif principal est de mettre en évidence l'intérêt de cette espèce autochtone ; *l'Eruca vesicaria* est une espèce culinaire destinée à l'alimentation humaine lorsqu'elle est fraîche ainsi fourragère lorsqu'elle devient sèche.

A la lumière de nos résultats, on constate que la composition de *l'Eruca vesicaria* varie avec son état : dans son état frais elle renferme de nombreux métabolites, de eau (61,46%), protéines (1,8%), cellulose brute (18,35%), sucre (3,16%) et matière minérale (3,1%) ; par contre dans son état sec elle contient plus de sucres (4,27%) et de composés phénolique (0,4%) et moins d'eau (34,66%), de protéine (0,8%) et de matière minérale (1,63%).

La plante est très riche en plusieurs familles chimiques d'un grand d'intérêt biologique et pharmacologique ; citons les coumarines, le mucilage, les tannins, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les glucosides cardiotoniques.

Conclusion générale

On peut conclure que les principes actifs de la plante d'*Eruca vesicaria* présentent une activité antimicrobienne importante avec un pouvoir inhibiteur intéressant sur les souches pathogènes testées. Les principes actifs en général et les extraits aqueux en particulier de cette plante jouent un rôle important dans la croissance des germes bénéfiques comme *Lactibacillus bulgaricus*.

Les conditions du milieu steppique et saharien ont favorisé l'installation d'une flore spécifique, adaptée au milieu hostile avec un sol qui supporte cette biodiversité à condition que l'équilibre entre la pression anthropique et socio-économique soit respecté.

La steppe Algérienne a bénéficié des travaux de nombreux scientifiques (citons, sans prétendre être exhaustifs, les travaux de Mederbal K., Benabdeli K., Djebaili S., Aidoud A., Halitim A., Kadik B., Kadi-Hanifi H., Nedjraoui D., Benabadji N., Bouazza M., Benseddik B) et des études de plusieurs directions et bureaux d'étude (DSA BNEDR, ...). Nous pouvons regretter que ces travaux restent souvent cantonnés dans un cadre universitaire et que les bases de données, quand elles existent, sont au niveau des directions, sans presque aucune coordination entre elles.

La poursuite de notre activité s'inscrit dans la continuité du travail présenté. Nos perspectiveimmédiates s'orientent vers des actions destinées à :

1. Rassembler tous les travaux réalisés au niveau de la steppe
2. Créer une banque de données de toutes les informations ramassées
3. Appliquer l'approche méthodologique de LFA pour structurer les informations à partir des diverses sources et natures
4. Réhabiliter les zones dégradées par des méthodes simples, tout en privilégiant le maintien, et le développement de la végétation autochtone et en lui attribuant les mêmes conditions de parcours bienveillant.
5. Valoriser les plantes autochtones à intérêt alimentaire et thérapeutiques.
6. Réaliser la germination de ces plantes phares dans les pépinières de la région.
7. Revoir la politique de gestion et d'organisation des mises en défens dans la région steppique car elle est très loin de la réalité sur terrain.
8. Interdire le défrichement et mettre en place un système permanent de surveillance

Conclusion générale

9. Travailler beaucoup pour la sensibilisation des acteurs de terrain (pasteurs et responsables)
10. Ne jamais remplacer la végétation autochtone par des espèces introduite ; il faut proscrire les décisions politiques centralisées et applicable et généralisable sur l'ensemble du territoire, sans aucune distinction entre région Tellienne, Steppique ou Saharienne.
11. Former des cadres universitaires spécialisées dans la réhabilitation de ces régions fragilisées et confier aux universités une mission permanente sur ces zones.

Références bibliographiques

- **Aguiar M.R.Y., Sala O.E. 1999.** Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 273-277.
- **Aidoud A., Touffet J., 1996.** La régression de l'alfa (*Stipa Tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse*, n°7.
- **Alabouvette C., 2009,** Interaction sol-plante-microorganismes. Colloque "Jardins, environnement et santé", UMR 1229 INRA Université de Bourgogne.
- **Avril J.L., Dabernat H. et Denis F., 2000.** Bactériologie clinique. Paris: Ellipses Edition Marketing F S.A
- **Barnard R., Barthes, L., Le Roux, X. et Leadley, P.W., 2004,** Dynamics of nitrifying activities, denitrifying activities and nitrogen in grassland mesocosms as altered by elevated CO₂. *The New Phytologist* 162, 365-376.
- **Baudat J., 2003.** Systèmes d'informations localisés pour l'aménagement des parcours- Ed universitaire 42-43p
- **Belnap J., Prasse R. et Harper K. 2001.** Influence des croûtes biologiques du sol sur les environnements de sol et les plantes vasculaires. Dans *biologiques croûtes Pédo: structure, les fonctions et la gestion* (eds Belnap, J. Lange, OL), pp. 282-300..
- **Benabadji N., Bouazza M. et Mahboubi. A., 2001.** L'impact de l'homme sur la forêt dans la région de Tlemcen (Oranie-Algérie). *Forêt méditerranéenne* t.XXII, n° 3, novembre 269 -274
- **Benmehdi H., 2000.** valorisation de certaines plantes médicinales à activité hypoglycémiantes comme la coloquinte. Mémoire en chimie (Magistère) Tlemcen. 2000.
- **Benouaz N., 2001.** Diagnostic écologique et proposition d'un modèle d'aménagement ; cas des systèmes écologiques de la région d'El Bayadh (Algérie). Mémoire Magister Ecobiologie, Univ. Mascara, pp. 1-78.
- **Berthelin J., 2011.** De la microbiologie à l'écologie microbienne du sol, séance Historique, 250^{ème} Anniversaire de l'Académie d'agriculture de France.
- **Boukhobza M., 1982.** L'agro-pastoralisme traditionnel en Algérie. Ed. OPU. Alger
- **Boulanger P., Polonovsky J., Bisert G. et Dautrevaux M., 1979.** Abrégé de biochimie médicale : 1-les constituants des organismes vivants, Paris. 1979, P :28-29.
- **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. Ed TEC et doc, 3^{ème} édition. 1999.

Références bibliographiques

- **Calvet R., 2003.** Le sol: propriétés et fonctions, Volume 1. Page 59- 89.
- **Chikh M., 1999.** Concepts de base des systèmes d'information géographique. Cours d'été sur les SIG.CNIG.
- **Citeau L., Bispo A., Bardy M. et King D., 2008.**Gestion durable des sols.
- **Clément M., 2009.** Les principaux sols du monde voyage à travers l'épiderme vivant de la plante. Ed. TEC&DOC Lavoisier.
- **Celles J.C., 1975.** Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie).Thèse d'Etat, université de Nice.
- **Curl E.A., Truelove B., 1986.** The rhizosphere. Springer-Verlag, New York, Etats-Unis,
- **Curtis H., Thomas P., William T., Sloan S. et Jack W., 2002.**Estimating prokaryotic diversity and its limits. Éd. Robert May, University of Oxford, United Kingdom.
- **De Graaf G.J., Marttin F., Manjarrez J.A. et Jenness J., 2003.** Geographic information system in fisheries management and planning. FAO Technical report No 449.
- **Denègre J., Salgé F.,1996.** Les systèmes d'information géographique. Paris 1^{re} éd, PUF (Coll. « Que sais-je?, no 3122), 128 p. (ISBN 2-13-047932-4)
- **Deneux-Mustin S., Russel-Debet S., Mustin C., Henner P., Munier-Lamy C., Colle C., Berthelin J., Garnier-Laplace J. et Leyval C., 2003 .** Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des microorganismes du sol. Edition Tec & Doc
- **Devillers R., Jeansoulin R., 2005.** Qualite de l'information géographique Ed. HERMES sciences publications
- **Dilly O., Munch J.C., 1998.** Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. *Biology and Fertility of Soils* 27, 374-379.
- **Djebaili S., 1978.** Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier.,
- **Djebaili S., 1984.** Steppe algérienne, phytosociologie, OPU, Alger.
- **Djili K., Daoud Y., et Ayache N., 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. INA. Département de science des sols. El Harache-Alger. CA.
- **Doran J.W., Parkin T.B., 1994.** Defining and Assessing Soil Quality. In *America Journal*, Special publication 35, 3-21.

- **Dubois M., Gille K.A., Hamilton J.d., 1956.** Colorimetric methods for determination of sugars and related substances. *Anal Chem*; 28:350-356.
- **Edeoga Ho, Okwu D.E., Mbaebie B.O, 2005.** Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*; 4(7): 685-688.
- **Fauchère J.L., 1997.** Techniques en bactériologie clinique. Paris: Ellipses Edition Marketing S.A.
- **Guerin-Fauble V., Carret G., 1999.** L'antibiogramme, principes, méthodologie, intérêt et limites. Journées Nationales GTV-INRA
- **Guigniard J.** Biochimie végétale, Lavoisier, Paris, 1996, P :175-192.
- **Guinoiseau E., 2010.** Molécules antibactériennes issues d'huiles essentielles : Separation, identification et mode d'action, Thèse de doctorat, Université de Corse-pasquale paoli.
- **Haddouche I., Mederbal K. et Saidi S., 2007.** Space analysis and the detection of the changes for the follow-up of the components sand-vegetation in the area of Mecheria, Algeria. *Revue SFPT n°185 (2007-1)*, France ISSN 1768-9791.
- **Halitim A., 1988.** Sols des régions arides. OPU, Alger, 384p
- **Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale 2^{ème} édition De Boeck & Larcier s.a., traduction faite par Rambour Serge.
- **Iserin P., 2001.** Encyclopédie des plantes médicinales; édition Larousse;
- **James L.F., Young J.A. et Sanders K., 2003.** A new approach to monitoring rangelands. *Arid Research and Management* 17: 319-328.
- **Josa R., Verdu A.M.C., Mas M.T., Mederbal K., Regagba Z., Tadjeddine N., Ouldali O., Boukhari Y., Khader M., 2011.** Herbario electrónico de la estepa pre-Sahariana (Zone d'EL Bayadh- Bresina) Argelia :Una herramienta para el manejo integrado de sistemas pastorales.
- **Kadi Hanifi H., 1998.** L'alfa en Algérie. Thèse Doctorat Science, USTHB, Alger.
- **Kalemba D., Kunicka A., 2003.** Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Curr.Med.Chem* ; 10:813-829.
- **Karumi Y., Onyeyili P.A. et Ogugbuaja V.O., 2004.** Identification of active principles of *M. balsamina* (Balsam Apple) leaf extract. *J Med Sci.*; 4(3):179-182.
- **Khellil A., 1997.** L'écosystème steppique: Quel avenir? Edition Dahleb, Alger.

- **Kreus A., Kucinskiene A., 2011.** Vertical distribution of bacteria and intensity of microbiological processes in two stratified gypsum Karst Lakes in Lithuania Distribution verticale des bactéries et processus microbiologiques dans deux lacs stratifiés d'un karst gypseux en Lituanie, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems
- **Lafon J.P., Tharaud-Prayer C., et Levy G., 1998.** Biologie des plantes cultivées, édition Tec et doc lavoisier, tome 1.
- **Lau I.C., Hewson R.D., Ong C.C.H. et Tongway D.J. 2008.** Remote mine site rehabilitation monitoring using airborne hyperspectral imaging and Landscape Function Analysis (LFA). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing.
- **Le Houerou H.N., 1985.** La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger.
- **Le Houérou, H.N., 2001.** Biogeography of the arid steppeland north of the Sahara Journal of Arid Environments (2001) 48: 103–128. doi:10.1006/jare.2000.0679.
- **Le Roux X., 1988.** Cours de microbiologie des sols. Ed Duond.
- **Ludwig J.A., Tongway D.J., 1997.** The conservation of water and nutrients within landscapes. In Ludwig, J.A., et al. (Eds.), Landscape Ecology, Function and Management: Principles from Australia's Rangelands, CSIRO, vol. 158. CSIRO, Collingwood, Australia.
- **Ludwig J.A., Eager R.W., Bastin G.N., Chewings V.H. et Liedloff, A.C. 2002.** A leakiness index for assessing landscape function using remote sensing. *Landscape Ecology* 17: 157-171.
- **Maestre F.T., Bautista S. et Cortina J., 2003(a).** Les effets positifs, négatifs et nets dans les interactions herbe dans les prairies semi-arides d'arbustes méditerranéens. *Ecologie* 84.
- **Maestre F.T., Cortina J., Bautista S., Bellot J.y. et Vallejo V.R. 2003(c).** Small-scale environmental heterogeneity and spatio-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.
- **Maestre F.T., Cortina J., et Ramon V., 2006.** Are ecosystem composition, structure, and Are ecosystem composition, structure, and functional status related To Restoration Success? A Test from semiarid Mediterranean steppes. *Restoration Ecology* Vol. 14, No. 2, pp. 258–266.

- **Maestre FT 2002.** La restauration de la couverture végétale dans les zones semi-arides en fonction de la répartition spatiale des facteurs biotiques et abiotiques. Dissertation, Université d'Alicante, Espagne.
- **Mainguet M., 1998.** Désertification et insécurité environnementale dans les écosystèmes secs. Aménagement et nature, regards interdisciplinaires sur l'environnement, la désertification, n°129.
- **Martin L.p., Larry G.B. 1977.** Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of Sorghum grain. J Agri Food Chem.; 25(6).
- **Mazari K., Bendinerad N., Benkhechi C.et Fernandez X., 1977.** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils isolated from Algerian *Juniperus phoenicea L* and *Cupressus sempervirens*. Medicinal Plants Research 2010.
- **Mc-Donald R.C., Isbell R.F., Speight J.G., Walker,J. et Hopkins, M.S., 1990.** Australian Soil and Land survey, 2nd edition, Inkata Press.
- **McDonnell R., Kemp K., 1995.** International GIS Dictionary Ed. Cambridge géo-information international.
- **Mederbal K., 1989.** Rapport de la première phase du projet 'schéma directeur d'aménagement de la wilaya d'El Bayadh », CNTS,Arzew.
- **Mederbal K., 1991.** Diagnostic écologique et évolution spatio-temporelle des nappes alfatières à l'aide de l'imagerie satellitaire : cas des régions d'El Bayadh et Djelfa (Algérie).Séminaire 26-27 février, institut Technologie Agricole, Mostaganem.
- **Mederbal K., 1992.** Compréhension des mécanismes de transformation du tapis végétal: approches phytoécologiques par télédétection aérospatiale et analyse dendroécologique de *Pinus halepensis* Mill., dans l'ouest Algérien. Thèse d'Etat Es-Sciences, Université d'Aix- Marseille III.
- **Mederbal K., 2008.**
- **Mederbal K., Josa R., Mas M. T., Verdu, AMC. , Tadjeddine N., Regagba Z., Ouldali O., Khader M. et Boukhari Y., 2011.**Contribution à l'étude de la qualité des sols de la steppe algérienne (cas du secteur « El bayadh- Brezina » Ouest de l'Algérie.
- **Minakchi D., Amit-Krishna D., RanjanMukhopadhy A., Arun B. et Manue I .M., 2003.** Antimicrobial activity of *Cuminum cyminum L*. Ars Pharmaceutica 257.
- **Montana C., 1992.** The colonization of bare areas in two-phase mosaics of an arid ecosystem. Journal of Ecology. 80, 2: 315-327.

- **Nedjraoui D. 2002.** Les ressources pastorales en Algérie. Document FAO
- **Nedjraoui D., 2003.** Les mécanismes de suivi de la désertification en Algérie proposition d'un dispositif national de surveillance écologique à long terme. Doc. OSS, 37 P.
- **Nedjraoui D., 2006.** La recherche scientifique, un moyen de lutte contre la désertification. Com. Conf. Intern. Université des Nations Unies ; Alger, Déc. 2006.
- **Nedjraoui D., Bedrani S., 2008.** La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, [En ligne], ligne le 07 novembre 2008. URL <http://vertigo.revues.org/5375>.
- **Noizet H., 2006.** Méthodologie des SIG appliqués à l'histoire urbaine, Le Médiéviste et l'ordinateur, (Les systèmes d'information géographique) [En ligne] <http://lemo.irht.cnrs.fr/44/histoire-urbaine.htm> ERGER
- **Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biophère. Doin édition- Paris
- **Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara. 2ème édition (Ed du Centre National de la Recherche scientifique). Paris.1983.P 260-261.
- **Pouget M., 1980.** Les relations sols-végétations dans les steppes Sud-algéroises.
- **Puigdefabregas J., Sole-Benet A., Gutierrez L., Del Barrio G. et Boer M., 1999.** Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews* 48:39–70.
- **Quezel P., 1999.** Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire. *GEOBIOS*, 32, 1: 19-32.
- **Quezel P., Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris : Ed. C.N.R.S., 2 Vol, 1170p.
- **Regagba Z., 1999** - Mise au point d'une méthode d'étude et d'aménagement des systèmes écologiques de l'Atlas Saharien méridional : Cas du bassin versant et des terres irrigables du barrage de Brézina (El Bayadh). Mémoire Magister, Université Djilali Liabès, Sidi Bel Abbés.
- **Rezaei S.Ata., Arzani H. et Tongway D.J., 2006.** Assessing rangeland capability in Iran using landscape function indices based on soil surface attributes. *Journal of Arid Environments* 65 (2006) 460–473
- **Richter G., 1993.** Métabolisme des végétaux : physiologie et biochimie, édition Lausanne Presses polytechniques et universitaires romandes.

Références bibliographiques

- **Robert R. E., Maurer His D., 1986** Toxicité d'un désherbant, l'Atrazine-Simazine, sur les jeunes Stades larvaires de *Crassostrea gigas* et sur deux algues fourrages, *Isochrysis* *ajJ-galbana* et *Chaetoceros calcitrans*. *Haliotis.* ; 15 :319-325
- **Roland J.C., 2001.** Atlas de biologie végétale, organisation des plantes à fleurs, édition Duond.
- **Roux D., 2007.** Botanique, pharmacognosie, phytothérapie, édition Duond,
- **Schlesinger W.H., Reynolds J.F., Cunningham G.L., Huenneke, L.F., Jarrel W. M., Virginia R. A.Y. et Whitford W.G. 1990..** Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-8.
- **Sikkem J.A., Poolman B., 1995.** Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Journal of Applied Microbiologie*, pp 63-69.
- **Soutter M., Mermoud A. et Musy A., 2007.** Ingénierie des eaux et du sol: Processus et aménagements.
- **Tessier D., Bruand A., Lebissonais Y. et Dambrine E., 1996.** Qualité chimique et physique des sols.
- **Tongway D. J., Ludwig J. A., 1996.** Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia. Restoring productive soil patches. *Restoration Ecology* 4:388–397.
- **Tongway D. J., Ludwig J., 2006.** Assessment of landscape function as an information source for Mine Closure. *Proceedings of the 1st International Seminar on Mine Closure*,
- **Tongway D.J. Cortina J. et Maestre F.T. 2004.** Hétérogénéité spatiale et la gestion des zones semi-aride *Écosystèmes* 13 (1).
- **Tongway D.J., Hindley N.L., 1995.** Manual for Assessment of Soil Condition of Tropical Grasslands. CSIRO, Canberra, Australia.
- **Tongway D.J., Hindley N.L., 2000.** Ecosystem function analysis of rangeland monitoring data : Rangelands audit project 1.1, National land and water resources audit.
- **Tongway D.J., Hindley N.L., 2004.** Landscape Function Analysis: Methods for monitoring and assessing landscapes, with special reference to minesites and rangelands. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra.
- **Tonye E., Lontchi P., 2003.** Télédétection et SIG pour la mise à jour cartographique. *Journal des Sciences Pour l'Ingénieur.* N° 3, pp 40-51.
- **Vilagrosa A., Seva J.P., Valdecantos A., Cortina J., Alloza J.A., Serrasolsas I., Diego V., Avril M., Ferran A., Bellot J. et Vallejo VR 1997.** Plantations pour la restauration

Références bibliographiques

des forêts et la restauration de la couverture végétale à Valence (éd. Vallejo, VR), pp. 435-546

- **Ward D.M., Weller R. et Bateson M.M., 1990.** 16S ribosomal RNA sequences reveal numerous uncultured microorganisms in a natural community. *Nature* 345, 63-65.
- **Whisenant S.G., Thurow T.L. et Maranz S.J. 1995.** Lancement de la restauration autogène sur les sites semi-arides peu profonds. *Écologie de la restauration* 3: 61-67.
- **Wink M., 1999.** Biochemistry of plant secondary Metabolism. Sheffield, UK and Boca Raton, FL: Sheffield Academic Press and CRC Press.