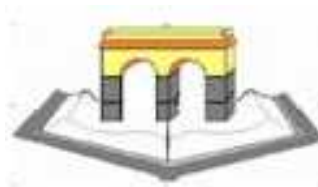


**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université –Mustapha Stambouli-Mascara**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biologie**



**THESE**  
**DOCTORAT EN SCIENCES**  
**Filière : Biologie**  
**Option : Sciences de la Vie**

**Présentée par:**  
**M<sup>r</sup> : BOURAHLA      Lame**

**Thème**

**Etude du comportement de la biomasse microbienne des  
sols steppiques d'Algérie**

Soutenue publiquement le **18/01/2017** devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> : BENABDELLI	Khelloufi	Professeur	Président	Université de Mascara
M <sup>r</sup> : DELLAL	Abdelkader	Professeur	Directeur de thèse	Université de Tiaret
M <sup>r</sup> : MEDERBAL	Khalladi	Professeur	Examineur	Université de Tiaret
M <sup>r</sup> : MAATOUG	M'hamed	Professeur	Examineur	Université de Tiaret
M <sup>r</sup> : BELABID	Lakhdar	Professeur	Examineur	Université de Mascara
M <sup>r</sup> : MILOUDI	Ali	Professeur	Examineur	Université de Mascara

Année Universitaire 2015/2016

## **REMERCIEMENTS**

Avant de présenter les résultats de ce travail, je voudrais tout d'abord remercier toutes les personnes, qui par leurs enseignements ou leurs collaborations, m'ont aidé à finaliser cette thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier mon Professeur Dellal Abdelkader pour avoir bien voulu diriger ce travail et consacrer son temps à sa mise en forme.

Je remercie également Monsieur Benabdelli Khelloufi, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara, Ecologiste de premier rang, pour avoir accepté de présider ce jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur Mederbel Khalladi, Recteur de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, d'avoir accepté de juger ce travail malgré ses charges administratives.

Je témoigne également ma gratitude à Monsieur Maatoug M'hamed, Professeur et animateur scientifique du Laboratoire d'Agro-Bio-Technologie et de Nutrition en Zones Semi Arides Université Ibn Khaldoun Tiaret, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

C'est un plaisir pour moi, de voir compter dans ce jury Monsieur Belabid Lakhdar Professeur et Doyen de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mustapha Stambouli de Mascara qui m'a facilité l'accomplissement de ce travail.

Ma très grande reconnaissance s'adresse aussi à Monsieur Miloudi Ali Professeur et directeur du Laboratoire Géo-Environnement et Développement des Espaces Université Mustapha Stambouli de Mascara, pour son encouragement et sa collaboration, je vous remercie pour avoir participé à ce jury.

Que mes collègues de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie trouvent ici le gage de mon amicale reconnaissance pour leurs conseils et leurs encouragements ainsi pour leurs volontés de bien vouloir prendre en charge certaines de mes activités lors de mon absence.

En fin, à tous ceux que je les ai oublié, qu'ils me pardonnent et qu'ils trouvent ici les profondes reconnaissances remerciements.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes parents

Ma femme

Mes enfants

Mes frères et sœurs

Mes amis (es)

تقدير	السهبية الجزائرية	المجهرية الحية	تقييم	هده
بتأثير	لهذا	التوزيع	طريقة التبخير	هده
بين 78 و 245 /	المجهرية الحية	يتراوح	المناخية	الميكرومنطقة
		نسبته 1,5%	146 /	
المجهرية الحية ويعطلان	( يخفضان مستويات	الايكولوجية )	ثير	
الايكولوجية	النيتروجينية	المجهرية الحية	مساهمة	هذه الأخيرة.
نيتروجين	النيتروجيني	عاليا	( يظهر	الرئيسية )
بين 3,45 و 4,27%	ويشكل	47,07 / 21,96	يتراوح	الحية
		(03 أشهر، وهذه	يتجاوز	للنيتروجين

#### مفاتيح:

تبخير، الحياة، سهوب مجهرية حية

#### Résumé

*Cette étude consiste à évaluer le comportement de la biomasse microbienne des sols des écosystèmes steppiques algériens, à travers l'estimation des teneurs de carbone de la biomasse microbienne par la méthode de fumigation extraction. La distribution spatiale de cette vivante fraction est sous l'influence des conditions de la micro-niche et de la saison climatique. En effet, les teneurs du carbone de la biomasse microbienne varient de 78,00 à 245,00 mg/kg de sol sec, avec une moyenne de 146,00 mg/kg de sol sec formant ainsi 1,5% du carbone organique total du sol. L'action anthropique et les facteurs stressants à savoir la sécheresse et la salinité réduisent les niveaux de la biomasse microbienne et perturbent le turnover de cette fraction. La contribution de la biomasse microbienne pour la conservation de la fertilité azotée dans les principaux écosystèmes (alfa, sparte, remth) montre une sur-minéralisation et une déperdition du stock renouvelable d'azote, l'azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne varie de 21,96 à 47,07 mg/kg de sol sec formant ainsi une contribution au stock d'azote total d'une grandeur oscillante entre 3,45% et 4,27% et dont le temps de résidence de cet azote d'origine microbienne ne dépasse pas trois (03) mois. Ces valeurs s'accroissent avec l'éradication des ligneux et la persistance de la sécheresse.*

#### Mots clés :

*Algérie, biomasse microbienne, fumigation, salinité, steppe, sol, temps de demi-vie*

### ***Abstract***

*This study is to assess the soil microbial biomass behaviour of Algerian steppe ecosystems, by estimating the microbial biomass carbon content using the fumigation extraction method. The spatial distribution of this living fraction was influenced by the micro-niche effect and the climatic season condition. Indeed, the microbial biomass carbon ranged from 78.00 to 245.00 mg/kg dry soil, with an average of 146.00 mg/kg dry soil forming a 1.5% of total soil organic carbon. The human action and stress factors namely the aridity and the salinity reduce the microbial biomass levels and disturb the turnover of this fraction. The microbial biomass contribution on the conservation of nitrogen fertility in major ecosystems (alfa, sparte, remth) shows an over-mineralization and renewable nitrogen stock loss. The microbial nitrogen potentially mineralizable varies between 21.96 and 47.07 mg/kg dry soil forming an part ranged from 3.45 to 4.27 % of the total nitrogen stock with the residence time not exceeding three (03) months. These values increase with the wood eradication and persistent aridity.*

### ***Keywords :***

*Algeria, fumigation, half-life time, microbial biomass, salinity, soil, steppe.*

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION GENERALE

#### CHAPITRE I: CADRE PHYSIQUE

Caractérisation de la zone d'étude	3
1 Etude climatique	4
1.1 Les données thermiques	4
1.2 Les données pluviométriques	7
1.3 Les vents	10
1.4 Autres facteurs climatiques	11
1.5 Synthèse climatique	11
1.6 Bilan et régime hydrique	14
2 Etude géologique	16
2.1 Trias	18
2.2 Jurassique	18
2.3 Crétacé	18
2.4 Tertiaire	19
2.5 Quaternaire	19
3 La couverture pédologique	19
3.1 Les sols à minéraux bruts non climatique d'érosion	20
3.2 Les sols peu évolués	20
3.3 Les sols calcimagnésiques	21
3.4 Les vertisols	22
3.5 Les sols halomorphes	22
4 La couverture végétale	22
5 Dynamique globale de la steppe algérienne	24

#### CHAPITRE II : METHODE D'ETUDE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE

1 Introduction	27
2 Protocole expérimental	29
3 Résultats et discussion	30
4 Relation entre la densité de la microflore totale et le carbone de la biomasse microbienne	32

#### CHAPITRE III : COMPORTEMENT DE LA BIOMASSE MICROBIENNE

1 Introduction	34
2 Protocole expérimental	35

3	Résultats et discussion	38
3.1	Variation de la biomasse microbienne dans le paysage steppique	41
3.2	Influence de la végétation steppique	46
3.3	Influence de la variation saisonnière	47
3.4	Influence de la salinité	51

#### **CHAPITRE IV: ROLE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE DANS LA FERTILISATION AZOTEE DES SOLS STEPPIQUES**

1	Etude du pouvoir minéralisateur du sol de l'azote	64
1.1	Introduction	64
1.2	Protocole expérimental	64
1.3	Résultats et discussion	67
1.4	Cinétique de minéralisation de l'azote organique	70
2	Rôle de la biomasse microbienne dans la production d'azote minéral	73
2.1	Introduction	73
2.2	Protocole expérimental	73
2.3	Résultats et discussion	76
2.4	Cinétique de minéralisation de l'azote d'origine microbienne	76

<b>CONCLUSION GENERALE</b>	80
----------------------------	----

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	84
------------------------------------	----

<b>ANNEXES</b>	111
----------------	-----

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau n°01:</b> Réseau des stations météorologiques de référence	4
<b>Tableau n°02:</b> Données thermiques de la zone d'étude	6
<b>Tableau n°03:</b> Données pluviométriques de la zone d'étude	9
<b>Tableau n°04:</b> Régime saisonnier des précipitations	10
<b>Tableau n°05:</b> Direction et fréquence du vent	10
<b>Tableau n°06:</b> Autres facteurs climatiques	11
<b>Tableau n°07:</b> Valeurs d'indices d'aridité de E. DE Martonne	12
<b>Tableau n°08:</b> Classification bioclimatique des stations de référence	12
<b>Tableau n°09:</b> Déficit pluviométrique de la zone d'étude	15
<b>Tableau n°10:</b> Evolution moyenne de l'effectif du cheptel pâturant dans la steppe algérienne	25
<b>Tableau n°11:</b> Composition microbienne des échantillons analysés	30
<b>Tableau n°12:</b> Matrice de corrélation entre les différents constituants microbiens	32
<b>Tableau n°13:</b> Différentes régressions entre le carbone de la biomasse microbienne et les constituants microbiens	33
<b>Tableau n°14:</b> Principales unités taxonomiques analysées	36
<b>Tableau n°15:</b> Caractérisation physico-chimique des échantillons	37
<b>Tableau n°16:</b> Matrice de corrélation des paramètres pédologiques analysés	43
<b>Tableau n°17:</b> Variation des teneurs en carbone de la biomasse microbienne des trois grands écosystèmes	46
<b>Tableau n°18:</b> Analyse de la variance de l'effet de la végétation steppique sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne	46
<b>Tableau n°19:</b> Variation saisonnière du carbone de la biomasse microbienne	49
<b>Tableau n°20:</b> Régression linéaire entre la variation du carbone de la biomasse microbienne et le déficit pluviométrique	50
<b>Tableau n°21:</b> Caractérisation physico-chimique des échantillons de la dépression saline	54
<b>Tableau n°22:</b> Matrice de corrélation des différents paramètres édaphiques	55
<b>Tableau n°23:</b> Effet de la salinité sur la décroissance des paramètres biologiques	56
<b>Tableau n°24:</b> Caractérisation physico-chimique de l'échantillon du sol incubé	61
<b>Tableau n°25:</b> Paramètres cinétiques estimés par le modèle	63
<b>Tableau n°26:</b> Caractérisation physico-chimique des échantillons incubés	66
<b>Tableau n°27:</b> Paramètres de la cinétique de minéralisation de l'azote organique	72
<b>Tableau n°28:</b> Caractérisation physico-chimique des échantillons incubés	75
<b>Tableau n°29 :</b> Paramètres de la cinétique de minéralisation de l'azote d'origine microbienne	79



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure n° 01:</b> Localisation de la zone d'étude	3
<b>Figure n°02:</b> Courbes Ombrothermiques des stations de référence	13
<b>Figure n°03 :</b> Image satellitaire de la région d'étude par rapport aux domaines géologiques de l'Algérie	16
<b>Figure n°04 :</b> Carte géologique de la zone d'étude	17
<b>Figure n°05:</b> Tracé linéaire des valeurs propres	38
<b>Figure n°06 :</b> Classification hiérarchique des différents taxons	39
<b>Figure n°07:</b> Projection des individus sur le plan factoriel	40
<b>Figure n°08:</b> Projection des variables pédologiques sur le plan factoriel	44
<b>Figure n°09:</b> Variation mensuelle de l'évolution du carbone de la biomasse microbienne	48
<b>Figure n°10:</b> Effet de la salinité sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne	58
<b>Figure n°11:</b> Effet de la salinité sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne au cours de la durée d'incubation	62
<b>Figure n°12 :</b> Production cumulée d'azote minéral au cours de la durée d'incubation	69
<b>Figure n°13:</b> Production cumulée d'azote minéral d'origine microbienne	78

## LISTE DES ABREVIATIONS

A	Argile
C <sub>bio</sub>	Carbone de la biomasse microbienne
Cham	Champignon
CM	Carré moyen
C <sub>org</sub>	Carbone organique
CRBT	Centre de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres
ddl	Degré de liberté
ETP	Evapo transpiration potentiel
HCDS	Haut commissariat pour le Développement de la Steppe
L	Limon
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
Micro	Microflore totale
MS	Matière sèche
N <sub>m</sub>	Azote total minéralisé
N <sub>o</sub>	Azote total potentiellement minéralisable
N <sub>mm</sub>	Azote minéralisé d'origine microbienne
N <sub>om</sub>	Azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne
NPP	Nombre le plus probable
ONM	Office National de la Météorologie
S	Sable
SCE	Somme des carrés des écarts types
UF	Unité Fourragère
UFC	Unité Formant Colonie

## INTRODUCTION GENERALE

Une aridité croissante, un effectif de cheptel évalué à plus de  $21.10^6$  d'équivalent-ovin, avec un besoin énergétique estimé à plus de  $8.10^9$  unités fourragères par an, une estimation moyenne actuelle en offre fourragère de la végétation steppique ne dépassant pas  $6.10^8$  unités fourragères par an, une activité socioéconomique à dominance pastorale et un taux de croissance démographique de 2% par an avec une tendance à la sédentarisation, ce sont les paramètres qui conditionnent l'évolution de l'écosystème steppique algérien vers une dégradation accélérée des ressources biologiques (Nedjraoui et al. 2008, Bencherif 2011).

Dans le but de préserver et améliorer les potentialités productives de ces écosystèmes et faire face aux besoins nutritifs d'une population en pleine croissance démographique, différents projets d'aménagement ont été introduits depuis l'indépendance; mais ces derniers n'ont pas donné les résultats espérés et ils sont souvent voués à l'échec (*financement de la désertification pour certains auteurs*).

Les différentes études ont démontré une dynamique régressive du potentiel productif des écosystèmes steppiques algériens, cette situation est la résultante de la conjugaison des facteurs tant biotiques qu'abiotiques.

Ce constat a été estimé par une évaluation macroscopique (la variation qualitative et quantitative du faciès végétal, le suivi de l'ensablement, taxonomie et pédogenèse des sols steppiques ...); par contre, les aspects microscopiques et le comportement du cortège microbien restent à l'heure actuelle, relativement peu étudiés.

Cette fraction microbienne joue un rôle clé soit: comme une source en éléments nutritifs après la mort des cellules microbiennes, lyse et évacuation du contenu cytoplasmique, soit comme un compartiment de recyclage et d'emménagement des éléments nutritifs (turnover rapide); dès lors, il est intéressant de rechercher si cette ressource biologique manifeste le même comportement vis à vis des facteurs de dégradation comparativement aux autres éléments qui composent l'écosystème steppique?

A priori deux pôles ont constitué notre étude:

Un pôle descriptif qui consiste à quantifier la biomasse microbienne des sols steppiques et d'établir les relations qui existent entre les propriétés édaphiques et floristiques avec ce cortège microbien.

Un pôle analytique qui consiste à vérifier les hypothèses émises en première partie, tout en simulant le rôle joué par la biomasse microbienne dans la conservation de la fertilité du sol.

Pour mieux cerner ces deux aspects, nous avons réparti notre étude sur quatre grands chapitres:

Le premier chapitre est consacré à une présentation sommaire et une caractérisation de la zone d'étude, tout en inventoriant les facteurs édaphiques, floristiques, climatiques et anthropiques qui influencent la dynamique actuelle de la steppe algérienne.

Le deuxième chapitre consiste à comparer les méthodes d'étude de la biomasse microbienne applicables pour les sols steppiques.

Le troisième chapitre consiste à quantifier et étudier le comportement de la biomasse microbienne des sols steppiques et établir les relations qui existent entre cette fraction et les facteurs écologiques.

Le quatrième chapitre se consacre à une évaluation du rôle de la biomasse microbienne des sols steppiques dans la conservation du pouvoir fertilisant des sols de ces écosystèmes.

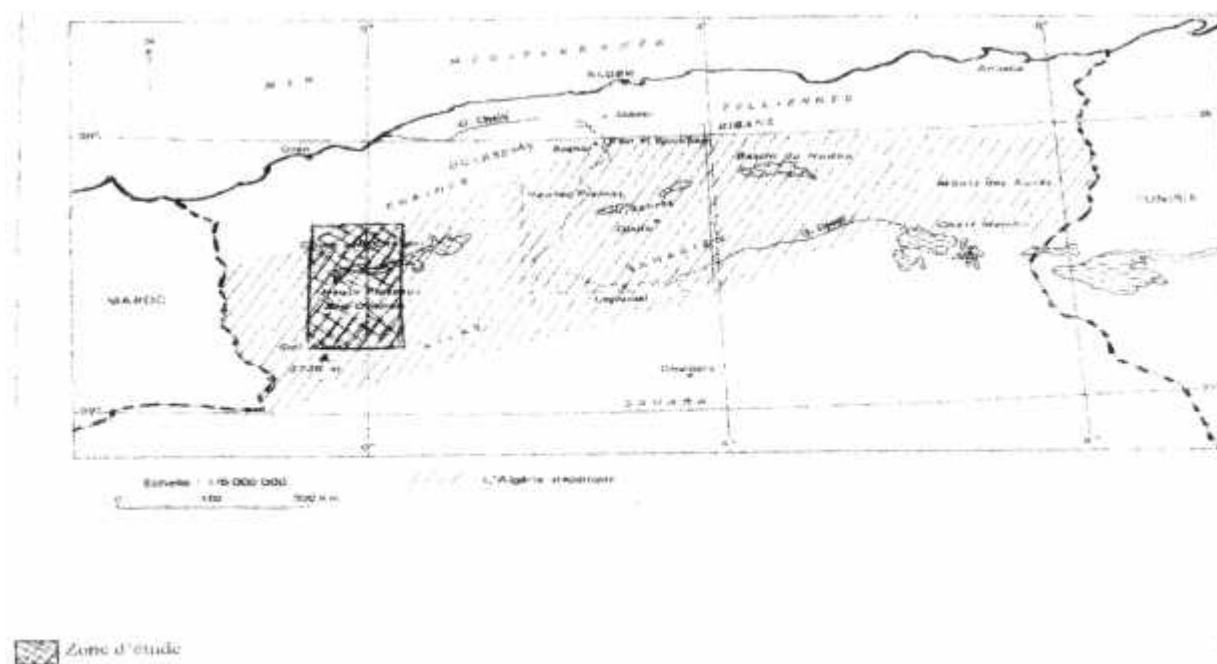
**CHAPITRE I :**  
**CADRE PHYSIQUE**

## Caractérisation de la zone d'étude

### 1-Délimitation

La zone d'étude fait partie de la région steppique Ouest de l'Algérie, relativement parallèle à l'axe routier de la Nationale n°6 reliant les wilayas : Saida-Naama; qui englobe la tranche steppique de la wilaya de Saida et la majorité du territoire de la wilaya de Naama, ce choix est dicté par la présence d'une multitude variations de faciès tant édaphiques que floristiques.

Cette zone comporte: les glacis encroûtés avec ses différentes couvertures végétales, les zones d'accumulation sableuse, les dépressions salées du Chot Ech-Chergui et la Sebkhha de Naama (figure n°01).



*Figure n° 01: Localisation de la zone d'étude (source Pouget 1980)*

## 2-Etude climatique

Pour mieux étudier la variation des facteurs climatiques, un réseau des stations météorologiques a été retenu (tableau n°01), illustrant ainsi une coupe bioclimatique Nord-Sud.

De nombreuses études climatiques (Seltzer 1946, Djellouli 1981, Halimi 1988, Mejrab 1988, Boualem 2000, Bouzidi 2001) ont montré que le climat de la zone d'étude est identique à celui de la steppe algérienne : type méditerranéen contrasté; avec une longue saison estivale sèche et chaude et une saison pluvieuse, courte et froide avec un gradient Nord-Sud à aridité croissante, rendent ainsi les conditions écologiques très défavorables. Les précipitations sont variables dans le temps et dans l'espace; aussi, les amplitudes thermiques, tant journalières que mensuelles, sont assez marquées.

*Tableau n°01: Réseau des stations météorologiques de référence*

Station	Latitude Nord	Longitude Greenwich	Altitude (m)
Saida	34°52'	00°09'E	750
El-Kheiter	34°09'	00°04' E	1000
Mecheria	33°33'	00°16'W	1170
Naama	33°18'	00°20'W	1169
Ain Sefra	32°45'	00°36'W	1075

### 2.1-Les données thermiques

Vu à l'important rôle que peuvent jouer les températures soit minimales (m) soit maximales (M) dans la vie biologique des différents écosystèmes terrestres, leur étude s'avère déterminante pour caractériser ces biotopes. La région d'étude est comprise entre les isothermes 17°C et 18°C de température annuelle moyenne; la grande différence entre les températures moyennes de l'été et celles de l'hiver montre l'importance de la chaleur estivale qui traduit bien la continentalité du climat, alors que la synchronisation de la faible pluviométrie avec les fortes températures confirme le caractère méditerranéen.

Le diagnostic du tableau n°02 montre un gradient thermique croissant dans le sens Nord-Sud ; le mois de Janvier est le mois le plus froid, la température minimale (m) varie entre 1,30 °C et 3,20 °C respectivement pour les régions d'Ain Sefra et de Saida, le mois de Juillet est le mois le plus chaud, la température maximale (M) varie de 37,00 °C dans la région de Saida à 38,90 °C dans la région d'Ain Sefra.

La température moyenne annuelle oscille entre 17,05 °C au niveau d'El-Kheiter et 18,34°C au niveau d'Ain Sefra ; les valeurs les moins élevées de température se rencontrent au sommet des massifs montagneux (Djellouli 1981), l'amplitude thermique reste très variable témoigne le contraste climatique journalier et mensuel, ce dernier augmente avec l'aridité du climat.

Il est important de noter que, la température du sol reste relativement supérieure à celle de l'atmosphère et ce phénomène s'accroît avec la nudité de la surface (chaleur spécifique élevée de l'eau et l'augmentation du rayonnement solaire).



**Tableau n°02: Données thermiques de la zone d'étude (°C) (ONM: 1996-2012)**

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
Saida	M	14,00	14,40	18,30	22,00	26,70	31,80	37,00	36,50	30,40	26,10	18,10	14,30	24,13
	m	3,20	3,20	5,60	7,50	10,80	14,40	18,90	18,60	15,50	12,10	7,60	4,10	10,13
	(M+m)/2	8,60	8,80	11,95	14,75	18,75	23,10	27,95	27,55	22,95	19,10	12,85	9,20	17,13
	M-m	10,80	11,20	12,70	14,50	15,90	17,40	18,10	17,90	14,90	14,00	10,50	10,20	14,01
El-Kheiter	M	12,70	12,70	17,60	21,70	27,10	33,00	37,20	36,50	31,00	25,50	16,60	12,30	23,66
	m	1,90	1,90	5,60	8,40	12,40	16,50	20,00	19,50	16,50	12,80	7,30	2,40	10,43
	(M+m)/2	7,30	7,30	11,60	15,05	19,75	24,75	28,60	28,00	23,75	19,15	11,95	7,35	17,05
	M-m	10,80	10,80	12,00	13,30	14,70	16,50	17,20	17,00	14,50	12,70	9,30	9,90	13,23
Mecheria	M	12,40	14,00	18,40	21,90	26,60	32,80	37,80	36,10	30,00	24,30	16,40	12,60	23,61
	m	2,40	3,40	6,50	8,90	12,80	17,70	21,50	20,90	16,70	12,50	6,60	3,20	11,09
	(M+m)/2	7,40	8,70	12,45	15,40	19,70	25,25	29,65	28,50	23,35	18,40	11,50	7,90	17,35
	M-m	10,00	10,60	11,90	13,00	13,80	15,10	16,30	15,20	13,30	11,80	9,80	9,40	12,52
Naama	M	13,20	15,30	19,60	22,10	27,40	33,80	38,13	36,80	30,40	25,90	17,80	13,20	24,47
	m	2,00	2,70	6,53	9,30	13,20	18,20	21,70	20,60	16,90	12,55	6,70	3,14	11,13
	(M+m)/2	7,60	9,00	13,07	15,70	20,30	26,00	29,92	28,70	23,65	19,23	12,25	8,17	17,80
	M-m	11,20	12,60	13,07	12,80	14,20	15,60	16,43	16,20	13,50	13,35	11,10	10,06	13,34
Ain Sefra	M	14,30	16,10	20,50	24,10	28,70	34,60	38,90	37,60	31,90	26,30	18,40	14,50	25,49
	m	1,30	2,90	6,70	9,60	13,80	18,50	22,00	21,20	17,20	12,10	6,10	2,80	11,18
	(M+m)/2	7,80	9,50	13,60	16,85	21,25	26,55	30,45	29,40	24,55	19,20	12,25	8,65	18,34
	M-m	13,00	13,20	13,80	14,50	14,90	16,10	16,90	16,40	14,70	14,20	12,30	11,70	14,31

## **2.2-Les données pluviométriques**

La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat; en effet, elle conditionne deux phénomènes parfois opposés: le maintien et la régénération du tapis végétal ou la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion (linéaire surtout).

L'analyse des données pluviométriques montre une diminution des précipitations dans le sens Nord-Sud (tableau n°03). La pluviométrie annuelle moyenne oscille entre 378,90 mm dans la région de Saida et 181,30 mm dans la région d'Ain Sefra avec un nombre de jours pluviométriques qui varie entre 35 jours au niveau de la région d'Ain Sefra et 70 jours dans la région de Saida ; seulement la notion de cette moyenne annuelle n'étant que rarement enregistrée à cause de la forte irrégularité interannuelle de la pluviométrie.

L'origine de la précipitation des régions steppiques est variable au cours de l'année, selon Seltzer (1946), Halimi (1988), on distingue deux origines:

Pendant la saison hivernale, les vents pluvieux, d'origine Ouest et Nord-Ouest qui abordent le littoral, poussent les masses nuageuses pour arroser les régions steppiques.

Pendant la saison estivale, c'est l'action des dépressions atmosphériques développées dans les régions sahariennes qui déplacent les masses pluvieuses en donnant naissance à une précipitation courte et orageuse.

Il est important de noter la présence de différents gradients pluviométriques: croissant d'Ouest en Est, décroissant du Nord au Sud, parfois modifié par l'influence orographique de l'Atlas saharien et un autre gradient altitudinal de 25 mm/100m et qui diminue avec la réduction de la pluviométrie annuelle (Djellouli 1981).

L'exposition joue aussi un autre rôle en augmentant les hauteurs des précipitations sur les versants exposés à la direction des fronts pluvieux (dont les directions sont: Ouest, Nord Ouest ou du Nord) par rapport à ceux situés en ombre pluvial.

Les pluies érosives sont aussi présentes, où l'on note au moins un (01) jour en moyenne par an de pluies torrentielles ; c'est-à-dire une tranche de 30 mm au moins en 24h.

Le régime saisonnier a une large influence sur la durée et sur la période végétative, un pic pluviométrique se localise en période automnale après un repos estival, durant cette phase la reprise de la végétation est souvent observée; alors que, l'autre pic s'enregistre au cours de

la période hivernale; mais l'efficacité de ces pluies sur l'activité végétale reste limitée par les basses températures (phase du repos hivernal).

En général, le régime saisonnier des précipitations est de type AHPE pour la zone steppique proprement dite (tableau n° 04).

**Tableau n°03: Données pluviométriques de la zone d'étude (mm) (ONM: 1996-2012)**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Saida	42,20	32,40	41,80	47,00	31,80	12,00	6,70	5,30	22,70	50,80	52,00	34,20	378,90
EL-Kheiter	27,48	23,52	28,20	21,84	17,52	5,52	4,80	5,64	20,88	26,40	23,04	22,20	227,04
Mecheria	19,60	21,30	28,70	24,80	15,70	10,30	5,00	6,00	31,40	29,20	35,80	33,60	261,40
Naama	17,60	20,45	25,00	21,34	14,00	9,00	5,85	9,00	26,25	28,00	33,00	29,00	238,49
Ain Sefra	10,00	10,00	13,50	11,20	12,00	6,00	8,60	13,00	29,00	28,00	23,00	17,00	181,30

**Tableau n°04: Régime saisonnier des précipitations**

Station	Régime
Saida	APHE
El-Kheiter	HAPE
Mecheria	AHPE
Naama	AHPE
Ain Sefra	AHPE

### 2.3-Les vents

Dans cette région, les vents jouent un rôle très important dans le façonnement du paysage (sol, végétation, relief); ils ont une fréquence, une vitesse et une direction très variables au cours de l'année (tableau n° 05).

En hiver, les vents les plus dominants sont ceux de l'Ouest et du Nord-Ouest qui restent relativement pluvieux en poussant les nuages vers l'Atlas saharien et les hautes plaines steppiques; par contre les vents du Nord sont généralement froids et moins pluvieux.

En été, les vents du Sud amènent une pluviométrie orageuse ainsi que le sirocco qui fait baisser le degré hygrométrique jusqu'au 20%. On estime au moins huit (8) jours de sirocco par an dans la partie sud de cette zone.

**Tableau n°05: Direction et fréquence du vent (ONM)**

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Saida	25	12	4	6	9	8	15	21
El-Kheiter	19	14	5	5	11	15	16	15
Mecheria	19	13	6	5	11	14	15	17
Naama	18	12	6	4	13	14	17	16
Ain Sefra	17	8	7	6	17	16	14	15

## 2.4-Autres facteurs climatiques

La neige, la gelée blanche, le brouillard... n'ont pas fait d'objet d'étude approfondie, et leurs estimations restent aléatoires, on se limite uniquement aux quelques valeurs à titre indicatif (tableau n° 06)

**Tableau n°06: Autres facteurs climatiques (ONM)**

	nombre jours de gelée blanche par an	nombre de jours d'enneigement par an
Saida	20	5
El-Kheiter	24	7
Mecheria	30	4
Naama	30	4
Ain Sefra	28	2

## 2.5-Synthèse climatique

**Indice d'aridité de E. DE Martonne :** Cet indice (annuel ou mensuel) se calcule de la façon suivante :  $I=P/(T+10)$

P : Précipitation mensuelle (mm).

T : Température mensuelle (°C).

**Quotient thermique d'Emberger :** L'amplitude thermique étant un facteur important dans la répartition de la végétation. A cet effet, Emberger a proposé ce facteur pour caractériser la distribution végétale en conditions méditerranéennes ; qui s'écrit de la façon suivante:

$$Q=2000P/M^2-m^2$$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°K).

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°K).

Cette formule est simplifiée sous la forme suivante: (formule de Stewart)

$$Q=3,43*P/M-m$$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C).

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C).

*Tableau n°07: Valeurs d'indices d'aridité de E. De Martonne*

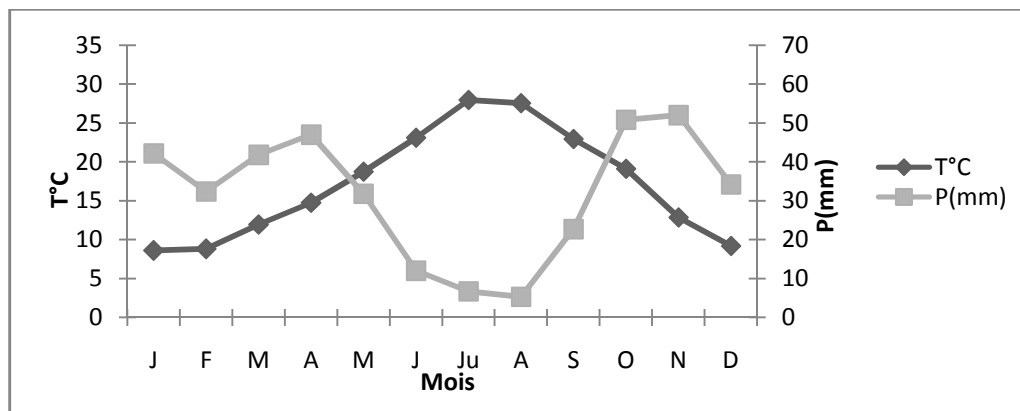
Station	Indice d'aridité annuel	Bioclimat
Saida	13,96	Semi aride
EL-Kheiter	8,39	Arde
Mecheria	9,55	Arde
Naama	8,57	Arde
Ain Sefra	6,39	Arde

*Tableau n°08: Classification bioclimatique des stations de référence*

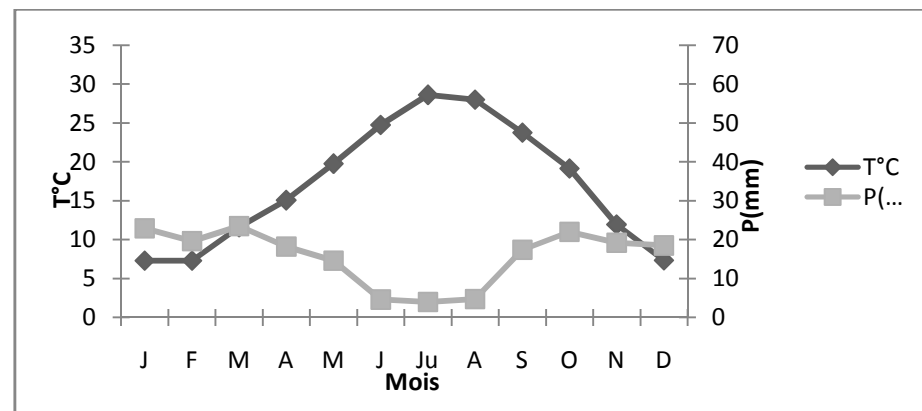
Station	Quotient thermique d'Emberger	M	Etage bioclimatique
Saida	38,24	3,2	semi aride a hiver frais
EL-Kheiter	22,06	1,9	aride a hiver frais
Mecheria	25,19	2,4	aride a hiver frais
Naama	22,52	2,0	aride a hiver frais
Ain Sefra	16,45	1,3	aride a hiver frais

**Diagramme Ombrothermique :** Bagnauls et Gausson considéraient un mois sec quand la précipitation moyenne mensuelle est deux fois inférieure à la température moyenne mensuelle. Il s'agit d'une représentation graphique de la fonction  $P=2T$  ; les mois étant en abscisse et les deux axes d'ordonnées, l'un porte les valeurs de la température et l'autre celles de la pluviométrie.

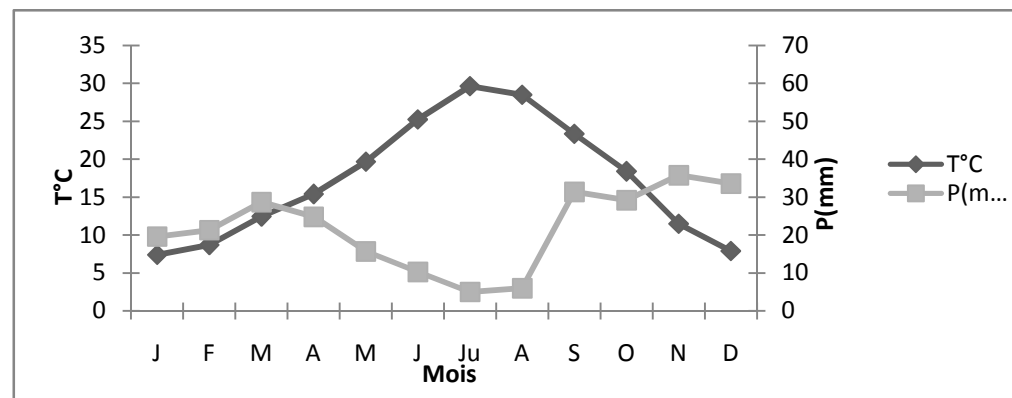
Le nombre de mois humides ne dépasse pas cinq (05) mois par an dans toute la région d'étude (figure n°02).



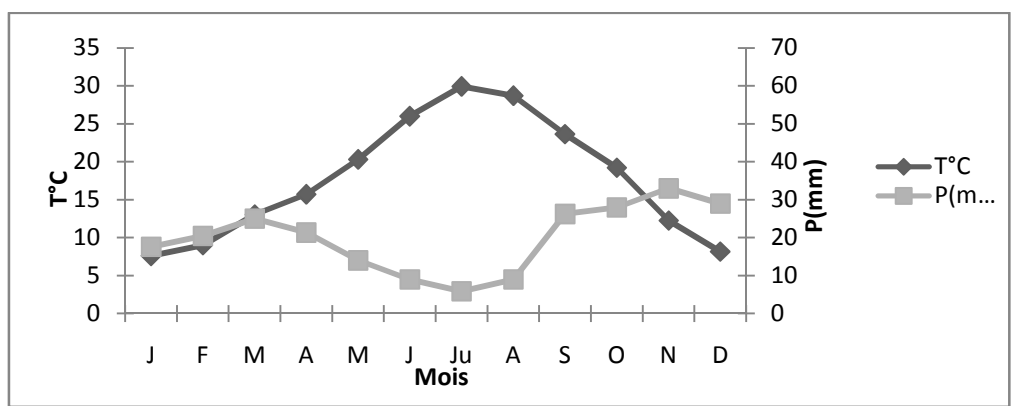
(1)



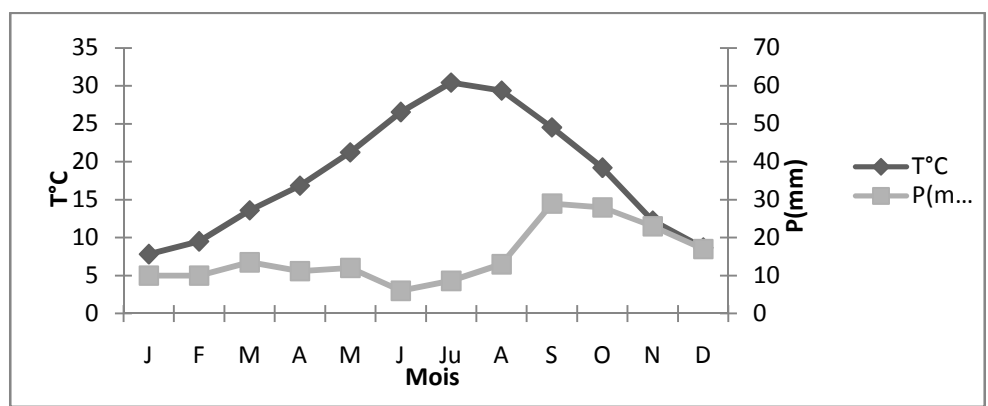
(2)



(3)



(4)



(5)

Figure n°02: Courbes Ombrothermiques des stations de référence : (1) Saida- (2) EL-Kheiter- (3) Mecheria- (4) Naama- (5) Ain Sefra



## **2.6-Bilan et régime hydrique:**

Le régime hydrique des sols joue un rôle important dans les phénomènes pédologiques, en particulier la dynamique des sels; d'ailleurs, ce paramètre est l'un des critères utilisés pour la classification des sols (Soil Taxonomy).

L'absence de données climatiques fiables au niveau des horizons pédologiques (température et humidité de la section de contrôle), contraint de faire à prendre en considération uniquement les paramètres climatiques de l'atmosphère environnante pour estimer le régime thermique et hydrique des unités pédologiques.

L'évapotranspiration annuelle pour la zone d'étude dépasse largement les 800 mm et l'estimation du déficit hydrique, pour les différentes stations à partir des données météorologiques, met en évidence un bilan négatif (P-ETP) sur une durée très longue de l'année (tableau n° 09).

Ces données confirment la xéricité et l'aridité du régime climatique de ces sols malgré la formation d'une réserve d'eau sur une période très courte de l'année mais sans qu'il ait obligatoirement un drainage climatique; par conséquent le processus de la pédogenèse se limite uniquement au niveau de l'horizon superficiel (Pouget 1980).

Cette étude a confirmé donc, à travers ces valeurs et graphiques, le caractère aride de la région et les conditions défavorables du biotope aux quelles la vie biologique s'y trouve confrontée.

**Tableau n°09: Déficit pluviométrique de la zone d'étude (mm)**

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Saida	P	42,20	32,40	41,80	47,00	31,80	12,00	6,70	5,30	22,70	50,80	52,00	34,20	378,90
	ETP	17,37	18,11	31,56	46,25	71,50	104,41	147,56	143,75	103,18	73,94	36,01	19,64	813,30
	P-ETP	24,83	14,29	10,24	0,75	-39,70	-92,41	-140,86	-138,45	-80,48	-23,14	15,99	14,56	-434,40
El-Kheiter	P	27,48	23,52	28,20	21,84	17,52	5,52	4,80	5,64	20,88	26,40	23,04	22,20	227,04
	ETP	12,64	12,64	29,51	47,54	78,20	118,22	154,05	148,18	109,62	73,90	31,16	12,80	828,45
	P-ETP	14,84	10,88	-1,31	-25,70	-60,68	-112,70	-149,25	-142,54	-88,74	-47,50	-8,12	9,40	-601,41
Mecheria	P	19,60	21,30	28,70	24,80	15,70	10,30	5,00	6,00	31,40	29,20	35,80	33,60	261,40
	ETP	12,36	16,73	32,67	48,61	77,00	122,43	165,27	153,50	105,78	67,78	28,17	13,97	844,27
	P-ETP	7,24	4,57	-3,97	-23,81	-61,30	-112,13	-160,27	-147,50	-74,38	-38,58	7,63	19,63	-582,87
Naama	P	17,60	20,45	25,00	21,34	14,00	9,00	5,85	9,00	26,25	28,00	33,00	29,00	238,49
	ETP	12,06	16,70	34,27	48,85	80,17	129,21	169,34	156,33	107,63	72,19	30,27	13,86	870,87
	P-ETP	5,54	3,75	-9,27	-27,51	-66,17	-120,21	-163,49	-147,33	-81,38	-44,19	2,73	15,14	-632,38
Ain Sefra	P	10,00	10,00	13,50	11,20	12,00	6,00	8,60	13,00	29,00	28,00	23,00	17,00	181,30
	ETP	11,51	17,10	35,14	54,04	86,10	134,65	177,30	165,24	115,05	70,23	28,49	14,16	909,01
	P-ETP	-1,51	-7,10	-21,64	-42,84	-74,10	-128,65	-168,70	-152,24	-86,05	-42,23	-5,49	2,84	-727,71

*ETP est calculé par la formule de thornthwaite  $ETP = 16 \cdot (10 \cdot t_m / I)^a \cdot f$*

### 3-Etude géologique

La zone d'étude fait partie d'un ensemble géographique connu sous le nom de la steppe algérienne, située entre deux chaînes montagneuses : l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud, caractérisée par une structure tabulaire jalonnée par des immenses étendues de terrains salés (Chot Ech-Chergui et Chot El-Gharbi) et inter coupée par un vaste ensemble de relief rigide d'altitudes dépassant souvent mille (1000) mètres (figure n° 03).



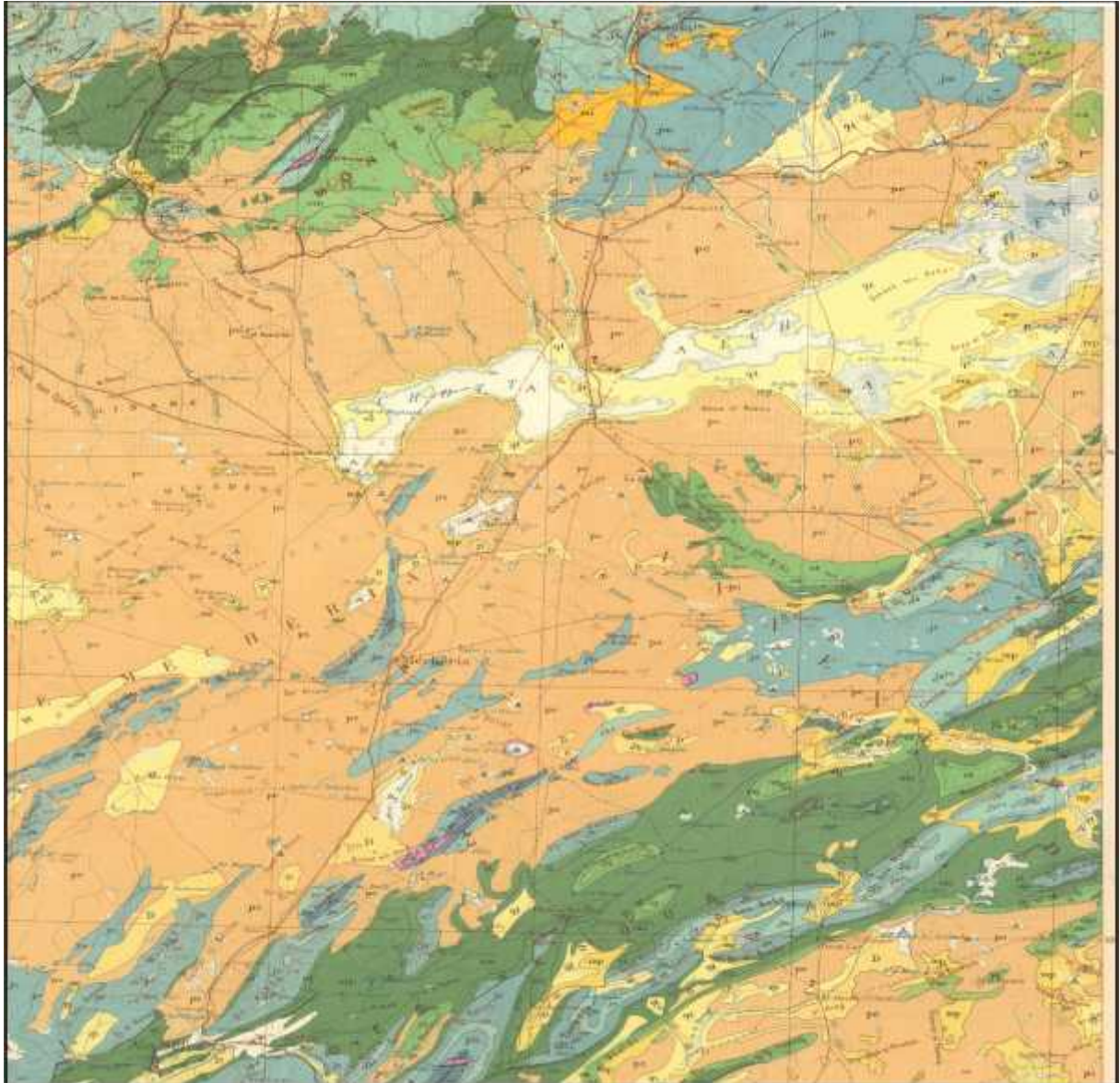
*Figure n°03 : Image satellitaire de la région d'étude par rapport aux domaines géologiques de l'Algérie*

Sur le plan stratigraphique, la région d'étude est caractérisée par le développement des faciès jurassiques qui occupent généralement la plus grande partie du territoire, avec des formations terrigènes et carbonatées.

Le Pliocène-Quaternaire est matérialisé par des dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers et tufs calcaires, dont la puissance ne dépasse guère les vingtaines de mètres.

Le Quaternaire récent est représenté par des alluvions, de sables et de conglomérats, visibles surtout le long des Oueds dont l'épaisseur est inférieure à quinze (15) mètres.

La limite sud de notre zone d'étude est représentée par les monts des Ksours constituée d'une chaîne intracontinentale formée de terrains méso-cénozoïques plissés lors des orogènes atlasique et alpine (figure n° 04).



**Figure n°04 : Carte géologique de la zone d'étude**

(Extrait de la feuille de la carte géologique de l'Algérie (1/500000))

2<sup>me</sup> édition (Gornet A.- Dallouni et al.1952)

**Légendes**

**Tr** (Trias), **Ji** (Jurassique inférieur), **Jm** (Jurassique moyen), **Js** (jurassique supérieur), **Ci** (Crétacé inférieur), **Cs** (Cénomanién inférieur), **Cm** (Cénomanién supérieur), **Cp** (Crétacé post-Turonien), **T** (Tertiaire), **Q** (Quaternaire)

Par référence à la carte géologique (figure n°04) et les résultats de prospections géologiques réalisées à travers les forages hydrauliques implantés dans la région d'étude, la stratigraphie géologique de cette dernière est d'âge variable et elle est formée par:

**3.1-Trias:** Il est représenté par des conglomérats, des argiles versicolores, des dolomies et des gypses, apparait en diapir, sous forme de formations bariolées à gypse et sel soluble. C'est la source principale des sels pour les sols des régions arides. Il jalonne certaines failles dans la plaine de Mecheria-Touadjer au Djebel Melha.

### **3.2-Jurassique**

**3.2.1-Jurassique inférieur:** Sa limite d'affleurement à l'Est ne dépasse pas l'anticlinal d'Ain Ouarka; représenté par des calcaires et des marne-calcaires avec une abondante de faune d'ammonites.

**3.2.2-Jurassique moyen:** Il est formé principalement de calcaires et daté par le biais d'une abondante faune de brachiopodes. A Ain Ouarka, sa base est formée de lentilles de calcaires récifaux (bio-constructions coralliennes), chargé en grès en allant vers le sommet de la série, matérialisé à Djebel Antar par une épaisse série de calcaire dolomitique.

**3.2.3-Jurassique supérieur:** Il correspond à une formation gréseuse à stratification oblique d'épaisseur pouvant dépasser mille (1000) mètres. Les grosses barres sont formées de grès peu consolidés à ciment calcaire qui renferme des dragées de quartz de taille variable, et localisé dans la région d'Ain Moktadelli, Djebel Morghad, Djebel Aïssa.

### **3.3-Crétacé**

**3.3.1-Crétacé inférieur:** Il est représenté par une série marno-calcaire alternée par des couches gréseuses minces, affleurant au niveau de la région de Tirkount et se poursuivant au Nord Ouest du Djebel Aïssa.

**3.3.2-Cénomaniens inférieur à moyen:** Il est représenté à la base par une sédimentation mixte, détritique et carbonatée, correspondant à la formation de Djebel El Medaouar.

**3.3.3-Cénomaniens supérieurs-Turonien:** Il occupe le sommet des synclinaux perchés des Djebel El Medaouar, Djebel Belhendjir, formé par le calcaire et de marne.

**3.3.4-Crétacé post-Turonien:** Il n'aflure que rarement, matérialisé par une alternance détritique rougeâtre d'argiles, de grès et de conglomérats.

**3.4-Tertiaire:** Le tertiaire continental est constitué par le remaniement du matériel détritique crétacé résultant du démantèlement des reliefs de l'Atlas saharien par les phénomènes d'érosion, occupant le centre de la dépression de la région de Tirkount et constitué de conglomérats, de galets, de grès, de sables et de couches argilo-gypsifères.

**3.5-Quaternaire :** Au niveau de la région d'étude, le quaternaire est représenté par plusieurs types de dépôts:

**3.5.1-Les colluvions de piedmonts:** Ils sont représentés par des dépôts de pente de teinte sombre, constitués par des cailloutis à ciment carbonaté, localisés sur les flancs des massifs du Djebel Antar et du Djebel Aïssa.

**3.5.2-Les alluvions anciennes:** Elles sont constituées d'un mélange de graviers, de sables et d'argiles, avec parfois des lentilles gréseuses tendres de couleur grise claire.

**3.5.3-Les alluvions récentes:** Elles sont formées par des dépôts de comblement du fond des vallées, correspondent à une formation sablo-argileuse qui jalonne les lits des oueds.

#### **4-La couverture pédologique**

De nombreuses études pédologiques en milieu aride (Durand 1954, Boyadgiev 1975, Pouget 1980, Halitim 1988, Bourahla 1998) ont montré la prédominance de la voie calcimorphe; toute fois, l'on se réfère à la carte mondiale de la répartition des sols, notre région d'étude est comprise à l'intérieur de la zone à pédogenèse calcimorphe; l'effet par contre de la station a induit l'apparition d'autres types de sols.

Parmi les grandes classes des sols rencontrées il y a lieu de citer:

#### **4.1-Les sols à minéraux bruts non climatique d'érosion**

Ce sont des sols localisés aux mi-versants; ici la morphogenèse domine la pédogenèse et l'action du vent et de l'eau mettent en apparence une roche mère dure (Grès, Grès calcaire, Dolomie) donnant naissance à un lithosol; la matière organique étant une litière non ou faiblement décomposée, se superposant sur un horizon A très mince, surtout minéral, sans structure et à texture grossière.

#### **4.2-Les sols peu évolués**

Ces sols se développent sur un substrat géologique altéré, dans les zones à apport continu et dont les propriétés sont liées à la nature du colluvium; selon l'apport on a trois groupes:

##### **4.2.1-Les sols colluvionnaires**

Ces sols se développent sur les piémonts de montagne, des glacis et les cônes de déjections, se caractérisent par la présence des amas de galets et de cailloux mélangés avec des matériaux poreux très hétérogènes à texture grossière, considérés comme des sols privilégiés pour l'alfa.

##### **4.2.2-Les sols alluvionnaires**

Ces sols se développent sur les lits des oueds, les dayas et les zones d'épandage ; les éléments transportés confèrent leurs propriétés aux sols que les forment; de texture limono-sableuse à limono-argileuse de matière organique relativement évoluée et stable.

Ces sols sont colonisés par une végétation buissonneuse (armoise) et sont soumis à une forte pression anthropique par une mise en culture mal adaptée (céréaliculture surtout).

##### **4.2.3-Les sols d'apport éolien**

Ces sols sont composés par des accumulations sableuses dont la profondeur peut atteindre un (01) mètre.

Ils sont caractérisés par un horizon A sableux, non structuré, clair et pauvre en matière organique (moins de 0,5% de carbone). Ces sols se développent sur les glacis et les couloirs d'ensablement; la végétation psammophile (genre : Aristida, Tamarix, Retama) trouve son plein développement.

### **4.3-Les sols calcimagnésiques**

Les sols calcimagnésiques forment la majorité des sols de la steppe algérienne, la rareté de la pluviométrie et la faible production du CO<sub>2</sub> (faible taux de couverture végétale) laissent le complexe adsorbant et sa solution, saturés en permanence par les ions calciques et magnésiens; nous avons:

#### **4.3.1-Les rendzines**

Ces types de sols occupent les versants, où un horizon plus ou moins organique surmonte une roche dure (Grès calcaire), l'accumulation de la matière organique est limitée à la surface et la résistance de la roche mère réduit la pénétration racinaire en profondeur; la dégradation de sa couverture végétale oriente l'évolution pédologique vers la classe des sols peu évolués.

#### **4.3.2-Les bruns calcaires xériques**

Ces sols se développent sur une roche mère carbonatée et friable type marno-calcaire; occupant les glacis, de texture relativement équilibrée, le calcaire est uniformément reparti le long du profil.

#### **4.3.3-Les bruns calcaires à forte individualisation du calcaire**

Ces sols occupent les vastes glacis encroutés du quaternaire; ici, la végétation forestière est disparue, laissant la place à une couverture végétale claire et herbacée telles que: l'alfa, le sparte, l'atractilys, l'armoïse...

L'horizon A est peu épais, présentant quelques accumulations sableuses plus ou moins continues qui entourent les touffes de la végétation, cet horizon est localement ou non salé, par contre la croûte calcaire présente une pellicule rubanée et des plages de salures (Pouget 1980).

La matière organique est faible mais très stable (mull calcique où la gangue calcaire masque la matière organique et limite toute attaque enzymatique), la fraction argileuse est dominée par les argiles types fibreuses (palygorskite) du fait que dans ces conditions l'excès du calcaire détruit la majorité des éléments aluminosilicatés (Halitim 1988).



#### **4.4-Les vertisols**

Le caractère vertique est souvent observé dans ces conditions, mais les vertisols proprement dites sont rares et qui ne se développent que dans certaines conditions (dépressions, dayats) où la roche mère est de type marno-calcaire, riche en éléments fins qui confèrent à ces sols le caractère vertique (fonte de retraits).

#### **4.5-Les sols halomorphes**

Dans cette région, deux facteurs essentiels se conjuguent pour influencer l'extension des sols salés: les roches triassiques salées qui agissent comme source de sels et les conditions climatiques évaporantes qui concentrent ces derniers à l'intérieur du profil et limitent toute forme de lixiviation. Ces sols sont représentés par les Sebkhass et les Chotts où la conductivité électrique dépasse 20 dS/m.

#### **5-La couverture végétale**

La caractérisation floristique de la région steppique a été étudiée par de nombreux auteurs (CRBT 1978, Aidoud 1980, Djellouli 1981, Achour 1983, Djebaili 1984, Aidoud et al. 1988, Bouazza 1995, Benabdeli 1996, Aidoud et al. 2006, Henni et al. 2012, Nedjimi 2012 et Bessaih et al. 2014) qui ont démontré l'effet de l'interaction des trois (03) facteurs: climat-sol-action humaine sur la distribution et le taux de la couverture végétale.

Dans cet espace, toutes les formations végétales steppiques sont présentes, mais avec des degrés d'abondance très variables. La couverture forestière et pré-forestière n'occupe que des îlots discontinus ; par contre, la végétation steppique s'étale sur des vastes espaces.

La végétation steppique se définit comme étant une formation herbacée, ouverte, caractérisée par des espèces xérophytes dont la hauteur ne dépasse pas un (1) mètre (Le Houerou 1971).

Cinq (05) formations végétales steppiques caractérisent notre zone d'étude:

##### **5.1-Steppe à alfa**

C'est une steppe graminéenne, dont le taux de recouvrement peut atteindre 20%, et se localise sur les altitudes variant de 1000 à 1800 mètres.

Cette couverture végétale colonise les sols bien drainés, peu épais, encroûtés du semi aride inférieur froid, avec une température minimale  $-6^{\circ}\text{C}$  et une pluviométrie annuelle de 300 mm avec un rendement fourrager qui varie de 0,20 à 0,35 UF/kg MS.

### **5.2-Steppe à sparte**

Ce faciès végétal présente une très grande élasticité écologique et occupe les glacis, les dépressions et même les versants; cette végétation colonise les sols à accumulation plus accentuée du calcaire (crouste et dalle calcaire), avec un taux de recouvrement moyen de 15% d'un rendement fourrager qui varie de 0,30 à 0,40 UF/kg MS; ces parcours subissant une forte pression de pastoralisme extensif non réglementé et persistant.

Sur le plan climatique, le sparte trouve son plein développement dans la classe pluviométrique de 200 à 300 mm avec un bioclimat aride à semi-aride, froid et frais (Dahmani 1997).

### **5.3-Steppe à remth**

Ces parcours se localisent sur les glacis, les piémonts sud de la région d'étude, et se développent sur des sols squelettiques, superficiels; les groupements à remth, composés d'une végétation chamaephytique basse, claire, homogène.

De point de vue climatique, cette steppe s'étale de l'étage bioclimatique aride inférieur frais au saharien avec une pluviométrie annuelle ne dépassant guère 150 mm; le taux moyen de recouvrement est inférieur à 10%, le cortège floristique très pauvre et un rendement fourrager moins de 0,20 UF/kg MS.

### **5.4-Steppe à armoise blanche**

Cette couverture végétale colonise les sols alluvionnaires, les dépressions limoneuses non salées, localement battantes; le taux de recouvrement peut atteindre 15% avec un rendement fourrager de 0,45 UF/kg MS.

Ce faciès trouve son optimum de développement dans les altitudes 900 à 1200 m, bioclimat aride à semi aride, à variantes froide et fraîche.

## 5.5-Steppe à végétation mixte

En plus des quatre steppes ci-dessus mentionnées, il existe une multitude de formation végétale en mélange; dont le degré de ce mosaïque est lié aux conditions de la station (ensablement, accumulation des sels solubles, gypse...).

## 6-Dynamique globale de la steppe algérienne:

Socio-géographiquement, la steppe algérienne est le domaine du pastoralisme par excellence. Cet espace qui s'étend sur une superficie de 32 millions d'hectares, dont 20 millions d'hectares de parcours proprement dits (*théorique*), est sous la dépendance de la conjugaison des facteurs climatiques et anthropiques qui l'orientent vers une dynamique régressive et parfois vers l'étape de l'irréversibilité (Khaldi et al. 2011). Parmi les causes de cette dégradation notons:

### 6.1-Facteurs anthropiques:

**6.1.1-Surpâturage:** Le cheptel en pâturage dans la steppe algérienne est dominé par la fraction ovine, dont l'effectif ne cesse d'augmenter et s'accroît à une vitesse exponentielle pour atteindre actuellement  $21.10^6$  équivalent-ovin avec un besoin énergétique estimé à plus de  $8.10^9$  UF/an; alors qu'à l'indépendance, il n'était que  $3.10^6$  équivalent-ovin (tableau n°10).

Actuellement, la steppe algérienne ne fournit à peine et dans les meilleures conditions pluviométriques, que  $6.10^8$  UF/an (moins de 10% des besoins) et cette source énergétique ne cesse de se réduire avec le temps, donnant ainsi une charge d'équilibre estimée à un (01) équivalent-ovin/Ha alors que la densité pastorale actuelle est de huit (08) fois supérieure, une situation qui atténue ainsi le pouvoir de régénération de la végétation steppique et accélérant la désertisation du milieu (Nedjraoui et al. 2008).

Cette désertisation se caractérise par une disparition des espèces pastorales les plus appréciés, un tassement et une dégradation de la structure du sol qui devient pulvérulente facilement transportable par le vent en déclenchant ainsi une érosion éolienne sélective.

**Tableau n°10:** Evolution moyenne de l'effectif du cheptel pâturant dans la steppe algérienne  
(10<sup>6</sup> équivalent-ovin)

Année	1963	1968	1975	1999	2011
Effectif	3,0	6,5	9,0	20,0	21,0

(MADR 2013)

**6.1.2-Extension de la céréaliculture:** Fort longtemps, les pasteurs pratiquaient une céréaliculture de subsistance dans les zones traditionnelles de labours telles que : les zones d'épandage et les dayas. Cependant, depuis l'approbation d'une réglementation en faveur de l'accès à la propriété foncière agricole (*Loi n°83-18 du 13 août 1983*), l'acquisition des matériels aratoires et la semi- sédentarisation des nomades ; le défrichement des terres steppiques a pris des statistiques alarmantes. Cette acquisition du foncier avait un but beaucoup plus l'appropriation des terres plutôt que leurs mises en valeur (Tadj 2010).

Les rendements en céréales ne dépassent pas 2q/Ha et ne compensent même pas les pertes fourragères causées suite à l'élimination des rares ligneux qui persistaient sans ignorer les déséquilibres écologiques induits par l'introduction de cette nouvelle spéculation.

## 6.2-Facteurs climatiques

**6.2.1-Sécheresse:** La steppe algérienne est sous l'influence d'une sécheresse récurrente, cyclique et parfois persistante avec une tendance à l'aridification. On effet, depuis un quart de siècle, la pluviométrie a diminué de 18 à 27% par rapport à la moyenne, la période sèche a augmenté de 2 mois, la température minimale (m) qui variait entre 0,3 et 2,6 °C se situe actuellement entre 0,8 et 3 °C. (Djellouli et al.1993)

**6.2.2-Erosion éolienne:** La steppe algérienne est un couloir ouvert favorable au phénomène d'érosion éolienne et d'ensablement. Les vents du sud, à caractère desséchant, agissent sur cette zone à sols secs, sableux, squelettiques de faible couverture végétale en déclenchant ainsi une érosion sélective avec élimination de la fraction fine, laissant un sol nu à forte teneur en charge caillouteuse. Le Houerou (1995) estima une perte annuelle par l'érosion éolienne de 150-300 t/Ha/an (annexe 8).

**6.2.3-Salinisation:** La salinisation des sols steppiques est beaucoup plus d'origine secondaire que primaire, en effet, la mise en culture en irriguée des terres par des eaux souterraines salines, et conjuguée avec des conditions climatiques très évaporantes rendent le drainage climatique déficient et concentrent la salure à l'intérieur du profil.

## **CHAPITRE : II**

# **METHODES D'ETUDE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE DES SOLS**

## **1-Introduction**

Dans le sol, les cycles biogéochimiques des éléments, particulièrement le carbone et l'azote, sont sous la dépendance de l'activité du cortège microbien qui colonise les horizons pédologiques (Bouchenafa et al. 2011). Cette fraction joue un double rôle : l'un de transformation (par différentes réactions enzymatiques) et un autre de réserve (constitue 2 à 4% du carbone organique du sol et 4 à 8% d'azote total du sol) (Nicolardot 1994) ; donc, l'estimation de ce compartiment permet non seulement de quantifier la réserve des éléments fertilisants dans le sol, pour but aussi de simuler leur devenir.

Par son turnover rapide, le cortège microbien constitue un bon paramètre pour prévoir l'évolution des propriétés édaphiques. Leroy et al. (2008) ont observé que suite à une exploitation intensive des sols, la diminution affecte beaucoup plus le carbone de la biomasse microbienne que le carbone organique total.

Pour mieux étudier la dynamique, l'estimation et le rôle de ce cortège ; il s'avère important de disposer une méthode précise et fiable pour quantifier cette fraction. Pour cela, il y a lieu de comparer deux méthodes qui estiment la biomasse microbienne et dégager celle qui permet d'accéder mieux à la quantification de la dite fraction des sols steppiques à texture très grossière.

### ***Méthode de dénombrement***

Le principe de cette méthode s'appuie sur la libération des germes microbiens de sa matrice minérale et leur incubation après son ensemencement dans des milieux appropriés (solide ou liquide).

Dans le cas des cultures en milieu solide, on détermine pour chaque boîte de pétri, le nombre de colonies formées (le principe de chaque germe viable donne naissance à une colonie); le nombre de germes est obtenu grâce à la simple multiplication de ce dernier par sa dilution correspondante. Le nombre obtenu est ramené à la masse du sol sec; exprimé en CFU (Colony Forming Units) qui provient du postulat fondamental de la numération particulière: *“un germe par colonie et une colonie par germe”*.

Le comptage des colonies par boîte de pétris diminue de 10 fois lors du passage d'une dilution à une autre (Pochon et Tardieux, 1962).

Dans le cas des cultures en milieu liquide, on recherche la dilution limite donnant lieu à une culture (appréciée par l'apparition d'un trouble, coloration...); l'utilisation des tables de Mac Crady (1918), basée sur une application de la loi de Poisson, donne le nombre le plus probable de germes présents dans l'échantillon (*méthode du NPP*).

Dès son innovation, et malgré les nombreuses améliorations dont elle a bénéficié, particulièrement dans son étape de dispersion et libération des germes (utilisation des solutions dispersantes à base de sels d'hexametaphosphate de sodium et des ultra-sons), cette technique reste à l'heure actuelle sujet de discussions et ses résultats sont parfois contradictoires.

Selon Mangenot (1982), cette méthode est facile à reproduire et peu exigeante, pour d'autres, elle est de précision moindre et d'une reproductibilité imparfaite (Domsch et al. 1978); elle sous estime parfois largement le nombre de bactéries et partiellement adaptée au recensement des champignons (Van Veen et al. 1979, Blet-Charaudeau 1992).

### ***Méthode de fumigation extraction***

Cette technique a été proposée pour la première fois par Jenkinson et al. (1976), basée sur le principe de la stérilisation partielle de la microflore du sol par l'utilisation des différents désinfectants.

Lors d'une incubation en présence d'un désinfectant volatil (ici c'est le chloroforme), la biomasse microbienne qui s'échappe de la stérilisation, utilise comme source d'énergie le contenu cellulaire de la fraction morte.

Par rapport au sol témoin, le traitement fumigé montre une phase de minéralisation très rapide (flush en anglais) de carbone ou d'éléments minéraux (N,P,S, ... ) qui est proportionnelle à la biomasse microbienne; ce flux a un coefficient caractéristique pour chaque élément libéré reliant la biomasse microbienne à son substrat.



## **2-Protocole expérimental**

Pour pouvoir comparer les méthodes d'estimation du cortège microbien des sols, un nombre de vingt (20) échantillons taxonomiquement différents de provenance des sols de la zone steppique Ouest d'Algérie ont été analysés. Les prélèvements sont effectués au niveau de l'horizon superficiel entre les touffes de la végétation steppique.

Deux méthodes d'évaluation de la biomasse microbienne ont été testées:

**2.1-Méthode de dénombrement des germes microbiens par comptage des colonies sur milieu solide:** Le principe de cette méthode consiste en une préparation de différentes dilutions ( $10^{-3}$  à  $10^{-6}$ ) de suspension de terre sous des conditions rigoureuses d'aseptie, l'ensemencement en milieu approprié suivi d'incubation.

**2.2-Méthode de fumigation extraction:** Des échantillons de 25g de sol sont soumis à une fumigation par une vapeur de chloroforme pendant 24h à 25°C, l'extraction se fait par le biais d'une solution de  $K_2SO_4$  0,5M avec un rapport sol/solution de (1/5) et d'une agitation pendant 1h à 200 t/min; le carbone est dosé par  $K_2Cr_2O_7$  (Vance et al. 1987).

L'échantillon non fumigé subit le même traitement; le carbone extractible microbien (E.C) est égal au supplément de carbone extrait dans les échantillons fumigés par rapport aux échantillons témoins non traités par le chloroforme.

Jenkinson et al. (1976), Vance et al. (1987); Inubushi et al. (1991), Chaussod et al. (1992), ont confirmé que, quel que soit le type de sol, le carbone extractible (E.C) est une proportion sensiblement constante de la biomasse microbienne.

Le carbone de la biomasse microbienne est calculé par la formule suivante:

$$C_{\text{bio}} = 2,64.(C_{\text{fumigé}} - C_{\text{non fumigé}})$$

### 3-Résultats et discussion

La densité de la microflore totale enregistrée dans cet écosystème est de l'ordre de  $10^7$  UFC/g de sol sec ; en moyenne, elle varie de  $12,75 \cdot 10^6$  UFC/g de sol sec dans les échantillons des écosystèmes de l'alfa à  $6,45 \cdot 10^6$  UFC/g de sol sec dans ceux du remth (tableau n°11).

**Tableau n°11:** Composition microbienne des échantillons analysés

N° échantillon	Végétation Dominante	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	Micro ( $10^6$ UFC/g sol sec)	Cham ( $10^4$ UFC/g sol sec)	Cham/Micro (%)
1	Alfa	201,00	12,00	136,00	11,33
2	Alfa	225,00	13,00	144,00	11,08
3	Alfa	245,00	13,00	128,00	9,85
4	Alfa	202,50	13,00	136,00	10,46
5	Armoise	189,00	12,00	136,00	11,33
6	Armoise	217,50	11,00	120,00	10,91
7	Armoise	132,00	8,00	88,00	11,00
8	Sparte	147,00	9,00	96,00	10,67
9	Sparte	153,00	9,70	104,00	10,72
10	Sparte	163,00	9,00	104,00	11,56
11	Sparte	115,00	7,00	72,00	10,29
12	Aristida	112,50	7,00	64,00	9,14
13	Atriplexe	97,00	6,80	64,00	9,41
14	Atriplexe	121,00	7,00	64,00	9,14
15	Salsola	88,00	6,00	56,00	9,33
16	Aristida	78,00	7,00	64,00	9,14
17	Remth	79,00	7,30	72,00	9,86
18	Remth	126,00	6,00	64,00	10,67
19	Remth	133,00	7,50	64,00	8,53
20	Remth	89,00	5,00	48,00	9,60

Ces résultats sont similaires aux valeurs trouvées par Amir (1981), Hatimi(1989) et Hatimi et al. (2007) dans d'autres conditions écologiques.

Dommergues et al. (1970) ont démontré que même dans des conditions les plus défavorables, la densité de la microflore totale ne descend que rarement en dessous de  $10^5$  UFC/g sol sec.

Quant au carbone de la biomasse microbienne, il varie entre 78,00 mg/kg de sol sec et 245,00 mg/kg de sol sec, avec une moyenne de 146 mg/kg de sol sec (*plus de détails dans le chapitre III*).

A titre indicatif, la densité moyenne de la flore fongique demeure moins importante et oscille entre  $62,00.10^4$  UFC/g sol sec dans les échantillons des écosystèmes de remth et  $136,00.10^4$  UFC/g sol sec dans ceux de l'alfa en formant moins de 12 % de la densité de la microflore totale. Ces valeurs sont proches à celles trouvées en conditions écologiques similaires par certains auteurs (Sabaou et al.1980, Ali Haimoud 1980, Ali Haimoud et al. 1982, Bourahla 1998).

Cette faiblesse de la densité des champignons pourrait être liée non seulement à ses exigences élevées en facteurs de croissance et son faible pouvoir d'adaptation dans ces conditions défavorables du biotope mais aussi à l'élévation de l'alcalinité du milieu.

Même remarque a été faite par Rasul et al. (2006) qui ont démontré qu'en conditions salines, la population fongique reste minoritaire par rapport à la population microbienne totale.

Ces fractions microbiennes sont fortement corrélées et manifestent donc une interdépendance à l'intérieur du même taxon (tableau n°12).

**Tableau n°12 : Matrice de corrélation entre les différents constituants microbiens**  
(significative à  $p=0,05$ )

	C <sub>bio</sub>	Micro	Cham	Cham/Micro
C <sub>bio</sub>	1,00			
Micro	0,93	1,00		
Cham	0,92	0,98	1,00	
Cham/Micro	0,58	0,57	0,72	1,00

#### **4-Relation entre la densité de la microflore totale et le carbone de la biomasse microbienne :**

Malgré les nombreuses limites remarquées par certains auteurs sur la méthode de dénombrement des populations microbiennes du sol; à l'inverse pour les sols steppiques, nous avons constaté d'excellentes régressions entre les teneurs du carbone de la biomasse microbienne et la densité des germes (microflore totale et fongique) estimée par cette méthode (tableau n°13).

**Tableau n°13: Différentes régressions entre le carbone de la biomasse microbienne et les constituants microbiens**

Type	Equation	r <sup>2</sup>
Micro =f(C <sub>bio</sub> )	0,047C <sub>bio</sub> +1,949	0,87
Cham=f(C <sub>bio</sub> )	0,071C <sub>bio</sub> +1,003	0,85

D'ailleurs certains auteurs ont calculé des différents coefficients de conversion reliant la densité de certains groupes microbiens avec les teneurs en carbone ou en azote.

Jenkinson et al. (1976) ont estimé le rapport C/N de la biomasse microbienne à 4,5 et la masse d'une bactérie à  $10^{-10}$  mg dont leurs teneurs en azote constituent en moyenne de 10%.

A cet effet, nous pensons que la limite conséquente constatée réside de toute évidence dans la phase de la dispersion et la libération des germes microbiens de la matrice minérale.

Dans ces conditions, les faibles teneurs en argiles et le faible état de développement du complexe argilo humique, sont les éléments clés pour l'application et l'amélioration de la performance de cette méthode.

Ces germes sont faiblement adsorbés sur la matrice minérale et donc moins protégés par la fraction argileuse (dominance de la fraction grossière par rapport à une fraction argileuse de faible surface spécifique) et par conséquent ils sont facilement libérés de cette matrice protectrice lors de la préparation des différentes dilutions.

**CHAPITRE III :**  
**COMPORTEMENT DE LA BIOMASSE MICROBIENNE**

## **1-Introduction**

La biomasse microbienne se définit comme étant la fraction vivante de la matière organique du sol (Jenkinson et al. 1981). De nombreuses études ont démontré le rôle pivot de la biomasse microbienne dans le bio fonctionnement pédologique.

Par son caractère labile et un turnover rapide, celle-ci recycle et régénère les éléments biogènes dans tous les écosystèmes terrestres.

La biomasse microbienne tellurique constitue le premier nœud de la chaîne alimentaire dans le sol et la production primaire des écosystèmes terrestres est sous la dépendance de l'activité de ce compartiment (Hussain et al. 2009, Glaciela et al. 2010). Cette fraction est composée en majorité de micro-organismes chimio-organotrophes (Ellis et al. 1995), répartis sous forme de micro-colonies à l'intérieur des agrégats du sol, pour la plus part, dans un état de dormance (Foster et al. 1983).

La biomasse microbienne du sol constitue un indice d'évolution du sol et de prévision de la fragilité des écosystèmes ; elle régénère et dégrade les substrats (Sparling et al. 1993, Da Costa et al. 1998) d'une part et influence la fertilité chimique par évacuation de leur contenu cytoplasmique lors de la mort et de la lyse des cellules microbiennes d'autre part (Bending et al. 2004, Lian et al. 2013).

Plusieurs facteurs influencent la distribution et l'activité microbienne dans le sol; l'accessibilité et la disponibilité du substrat carbonaté (carbone du sol et surtout le carbone des inputs, plus ou moins biodégradable issus des résidus de culture, rhizodépôts et exsudats racinaires) localisé à l'intérieur des agrégats du sol (Pavel et al. 2004, Ullah et al. 2013).

La fraction granulométrique joue un rôle de protection, en effet, Oulbachir et al. (2009) ont démontré que le niveau de la biomasse microbienne est beaucoup plus important dans la fraction argileuse comparativement aux autres fractions texturales.

De même que, la salinité influe négativement sur la quantité de cette biomasse microbienne (Ali Haimoud et al. 1982, Foster et al. 1983, Mellouhi et al. 1984, Dellal et al. 1992).

Les facteurs climatiques influencent aussi la dynamique de la biomasse microbienne tellurique; en effet, Insam (1990) a déterminé une corrélation positive entre le rapport (pluviométrie/évaporation) et l'évolution du stock de la biomasse microbienne.

Wardle (1992), Bergeron (2007) ont démontré que la variation saisonnière de la température et de l'humidité du sol affectent d'une manière directe le niveau de la biomasse microbienne, ce dernier est lié non seulement à la quantité de la phytomasse mais aussi à la diversité et la richesse floristique (Zak et al. 2003, Zhanfeng et al. 2007).

Cet aperçu bibliographique a résumé l'effet des facteurs écologiques (tant biotiques qu'abiotiques) sur le fonctionnement microbiologique des sols dans divers écosystèmes ; cependant, en ce qui se suit a pour objectif l'évaluation du niveau de la biomasse microbienne des sols des régions steppiques, d'étudier et de comparer l'impact de quelques facteurs écologiques à savoir : la couverture végétale et les conditions stressantes (aridité climatique et la salinité) sur le comportement de cette fraction organique.

## **2-Protocole expérimental**

### **Echantillonnage**

L'étude a été réalisée dans la région steppique Ouest d'Algérie, les échantillons de sols ont été prélevés au niveau de l'horizon superficiel entre les touffes de la végétation steppique pendant le mois de Janvier.

C'est une période froide caractérisant le repos hivernal; l'échantillonnage a été exécuté selon une direction Nord-Sud à aridité croissante, cet axe se caractérise aussi par une forte variation tant floristique qu'édaphique (tableau n°14).

La caractérisation physico-chimique des échantillons élaborée suivant les méthodes analytiques standards (Rhoades 1982, Baize 1988) et le dosage du carbone de la biomasse microbienne évalué par la méthode de fumigation extraction (annexe 1).

La caractérisation physico-chimique des échantillons est donnée dans le tableau n°15



**Tableau n°14 : Principales unités taxonomiques analysées**

N°	Végétation dominante	Coordonnées	Altitude (m)	Classification (CPCS)	Great group (Soil taxonomy)
01	Alfa	34-30'-25" N	998	Sol calcimagnésique : rendzine	Calcixeroll
		00-50'-58" E			
02	Alfa	34-29'-10" N	1025	Sol calcimagnésique a croute calcaire	Haplocalcid
		00-46'-15" E			
03	Alfa	34-27'-37" N	1088	Sol calcimagnésique a dalle calcaire	Petrocalcid
		00-39'-22" E			
04	Alfa	34-25'-56" N	1082	Sol calcimagnésique a dalle calcaire	Petrocambid
		00-32'-49" E			
05	Armoise blanche	34-29'-32" N	1009	Sol brun calcaire a croute calcaire	Petrocambid
		00-21'-12"E			
06	Armoise blanche	34-21'-23" N	1005	Sol peu évolué d'apport alluvial	Torrifluvent
		00-19'-49" E			
07	Armoise blanche	34-18'-12" N	1010	Sol brun calcaire a croute calcaire	Petrocambid
		00-17'-35"E			
08	Sparte	34-13'-23" N	1037	Sol calcimagnésique a encroustement calcaire	Haplocalcid
		00-04'-02" E			
09	Sparte	34-08'-44" N	1000	Sol calcimagnésique a dalle calcaire	Petrocalcid
		00-04'-16" E			
10	Sparte	33-58'-12" N	1103	Sol calcimagnésique a dalle calcaire	Petrocalcid
		00-06'-34" E			

11	Sparte	33-47'-29" N	1123	Sol calcimagnésique a dalle calcaire	Petrocalcid
		00-02-51" E			
12	Aristida	33-24'-38" N	1147	Sol peu évolué d'apport éolien	Torripsamment
		00-15'-26" O			
13	Atriplexe	34-08'-50" N	1000	Sol salé	Salorthid
		00-04'-13" E			
14	Atriplexe	34-04'-54" N	987	Sol salé	Salorthid
		00-05'-03" E			
15	Salsola	34-03'-53" N	984	Sol salé	Salorthid
		00-05'-15" E			
16	Aristida	33-19'-24" N	1149	Sol peu évolué d'apport éolien	Torripsamment
		00-04'-23" E			
17	Remth	33-12'-41" N	1148	Sol a minéraux bruts d'érosion	Xeriertent
		00-05'-07" E			
18	Remth	33-09'-27" N	1181	Sol a minéraux bruts d'érosion	Xeriertent
		00-05'-32" E			
19	Remth	32-59'-29" N	1178	Sol a minéraux bruts d'érosion	Xeriertent
		00-06'-59" E			
20	Remth	32-46'-48" N	1186	Sol a minéraux bruts d'érosion	Xeriertent
		00-28'-56" E			

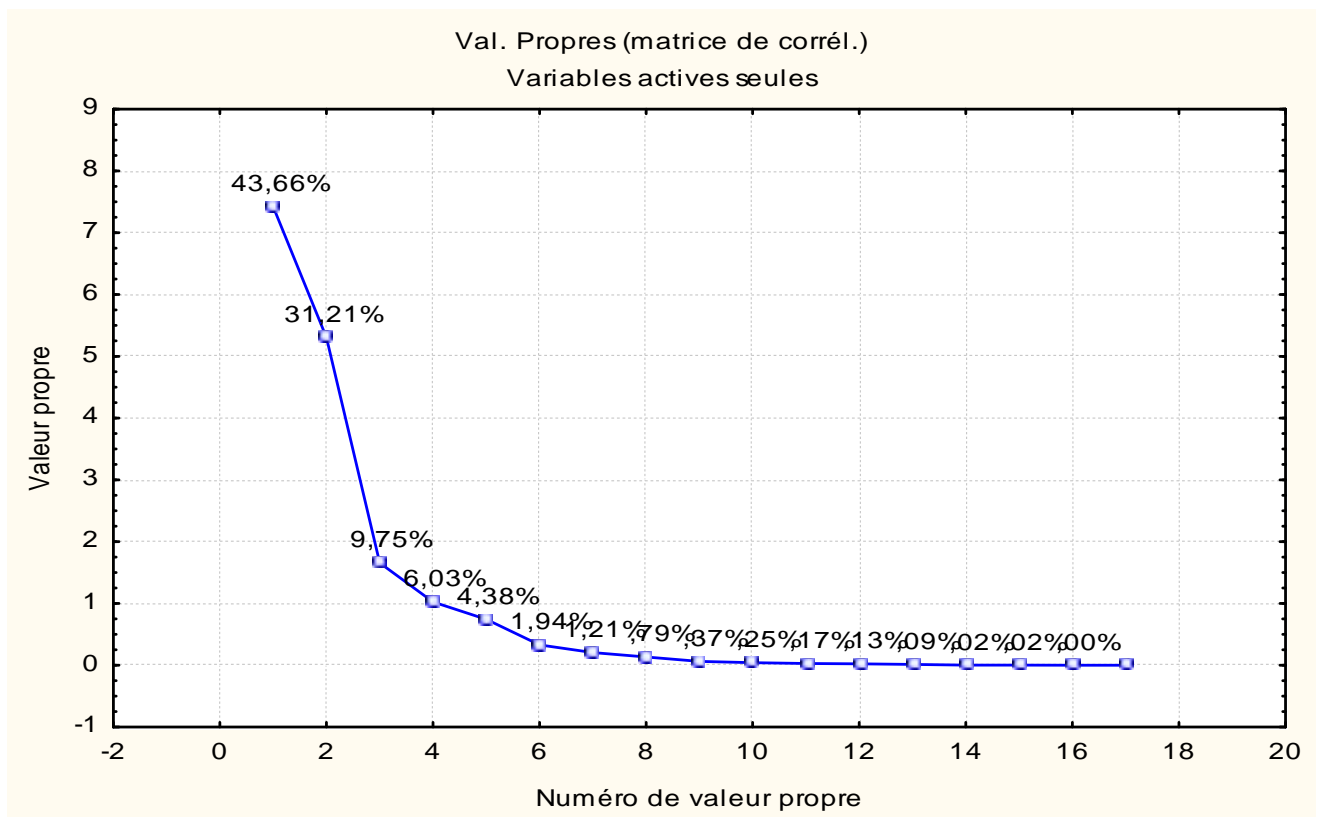
**Tableau n°15: Caractérisation physico-chimique des échantillons**

N°	Texture (%)			CaCO <sub>3</sub> total (%)	pH 1/2,5	CE dS/m	CEC mmole/100g	Solution du sol (mmole/l)						C <sub>org</sub> (%)	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub> (%)	
	Sable	limon	Argile					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	52,00	39,00	9,00	9,00	7,71	1,81	9,89	2,68	0,65	2,04	0,82	4,64	1,30	3,35	0,99	201,00	2,02
2	49,00	41,00	10,00	8,25	7,70	1,71	12,21	2,05	0,78	1,96	0,78	3,87	1,23	3,20	1,08	225,00	2,08
3	52,00	38,00	10,00	8,75	7,64	1,83	12,25	2,18	0,65	2,21	0,88	3,64	1,30	4,00	1,35	245,00	1,81
4	40,00	47,00	13,00	6,50	7,60	1,43	13,65	2,02	0,80	1,88	0,75	2,80	1,50	2,50	1,46	202,50	1,39
5	40,00	48,00	12,00	8,75	7,40	1,45	15,58	1,68	0,52	2,04	0,82	3,20	2,00	2,57	1,35	189,00	1,40
6	40,00	46,00	14,00	7,50	7,50	1,45	13,95	1,63	0,50	1,79	0,72	2,80	1,00	2,00	1,57	217,50	1,39
7	59,00	33,00	8,00	9,85	7,85	2,15	7,81	2,51	0,84	3,06	1,20	4,13	1,48	3,75	0,87	132,00	1,51
8	52,00	39,00	9,00	8,50	7,65	1,90	9,89	2,13	0,65	2,72	1,25	3,64	1,70	3,35	0,99	147,00	1,48
9	57,00	32,00	11,00	9,50	8,36	2,25	14,77	2,38	0,71	3,68	1,45	4,20	1,43	3,75	1,30	153,00	1,18
10	62,00	28,00	10,00	10,50	7,50	2,25	12,21	2,64	0,78	3,00	1,30	4,34	1,55	4,00	1,10	163,00	1,48
11	66,00	27,00	7,00	11,00	8,03	2,45	6,98	2,75	0,83	3,70	1,48	4,62	1,65	4,25	0,76	115,00	1,52
12	72,00	21,00	7,00	12,00	8,16	2,59	5,98	3,00	0,95	3,50	1,40	5,04	1,80	4,62	0,81	112,50	1,39
13	46,00	36,00	18,00	8,50	8,50	7,75	13,19	1,96	0,58	28,00	0,60	12,88	5,02	11,85	0,67	97,00	1,45
14	40,00	37,00	23,00	7,00	8,00	6,95	17,52	1,64	0,50	35,00	0,72	11,20	4,00	10,25	0,84	121,00	1,44
15	27,00	57,00	16,00	4,50	7,20	8,50	10,42	1,13	0,84	32,00	0,32	7,56	2,70	6,93	0,58	88,00	1,51
16	73,00	22,00	5,00	13,50	7,50	2,50	9,16	3,09	0,94	3,00	1,20	5,11	1,88	4,70	0,56	78,00	1,39
17	78,00	20,00	2,00	13,00	7,54	2,70	8,14	3,25	0,98	2,34	0,93	5,46	1,95	5,00	0,52	79,00	1,52
18	75,00	17,00	8,00	12,50	7,25	2,45	7,82	3,13	0,94	1,99	0,80	6,34	1,88	4,85	0,87	126,00	1,44
19	73,00	18,00	9,00	12,18	7,75	2,40	9,89	3,00	0,92	1,84	0,74	8,32	1,83	4,68	0,98	133,00	1,35
20	75,00	21,00	4,00	12,50	7,80	2,47	5,86	3,13	1,00	1,98	0,79	5,25	2,01	4,85	0,63	89,00	1,42

### 3-Résultats et discussion

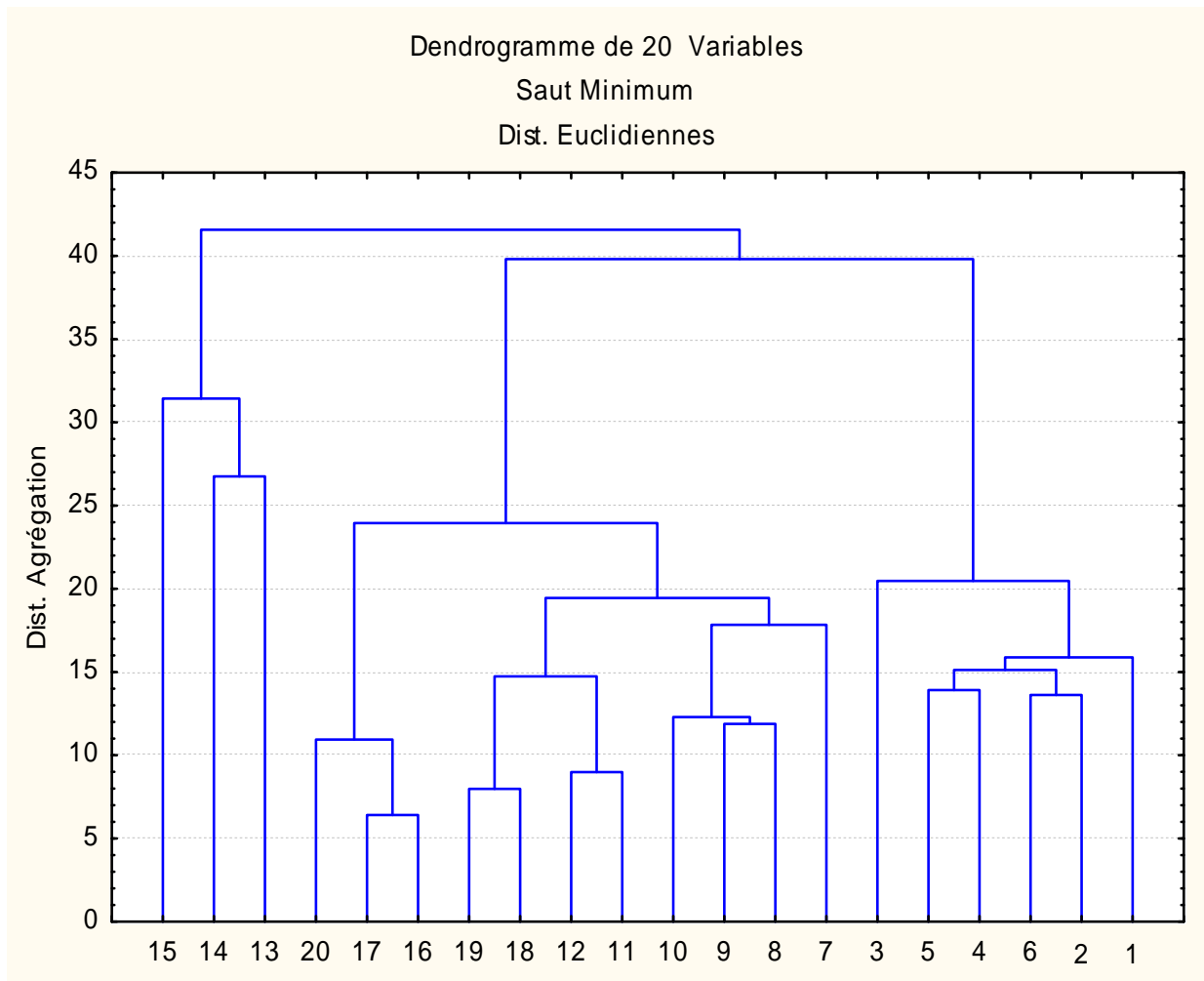
Pour caractériser le degré d'homogénéité et la distribution de différentes unités taxonomiques de la zone d'étude, une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée. Cette technique permet de regrouper des taxons ou des sites ayant des caractéristiques semblables, indiquant le degré de ressemblance ou de disparité entre des différentes stations voire à l'intérieur de la même station (entre les éléments de cette dernière); comme elle permet aussi d'obtenir une représentation d'individus dans un espace de dimension réduite et elle visualise les relations entre eux.

Les valeurs propres expriment la contribution de chaque axe dans l'explication de l'information; le tracé linéaire de ces valeurs permet de choisir le nombre d'axes à retenir; l'endroit, où ces valeurs tendent à s'équilibrer, constitue la limite inférieure du nombre d'axes explicatifs (figure n°05).



*Figure n°05: Tracé linéaire des valeurs propres*

L'homogénéité et la classification hiérarchique des différents taxons sont données dans la figure n°6



**Figure n°06 :** Classification hiérarchique des différents taxons

On distingue trois grands groupes de taxons:

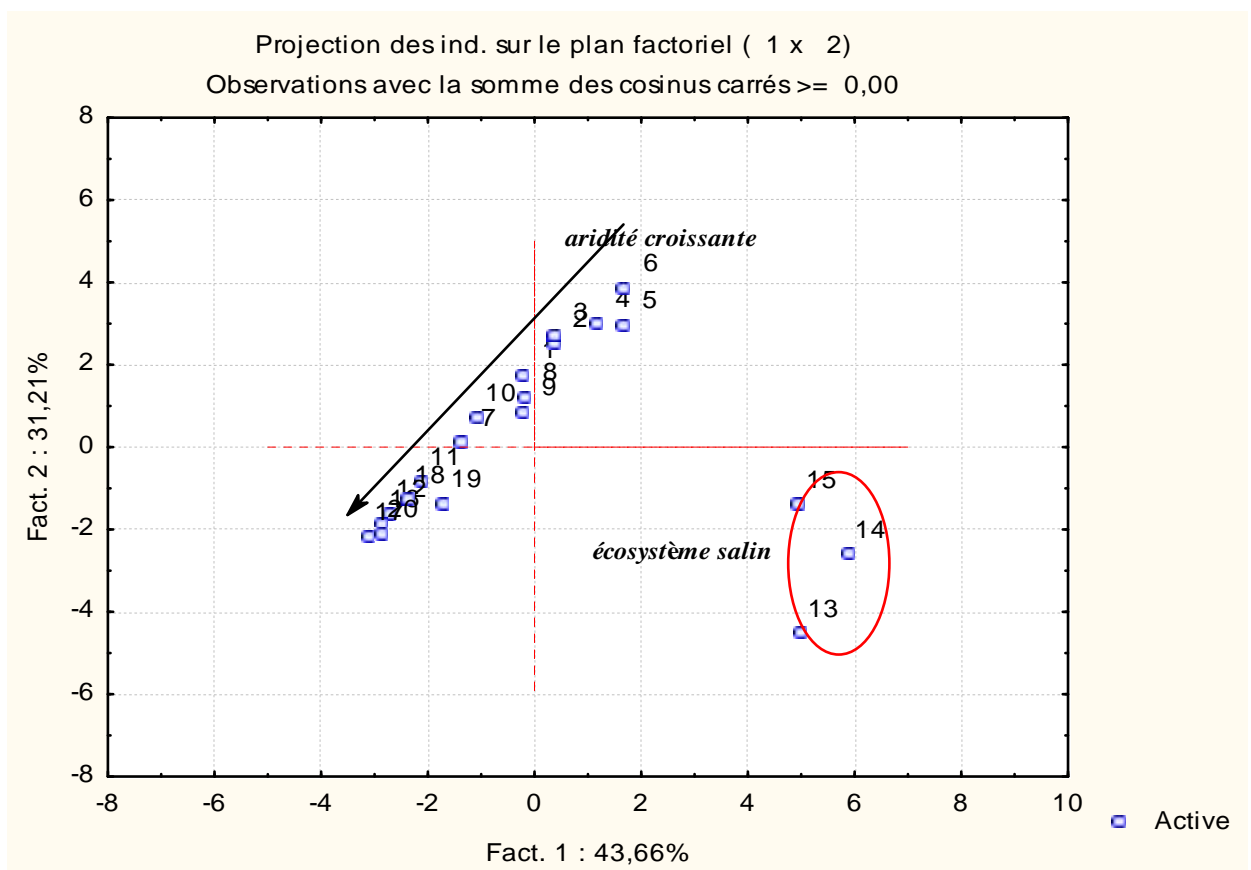
**Groupe 1 :** Il est représenté par les profils (1-2-3-4-5-6) qui se caractérisent par un climat semi aride, à végétation dominée par l'alfa et ayant une moyenne en teneur de carbone de la biomasse microbienne dépassant 218,00 mg/kg. Ce taxon présente quelques propriétés édaphiques favorables à la conservation et la productivité de cet écosystème (les limons et les argiles forment en moyenne 50% de la classe granulométrique et la capacité d'échange cationique (CEC) de 12 mmole/100g).

Ce taxon s'oppose diamétralement aux autres taxons particulièrement ceux qui se localisent en un climat plus aride.

**Groupe 2 :** Il est représenté par les profils (13-14-15), qui évolue à part des autres taxons, il s'agit d'un milieu salé, écosystème azonal moins riche et de faible pouvoir fertilisant où la valeur moyenne de la conductivité électrique (CE) dépasse 7,70 dS/m.

**Groupe 3 :** Il est représenté par les autres profils qui caractérisent les écosystèmes arides et dont la distribution est corrélée avec l'augmentation de l'aridité et réduction de la bio-réactivité, passant de la couverture végétale du sparte jusqu'au celle du remth (l'interface Sahara Steppe).

La distribution des taxons dans l'espace steppique est donnée dans la figure n°7, les deux axes de l'ACP présentent une inertie totale de 74,87%, avec 43,66% et 31,21% de contribution respectivement pour le facteur F1 et F2 qui montre une distribution des taxons dans un sens à aridité croissante et réduction de la phytomasse.



**Figure n°07:** Projection des individus sur le plan factoriel

### **3.1-Variation de la biomasse microbienne dans le paysage steppique**

Dans tous les échantillons, le carbone de la biomasse microbienne varie de 78,00 mg/kg de sol sec à 245,00 mg/kg de sol sec, avec une moyenne de 146,00 mg/kg de sol sec : les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les échantillons des écosystèmes de l'alfa avec une moyenne de 218,37 mg/kg de sol sec alors toute fois, quand les conditions deviennent défavorables (la salure et la dessiccation du sol), ces valeurs s'abaissent (tableau n°15).

Par rapport au carbone organique total, cette fraction oscille entre 1,18% dans les échantillons des écosystèmes de sparte à 2,08% dans ceux de l'alfa, avec une moyenne de 1,5%, ces teneurs sont limitées à l'intérieur de la fourchette des valeurs trouvées par Gil-Sotres et al. (2005), mais au dessous de celles trouvées par Nicolardot et al. (2010).

Le passage de l'écosystème de l'alfa à celui du remth se corrèle avec la réduction du carbone de la biomasse microbienne le long de la coupe Nord – Sud ; il est important de noter aussi que le taux de couverture végétale diminue suivant ce transect qui passe de 20 % dans les écosystèmes de l'alfa à moins de 10 % dans ceux du remth.

Ces faibles teneurs en carbone de la biomasse microbienne sont attribuées aux conditions écologiques défavorables qui caractérisent ces écosystèmes.

La matrice de corrélation des variables analysées présentées dans le tableau n°16, démontre que le niveau du carbone de la biomasse microbienne présente une très faible corrélation avec les autres paramètres pédologiques étudiés à l'exception du carbone organique. Il forme donc un groupe à part, c'est un niveau minimal de la biomasse microbienne que peut héberger une unité taxonomique quand les conditions du biotope deviennent défavorables.

Cette fraction représente le niveau de la biomasse microbienne de faible activité biologique, peu exigeante en facteurs nutritionnels et qui reste en état de dormance (Nicolardot et al.2010). Cette valeur pourra être un critère seuil, utilisé comme un biomarqueur du fonctionnement du sol (Monty et al. 2012), et s'érigera comme un indicateur potentiel de la durabilité et de régénération des écosystèmes steppiques.

Dépassant ce seuil, l'équilibre est rompu et l'écosystème 'sol' perdra ses propriétés influencées par la biomasse microbienne.

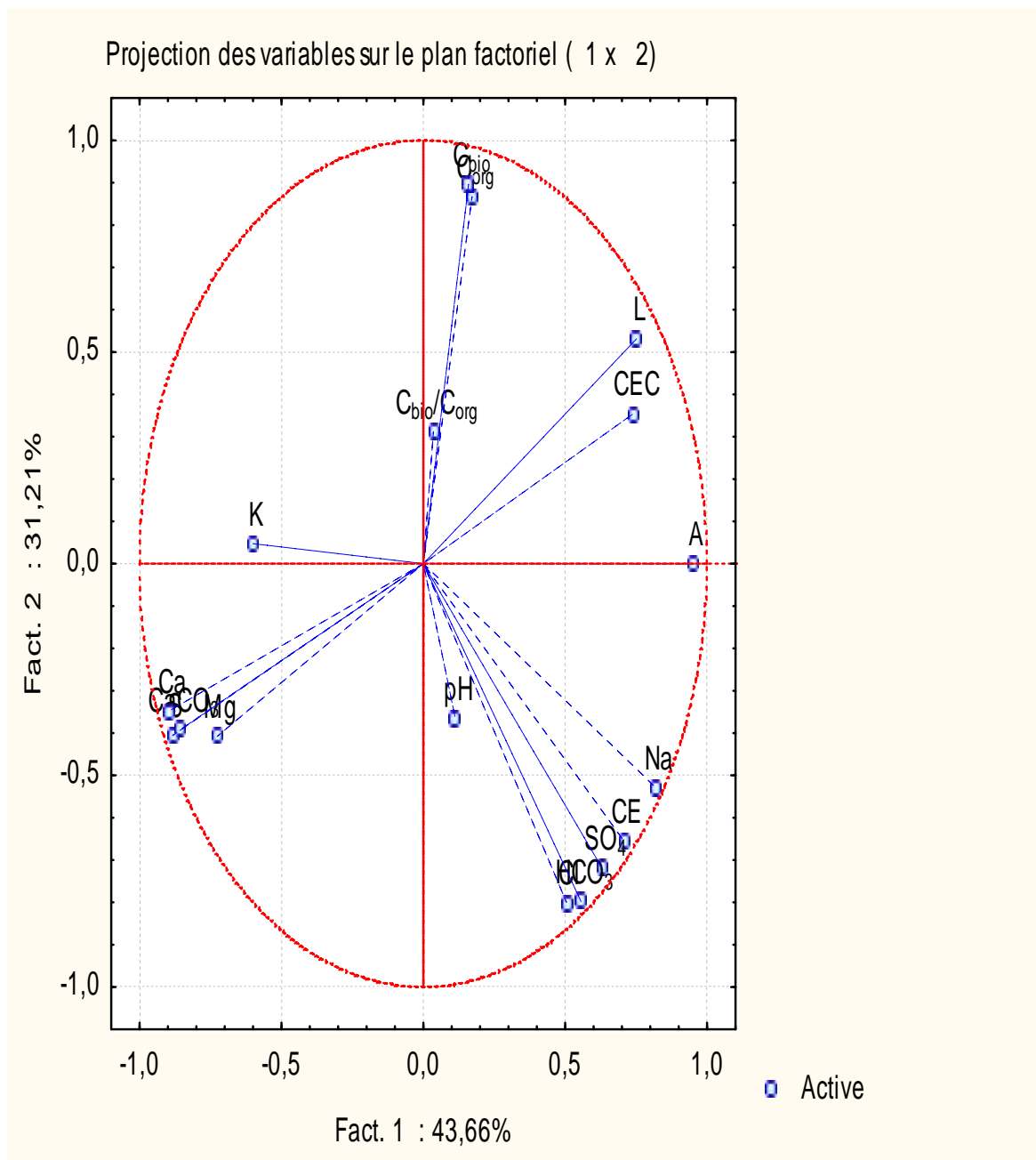
Il est important de noter que les valeurs de ce seuil sont plus élevées dans les écosystèmes de l'alfa que dans les deux autres écosystèmes.



*Tableau n°16: Matrice de corrélation des variables analysées*

Variable	Corrélations (Feuille de données1) Corrélations significatives marquées à p < ,05000 N=20 (Observations à VM ignorées)																
	S	L	A	CaCO <sub>3</sub>	pH	CE	CEC	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	C <sub>org</sub>	C <sub>bio</sub>	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>
S	1,00	-0,97	-0,80	0,97	0,10	-0,40	-0,71	0,98	0,74	-0,53	0,51	-0,06	-0,24	-0,13	-0,43	-0,44	-0,16
L	-0,97	1,00	0,63	-0,94	-0,21	0,25	0,60	-0,93	-0,66	0,36	-0,46	-0,14	0,06	-0,06	0,45	0,49	0,24
A	-0,80	0,63	1,00	-0,78	0,19	0,64	0,78	-0,82	-0,73	0,78	-0,48	0,52	0,60	0,54	0,27	0,19	-0,08
CaCO <sub>3</sub>	0,97	-0,94	-0,78	1,00	0,07	-0,41	-0,64	0,95	0,66	-0,53	0,49	-0,06	-0,20	-0,13	-0,41	-0,43	-0,19
pH	0,10	-0,21	0,19	0,07	1,00	0,20	0,08	0,09	-0,16	0,21	0,36	0,39	0,40	0,43	-0,09	-0,16	-0,17
CE	-0,40	0,25	0,64	-0,41	0,20	1,00	0,20	-0,44	-0,15	0,97	-0,49	0,84	0,86	0,89	-0,52	-0,52	-0,13
CEC	-0,71	0,60	0,78	-0,64	0,08	0,20	1,00	-0,72	-0,81	0,38	-0,30	0,15	0,27	0,17	0,59	0,48	-0,07
Ca	0,98	-0,93	-0,82	0,95	0,09	-0,44	-0,72	1,00	0,74	-0,57	0,49	-0,11	-0,28	-0,18	-0,40	-0,37	-0,07
Mg	0,74	-0,66	-0,73	0,66	-0,16	-0,15	-0,81	0,74	1,00	-0,33	0,21	-0,09	-0,25	-0,14	-0,56	-0,54	-0,11
Na	-0,53	0,36	0,78	-0,53	0,21	0,97	0,38	-0,57	-0,33	1,00	-0,49	0,80	0,85	0,86	-0,37	-0,38	-0,10
K	0,51	-0,46	-0,48	0,49	0,36	-0,49	-0,30	0,49	0,21	-0,49	1,00	-0,41	-0,39	-0,35	0,02	-0,09	-0,22
Cl	-0,06	-0,14	0,52	-0,06	0,39	0,84	0,15	-0,11	-0,09	0,80	-0,41	1,00	0,92	0,96	-0,53	-0,53	-0,16
SO <sub>4</sub>	-0,24	0,06	0,60	-0,20	0,40	0,86	0,27	-0,28	-0,25	0,85	-0,39	0,92	1,00	0,96	-0,47	-0,51	-0,22
HCO <sub>3</sub>	-0,13	-0,06	0,54	-0,13	0,43	0,89	0,17	-0,18	-0,14	0,86	-0,35	0,96	0,96	1,00	-0,56	-0,55	-0,14
C <sub>org</sub>	-0,43	0,45	0,27	-0,41	-0,09	-0,52	0,59	-0,40	-0,56	-0,37	0,02	-0,53	-0,47	-0,56	1,00	0,88	0,02
C <sub>bio</sub>	-0,44	0,49	0,19	-0,43	-0,16	-0,52	0,48	-0,37	-0,54	-0,38	-0,09	-0,53	-0,51	-0,55	0,88	1,00	0,49
C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>	-0,16	0,24	-0,08	-0,19	-0,17	-0,13	-0,07	-0,07	-0,11	-0,10	-0,22	-0,16	-0,22	-0,14	0,02	0,49	1,00

L'effet comparatif des différents paramètres mesurés est déterminé par les deux axes d'analyse en composantes principales (figure n°08).



**Figure n°08:** Projection des variables pédologiques sur le plan factoriel

Les deux axes représentent une inertie totale de 74,87% avec 43,66% et 31,21% de contribution respectivement pour les facteurs F1 et F2; et dénotant une opposition diamétrale

entre le carbone de la biomasse microbienne et les paramètres pédologiques qui favorisent l'aridité édaphique; principalement : le sable, le calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ ), la conductivité électrique (CE) et les ions calciques et magnésiens (Ca et Mg).

Tripathi et al. (2006), Sayed et al. (2011) ont démontré qu'une conductivité électrique élevée des sols provoque une réduction significative du carbone de la biomasse microbienne suite à une élévation de la pression osmotique de la solution du sol et une diminution de la disponibilité de l'eau libre.

L'opposition diamétrale entre les paramètres texturales et le carbone de la biomasse microbienne est due au faible pouvoir protecteur des argiles pour cette fraction, ces argiles sont dominées par des minéraux phyllo-silicatés de faible surface spécifique telle que la palygorskite (Halitim 1988).

### 3.2-Influence de la végétation steppique

Contrairement aux écosystèmes forestiers où l'apport organique d'origine aérienne (feuille, branche, fruit...) constitue la source principale de la litière; en milieu steppique, l'exsudation et la minéralisation in situ à l'intérieur du profil pédologique d'une partie de la phytomasse racinaire forment la ressource dominante de l'apport organique.

Cet apport pourra jouer un rôle prépondérant dans la dynamique et le niveau de la biomasse microbienne des sols steppiques.

L'étude comparative, à travers l'analyse de la variance des trois espèces dominantes de la couverture végétale qui caractérisent la steppe algérienne à savoir l'alfa, le sparte et le remth, a décelé un effet significativement positif du rôle de la végétation sur le niveau du carbone de la biomasse microbienne (tableau n°17 et 18).

**Tableau n°17:** Variation des teneurs en carbone de la biomasse microbienne des trois grands écosystèmes

Prélèvement	Carbone de la biomasse microbienne (mg/kg)		
	Ecosystème d'alfa	Ecosystème de sparte	Ecosystème de remth
1	201,00	147,00	79,00
2	225,00	153,00	126,00
3	245,00	163,00	133,00
4	202,50	115,00	89,00
Moyenne	218,37	144,50	106,75

**Tableau n°18:** Analyse de la variance de l'effet de la végétation steppique sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne ( $p=0,05$ )

Source de variation	SCE	ddl	CM	F
Effet de la végétation	25790,29	2	12895,15	24,48
Résiduel	4742,44	9	526,94	
Total	30532,73	11		

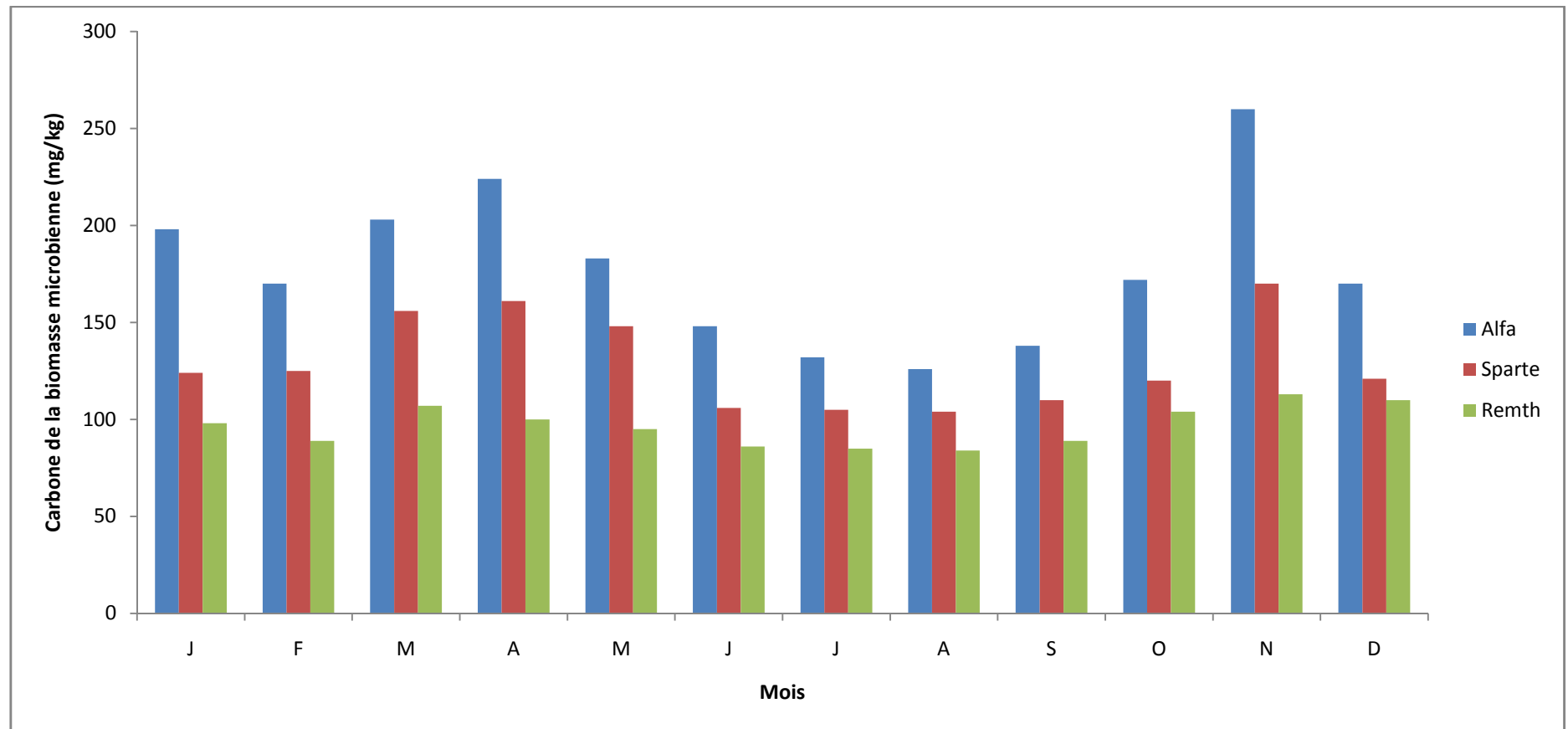
### **3.3-Influence de la variation saisonnière**

La variation saisonnière du carbone de la biomasse microbienne du sol en régions steppiques a été estimée par le suivi de l'évolution de cette fraction durant la saison 2013/2014 sous les mêmes couvertures végétales de la steppe algérienne à savoir : l'alfa, le sparte et le remth.

La variation mensuelle de l'évolution du carbone de la biomasse microbienne pour les trois types de végétation durant la saison d'étude est donnée dans la figure n°9.

L'allure générale de la courbe montre que le niveau du carbone de la biomasse microbienne subit de fortes variations dans les écosystèmes d'alfa et de sparte alors que pour l'écosystème à remth l'évolution reste relativement uniforme.

Le mois d'Août marque la valeur minimale du carbone de la biomasse microbienne 126,00 ; 104,00 et 84,00 mg/kg de sol sec respectivement pour les sols des écosystèmes d'alfa, de sparte et de remth : par contre, le mois de Novembre marque le maximum de carbone de la biomasse microbienne 260,00 ; 170,00 et 113,00 mg/kg de sol sec respectivement pour les sols des écosystèmes d'alfa, de sparte et de remth (annexe 3).



*Figure n°09: Variation mensuelle de l'évolution du carbone de la biomasse microbienne*

La variation saisonnière du carbone de la biomasse microbienne se caractérise par la présence de deux pics à fort niveau de production de carbone de la biomasse microbienne (le printemps et l'automne) et de deux pics de faible niveau de production de carbone de la biomasse microbienne (l'hiver et l'été) (tableau n°19), la même remarque a été observée par d'autres auteurs Ibomcha et al. (2006), Tariq et al. (2007), Bhuyan et al. (2013).

**Tableau n°19:** Variation saisonnière du carbone de la biomasse microbienne (saison 2013/2014)

	Ecosystème d'alfa		Ecosystème de sparte		Ecosystème de remth	
	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	Taux de réduction	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	Taux de réduction	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	Taux de réduction
Automne	190,00	-5,61%	133,33	-7,50%	102,00	-3,00%
Hiver	179,33		123,33		99,00	
Printemps	203,33	-33,44%	155,00	-32,25%	100,66	-15,55%
Eté	135,33		105,00		85,00	

Dans ces conditions steppiques, la période automnale et printanière sont favorables à la régénération de la couverture végétale, cette reprise de l'activité biologique influe sur le niveau microbiologique par la quantité et la qualité d'exsudation racinaire.

Malgré cette augmentation en carbone de la biomasse microbienne, ces valeurs sont insuffisantes pour améliorer la fertilité de ces sols, la même constatation a été faite par Naaman et al. (2000), Ibomcha et al. (2006), Tariq et al. (2007), Bhuyan et al. (2013).

Par rapport aux teneurs initiales, les taux de réduction saisonniers (automne/hiver) du carbone de la biomasse microbienne atteignent 5,61% ; 7,50% et 3,00% respectivement pour les écosystèmes d'alfa, de sparte et de remth, alors que les taux de réduction (printemps/été), atteignent 33,44% ; 32,25% et 15,57% respectivement pour les écosystèmes d'alfa, de sparte et de remth, donc la tendance vers la dessiccation du sol a une influence beaucoup plus marquée sur la réduction du carbone de la biomasse microbienne que les basses températures (tableau n°19 et 20).

Chaussod et al. (1986) ont remarqué que la réhumectation d'un sol après une longue phase de dessiccation ne rend pas le niveau de la biomasse microbienne à son état initial; de même, Mathieu et al. (1987) ont démontré qu'un fort écart saisonnier de la température provoque un changement dans la porosité des sols par la réduction du spectre poral ce qui augmente la tension superficielle et minimise la disponibilité de l'eau.

**Tableau n°20:** Régression linéaire entre la variation du carbone de la biomasse microbienne et le déficit pluviométrique ( $p=0,05$ )

Ecosystème	Régression linéaire	$r^2$
Alfa	$C_{\text{bio}} = 0,57 (P\text{-ETP}) + 195$	0,73
Sparte	$C_{\text{bio}} = 0,30 (P\text{-ETP}) + 143,9$	0,50
Remth	$C_{\text{bio}} = 0,13 (P\text{-ETP}) + 104,60$	0,65



### **3.4-Influence de la salinité**

La salinité est l'un des processus de dégradation des sols dans les régions arides et semi arides, affecte 5% des sols cultivés dans le monde (Hamdy 1999, Chen et al. 2011); en Algérie, environ 3,2 millions d'hectares sont touchés par ce phénomène (Gacem 2012).

En Algérie, un nombre important d'études scientifiques a été consacré à l'effet de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol ; cependant, son influence sur le comportement de la biomasse microbienne reste à l'état actuel relativement faible.

Au Maghreb, les tentatives d'études ont démontré l'impact négatif de la salinité sur les propriétés microbiologiques des sols (Killian et al. 1939, Mellouhi et al. 1984, Dellal et al.1992). En effet, la salinité atténue la respiration du sol, réduit la biodiversité microbologique et diminue les teneurs du carbone de la biomasse microbienne (Siddikee et al.2010, Moradi et al.2011, Bourahla et al.2015).

Singleton et al. (1982), Omar et al. (1994), Pathak et al. (1998), Sheng et al. (2013) ont démontré qu'en présence d'une salinité élevée, de nombreux processus physiologiques sont affectés; ces derniers sont essentiels pour la survie et le maintien de la biodiversité microbienne.

Yuan et al. (2007) ont montré qu'à une concentration de 5% de NaCl, les teneurs en carbone de la biomasse microbienne, les populations fongiques et bactériennes ont diminué d'une manière significative.

A forte concentration saline, Polonenko et al. (1986) ont remarqué une réduction de la croissance de nombreuses bactéries du sol; pour d'autres auteurs, nombreux sont les effets néfastes de la salinité sur l'activité microbienne : perturbation de la division et la différenciation cellulaire (Hussein et al. 2011), inhibition de la synthèse des enzymes, des ribosomes, des protéines (Nug et al. 2014), réduction de l'activité du nitrogénase et l'infection mycorhizienne (Nelson et al. 2007), diminution de la colonisation bactérienne (Nan et al. 2013), perturbation de l'absorption des ions essentiels tels que le potassium et le calcium, par substitution ou par concurrence au niveau des sites d'absorption membranaires (Dilfuza et al. 2010).

Pour résister à ce stress salin, les microorganismes du sol développent un système d'osmo-adaptation basé sur l'équilibre entre la pression osmotique du cytoplasme et celle de l'environnement extérieur.

L'ajustement de la pression osmotique intracellulaire est réalisé par l'accumulation des électrolytes et des composés organiques dans le cytoplasme dont les buts étant : le contrôle des activités hydriques internes et le maintien du volume cellulaire approprié; en protégeant ainsi la structure et l'activité des macromolécules biologiques (enzymes, des protéines, des acides nucléiques ...) contre les effets négatifs de la salinité (Lamosa et al. 1998).

L'accumulation des électrolytes est réalisée par l'augmentation de la perméabilité sélective au niveau de la membrane de certains ions comme le potassium et le calcium et leurs accumulations dans le cytoplasme au détriment du sodium (Karen et al. 2013), d'autres microorganismes activent la synthèse et l'accumulation de diverses solutés organiques, tels que les sucres (Miller et al. 2007, Iturriaga et al. 2009), le glycérol (Xu et al. 1998, Trotsenko et al. 2002), et certains acides aminés (le glutamate, la proline, la glycine) (Malin et al. 1996, Gouffi et al. 2000, Saum et al. 2007, Ouiza et al. 2010).

Cette étude vise à quantifier l'effet de la salinité sur le comportement de la biomasse microbienne des sols steppiques.

### **3.4.1-Protocole expérimental**

L'influence de la salinité sur le comportement de la biomasse microbienne a été étudiée sous deux aspects (en conditions naturelles et contrôlées).

#### **a-En conditions naturelles « in situ »**

L'étude a été réalisée dans les sols salés de la région de Sebkhha de Naama, il s'agit d'une dépression saline fermée de la steppe Ouest algérienne, avec une pluviométrie annuelle moyenne dépasse rarement 200 mm, et un ETP annuel supérieur à 800 mm, la température minimale peut atteindre -1°C alors que la température maximale dépasse 35°C.

L'échantillonnage a été effectué au niveau de l'horizon superficiel suivant d'un transect à salinité croissante (de la périphérie de la Sebkha jusqu'au sol hyper salé de la dépression) durant le mois de Janvier.

#### **b-En conditions contrôlées**

La tolérance à la salinité de la biomasse microbienne du sol en conditions contrôlées est évaluée à partir de l'incubation d'un échantillon de sol.

Le protocole expérimental consiste à soumettre un échantillon de sol non salé à un stress salin croissant sous conditions d'incubation standards (80% de la capacité de rétention en eau et une température de 28°C).

L'échantillon du sol est tamisé à travers un tamis dont la maille est de 2mm et reparti sur 24 sous échantillons dans des pots en plastique suivi d'incubation; le stress salin est préparé à partir d'un mélange de solution de NaCl et de CaCl<sub>2</sub> dont le pH est fixé à 8 et le SAR à 10.

L'incubation a duré 12 semaines, les dates d'échantillonnage sont fixées après 0,1,1,1,2,2,3 et 2 semaines soit 12 semaines en terme de temps cumulé, le carbone de la biomasse microbienne estimé par la méthode de fumigation extraction.

### **3.4.2-Résultats et discussion**

#### **a-Evolution du carbone de la biomasse microbienne en conditions naturelles**

Le comportement du carbone de la biomasse microbienne dans la dépression saline est donné dans le tableau n°21.

**Tableau n°21:** Caractérisation physico-chimique des échantillons de la dépression saline

N°	Texture (%)			CaCO <sub>3</sub> total (%)	pH 1/2,5	CE dS/m	CEC mmole/100g	Solution du sol (mmole/l)				C <sub>org</sub> (%)	C <sub>bio</sub> mg/kg	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub> (%)
	S	L	A					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAR			
1	45,00	28,00	27,00	5,00	7,96	2,00	13,25	2,00	0,50	16,00	10,12	0,68	117,00	1,72
2	45,00	27,00	28,00	5,25	8,26	4,96	12,75	2,20	0,60	17,00	10,16	0,60	84,00	1,40
3	40,00	29,00	31,00	5,20	8,25	5,22	12,25	2,50	0,62	18,00	10,19	0,66	80,00	1,21
4	46,00	28,00	26,00	6,50	8,35	6,46	13,00	2,70	0,60	19,00	10,46	0,58	69,00	1,18
5	41,00	29,00	30,00	7,50	8,20	7,12	12,50	2,60	0,62	19,00	10,59	0,55	65,00	1,18
6	54,00	24,00	22,00	6,75	8,19	7,44	12,70	2,90	0,70	22,00	11,60	0,54	62,00	1,14
7	49,00	26,00	25,00	7,50	8,19	12,00	12,00	2,80	0,80	21,00	11,07	0,49	48,00	0,97
8	43,00	28,00	29,00	9,00	8,20	18,00	11,75	5,60	1,70	28,00	10,36	0,48	27,00	0,67
9	48,00	25,00	27,00	11,25	8,40	24,00	11,50	6,40	2,50	27,00	9,05	0,46	22,00	0,47

L'analyse des résultats mentionnés dans les tableaux n°21 et 22, montre une faible variation du pH et du SAR dans la zone d'étude et par conséquent, l'influence de ces deux paramètres sur le comportement de la biomasse microbienne reste négligeable ; l'évolution de celle-ci dépend donc en grande partie de l'effet de la salinité.

**Tableau n°22:** Matrice de corrélation des différents paramètres édaphiques

Variable	Corrélations (Feuille de données1) Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=9 (Observations à VM ignorées)														
	S	L	A	CaCO <sub>3</sub>	pH	CE	CEC	Ca	Mg	Na	SAR	C <sub>org</sub>	C <sub>bio</sub>	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>	
S	1,00	-0,93	-0,97	0,21	0,06	0,18	0,03	0,10	0,12	0,24	0,41	-0,39	-0,21	-0,16	
L	-0,93	1,00	0,83	-0,40	-0,21	-0,41	0,24	-0,32	-0,37	-0,41	-0,19	0,52	0,39	0,37	
A	-0,97	0,83	1,00	-0,07	0,05	-0,02	-0,20	0,05	0,05	-0,11	-0,52	0,28	0,08	0,01	
CaCO <sub>3</sub>	0,21	-0,40	-0,07	1,00	0,52	0,96	-0,81	0,92	0,92	0,90	-0,38	-0,89	-0,90	-0,93	
pH	0,06	-0,21	0,05	0,52	1,00	0,53	-0,49	0,48	0,49	0,42	-0,34	-0,49	-0,63	-0,65	
CE	0,18	-0,41	-0,02	0,96	0,53	1,00	-0,89	0,96	0,96	0,93	-0,43	-0,86	-0,92	-0,96	
CEC	0,03	0,24	-0,20	-0,81	-0,49	-0,89	1,00	-0,82	-0,82	-0,82	0,34	0,76	0,88	0,91	
Ca	0,10	-0,32	0,05	0,92	0,48	0,96	-0,82	1,00	0,98	0,94	-0,51	-0,76	-0,85	-0,91	
Mg	0,12	-0,37	0,05	0,92	0,49	0,96	-0,82	0,98	1,00	0,88	-0,61	-0,72	-0,80	-0,87	
Na	0,24	-0,41	-0,11	0,90	0,42	0,93	-0,82	0,94	0,88	1,00	-0,20	-0,86	-0,92	-0,93	
SAR	0,41	-0,19	-0,52	-0,38	-0,34	-0,43	0,34	-0,51	-0,61	-0,20	1,00	0,01	0,14	0,28	
C <sub>org</sub>	-0,39	0,52	0,28	-0,89	-0,49	-0,86	0,76	-0,76	-0,72	-0,86	0,01	1,00	0,94	0,89	
C <sub>bio</sub>	-0,21	0,39	0,08	-0,90	-0,63	-0,92	0,88	-0,85	-0,80	-0,92	0,14	0,94	1,00	0,98	
C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>	-0,16	0,37	0,01	-0,93	-0,65	-0,96	0,91	-0,91	-0,87	-0,93	0,28	0,89	0,98	1,00	

La salinité augmente de la périphérie de la Sebkhah vers le sol hyper salé de la dépression, mais le carbone (pour ces deux formes: microbienne et organique) diminue dans ce sens, ceci est attribué aux conditions défavorables créées par la salinité et la présence d'une fraction de carbone récalcitrant produite par une litière de la végétation halophyte qui colonise ces sols.

Le carbone organique varie de 0,68% pour le sol non salé à 0,46% pour le sol hyper salé; le carbone de la biomasse microbienne varie de 117,00 mg/kg de sol sec pour le sol non salé à 22,00 mg/kg de sol sec pour le sol hyper salé. En termes de carbone organique total du sol, cette fraction varie de 1,72% pour le sol non salé à 0,47% pour le sol hyper salé; ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Sparling (1992), Nicolardot et al. (2010).

De la périphérie de la Sebkha jusqu'au sol hyper salé, les taux de réduction atteignent 80%, 72% et 28% respectivement pour le carbone de la biomasse microbienne, le rapport  $C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$  et le carbone organique total du sol, qui marque une légère diminution comparativement aux autres paramètres microbiologiques (carbone de la biomasse microbienne et  $C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$ ) (tableau n°23).

Ces résultats sont semblables avec ceux trouvés par Tripathi et al. (2006) qui ont montré que, quand la CE dépasse 16dS/m, la réduction du carbone de la biomasse microbienne est brutale et confirment la sensibilité du cortège microbiologique aux variations des facteurs écologiques.

**Tableau n°23:** Effet de la salinité sur la décroissance des paramètres biologiques

Paramètres	Equation linéaire	$r^2$
Carbone de la biomasse microbienne ( $C_{\text{bio}}$ )	$-3,807 \text{ CE} + 100,6$	0,84
$C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$	$-0,05 \text{ CE} + 1,588$	0,91
Carbone organique total du sol	$-0,009 \text{ CE} + 0,651$	0,74

L'effet de la salinité sur le comportement de la biomasse microbienne est donné dans la figure n°10.

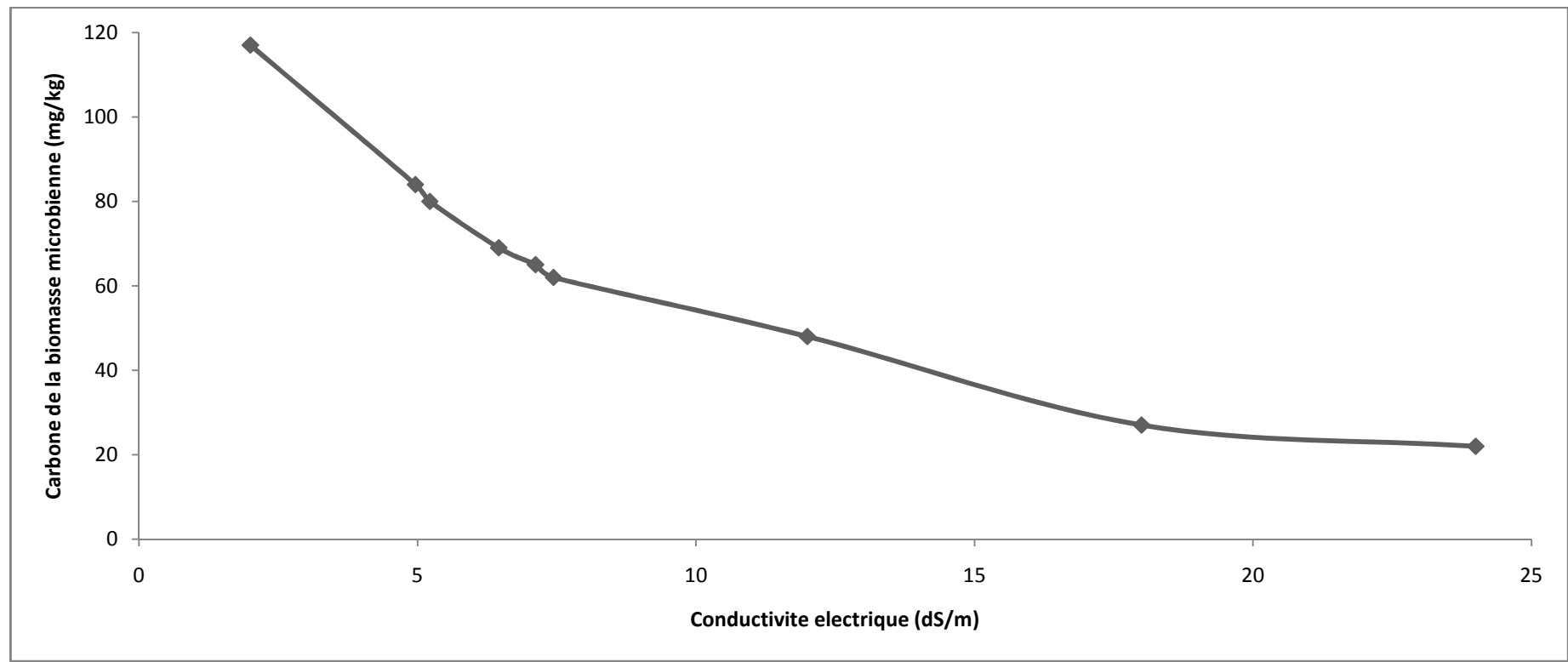
La courbe montre l'effet défavorable de la salinité sur la variation spatiale du teneur en carbone de la biomasse microbienne du sol, cette réduction prend une forme asymptotique lorsque la salinité dépasse 15dS/m.

C'est un niveau minimal de la biomasse microbienne que peut héberger un sol quand les conditions du biotope deviennent défavorables, cette fraction vit en dormance et elle est peu exigeante en facteurs de croissance Nicolardot et al. (2010).

Dans les conditions arides et lorsque la conductivité électrique est inférieure à 5dS/m, l'estimation de cette fraction dormante, par différentes équations d'ajustement, donne une valeur moyenne de 120 mg/kg, formant ainsi 1 à 2% du carbone organique du sol (Bourahla et al.2015).

Cependant, dans les sols dégradés par l'excès de la salinité (CE dépasse 12dS/m), ces paramètres sont plus faibles (Carbone de la biomasse microbienne ne dépasse pas 50 mg/kg de sol sec et le rapport  $C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$  est inférieure à 1%) (Tableau n°21).

Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Sparling (1992) où les teneurs seuils du carbone de la biomasse microbienne et le rapport  $C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$  dans les sols salins dégradés, sont fixées respectivement à 100 mg/kg de sol sec et 1,6%.



*Figure n°10: Effet de la salinité sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne*



## **b-Evolution du carbone de la biomasse microbienne en conditions contrôlées**

L'incubation a été réalisée sur un échantillon non salé dont les caractéristiques physico-chimiques sont données dans le tableau n°24.

L'évolution en conditions contrôlées du carbone de la biomasse microbienne sous l'effet du stress salin est donnée dans la figure n°11.

À l'exception de l'échantillon soumis à un stress de 60 mmole/l, les autres courbes montrent une diminution du niveau du carbone de la biomasse microbienne dès le début de la période d'incubation, cette diminution est beaucoup plus importante lorsque la concentration en sel est supérieure à 90 mmole/l.

Quand la concentration saline est inférieure à 60 mmole/l, la biomasse microbienne marque un comportement relativement régulier où on enregistre la présence relative des quatre phases habituelles de l'évolution microbienne (phase de latence, phase de croissance, phase stationnaire et phase de décroissance), ce qui est en similarité avec certaines études qui ont montré que, les micro-organismes des sols non salés sont plus tolérants à la variation brutale de la salinité que les micro-organismes des sols salés (Rousk et al. 2011, Asghar et al. 2012, Nan et al. 2013) ; à cela s'ajoute, le rôle que peut jouer le sodium dans la dispersion et la solubilisation de la matière organique en l'a rendant plus accessible à l'activité microbiologique, les mêmes constatations ont été faites par Gallali (1980), Mavi et al. (2010).

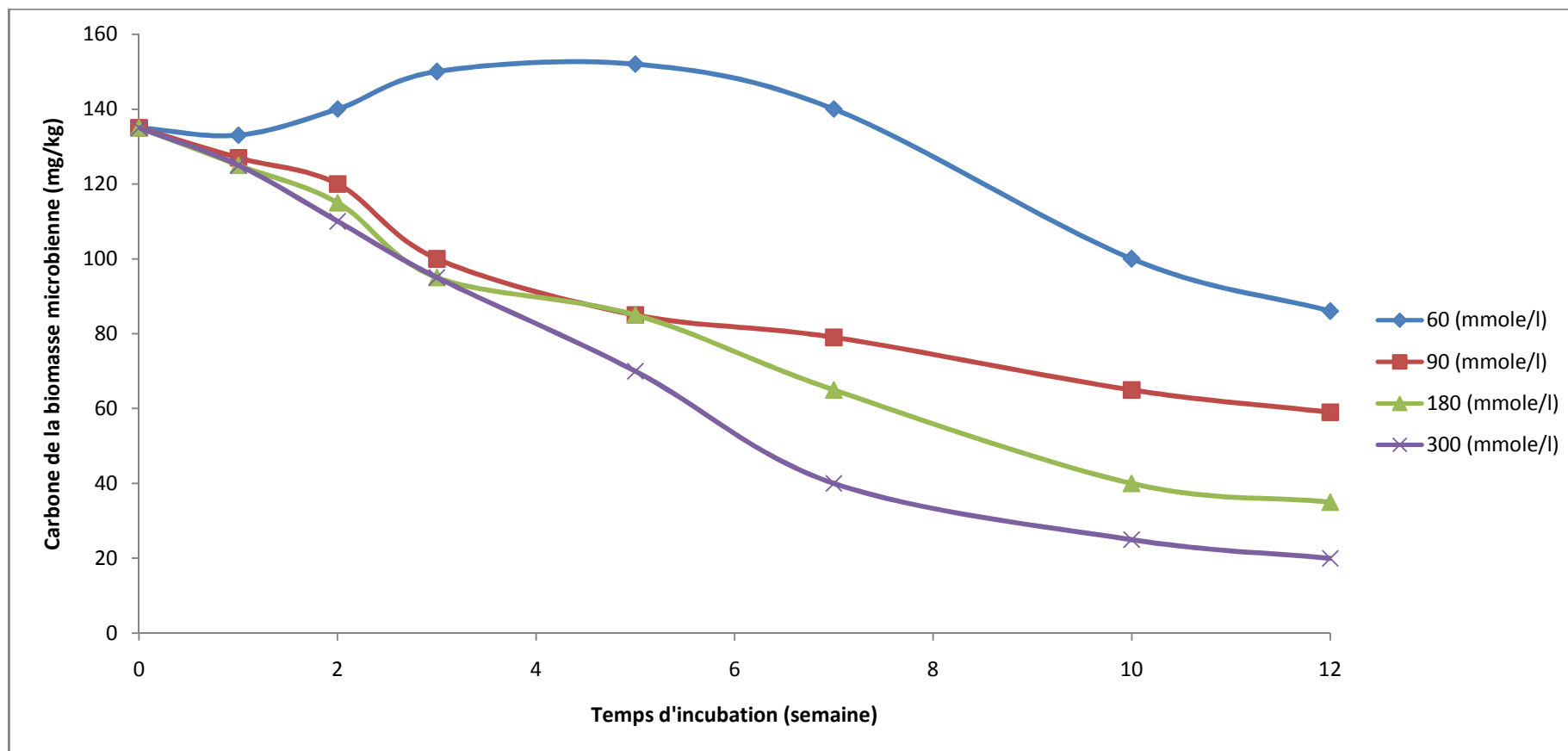
Cependant, quand le stress salin augmente, une réduction est enregistrée du niveau de la biomasse microbienne dès le début de la durée d'incubation avec une dominance de la mortalité. Ce comportement n'est pas due uniquement à l'épuisement du substrat énergétique mais aussi probablement, à la présence d'une flore microbienne faiblement halotolérante à l'excès de la salinité.

Malgré l'aptitude de ce cortège microbien à ajuster sa pression osmotique intracellulaire (forme d'adaptation) par une accumulation vacuolaire des solutés organiques ou minéraux, les taux de mortalité augmentent avec l'accroissement de la salinité pour atteindre 85% pour l'échantillon soumis à une concentration saline de 300 mmole/l.

Ces taux de réduction sont identiques à ceux trouvés par Kareem et al. (2016) qui ont observé une forte réduction des teneurs en carbone de la biomasse microbienne lorsque la CE dépasse 16 dS/m.

*Tableau n°24: Caractérisation physico-chimique de l'échantillon du sol incubé*

Granulométrie (%)			CaCO <sub>3</sub>	pH	CE	CEC	Solution du sol (mmole/l)				C <sub>org</sub>	C <sub>bio</sub>	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>
S	L	A	Total (%)	1/2,5	dS/m	mmole/100g	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAR	(%)	mg/kg	(%)
45,00	28,00	27,00	5,00	7,96	2,00	13,25	2,00	0,50	16,00	10,12	0,68	117,00	1,72



*Figure n° 11: Effet de la salinité sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne au cours de la durée d'incubation*

L'ajustement des données expérimentales à un modèle mono-compartimental qui décrit la cinétique de minéralisation du carbone de la biomasse microbienne comme étant la résultante de la dégradation d'un seul compartiment ( $B_m$ ) qui se minéralise suivant une cinétique d'ordre un (1).

Ce modèle s'écrit de la manière suivante:  $C_{bio} = B_m \cdot e^{-kt}$ .

$C_{bio}$ : Carbone de la biomasse microbienne restant après le temps  $t$  (mg/kg).

$B_m$ : Carbone de la biomasse microbienne potentiellement minéralisable (mg/kg).

$K$ : Constante de vitesse de minéralisation (semaine<sup>-1</sup>).

$T$ : Temps d'incubation (semaine).

Les paramètres cinétiques de ce modèle sont présentés dans le tableau n°25.

**Tableau n°25: Paramètres cinétiques estimés par le modèle ( $p = 0,05$ )**

Echantillon	$r^2$	$B_m$ (mg/Kg)	$K$ (semaine <sup>-1</sup> )	$\ln 2/K$ (semaine)
60 (mmole/l)	0,57	152,90	0,03	23,00
90 (mmole/l)	0,87	131,40	0,07	9,85
180 (mmole/l)	0,98	141,00	0,11	6,27
300 (mmole/l)	0,98	148,20	0,17	4,05

À l'exception du premier essai, où les données expérimentales sont dispersées suite à une reprise de l'activité de la biomasse microbienne, le modèle appliqué donne des résultats satisfaisants pour l'estimation des paramètres cinétiques.

A cet effet, le temps de demi-vie varie de 9,85 semaines dans l'échantillon moyennement salé à 4,05 semaines dans l'échantillon hyper salé (300 mmole/l) et le taux de minéralisation augmente avec l'augmentation de la salure qui passe de 0,07 semaine<sup>-1</sup> pour l'échantillon moyennement salé à 0,17 semaine<sup>-1</sup> dans l'échantillon hyper salé.

Ces valeurs sont plus élevées comparativement à celles trouvées dans d'autres écosystèmes par Nicolardot et al. (1986), Chaussod et al. (1992), Nicolardot (1994). Ceci confirme l'effet néfaste de la salinité sur la préservation des ressources biologiques renouvelables de ces écosystèmes fragilisés par la salure et témoignent une tendance parfois à l'irréversibilité si la situation ne sera pas prise avec une grande rigueur.

## **CHAPITRE IV :**

# **ROLE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE DANS LA FERTILISATION AZOTEE DES SOLS STEPPIQUES**

## **1- Etude du pouvoir minéralisateur du sol**

### **1.1-Introduction**

La connaissance du pouvoir minéralisateur du sol de sa réserve native en éléments nutritifs et de sa fertilité naturelle, sont des données importantes pour l'efficacité de la nutrition minérale des plantes et la réduction des risques de la pollution et de la phyto-toxicité.

Pour tous les écosystèmes terrestres, l'azote est un élément pivot pour la conservation de la fertilité et la productivité du sol ; cet élément est fortement dominé par sa forme organique (plus de 80% d'azote dans le sol est combiné avec les composés organiques plus moins biodégradables) et dont sa minéralisation est le produit d'un ensemble de réactions biochimiques assurées par divers groupes d'organismes telluriques.

Cette minéralisation dépend du degré d'incorporation de l'azote avec les autres composés humiques du sol (Garau et al.1986), de l'état de l'humidité du sol et de l'alternance humectation/dessiccation (Soudi 1989), des conditions climatiques (Serna et al. 1992) et de l'état de protection de cette fraction par la matrice minérale (Chenu et al. 2002, Nicolardot et al. 2010).

### **1.2-Protocole expérimental**

De chaque écosystème (alfa, sparte, remth), un échantillon représentatif a été choisi, les prélèvements du sol sont issus de l'horizon de surface (épipedon); les caractéristiques physicochimiques des échantillons sont données dans le tableau n°26.

Chaque type d'échantillon est tamisé à travers un tamis de 2 mm de calibre, repartit sur 27 sous échantillons dans des pots en plastiques, puis incubés en conditions contrôlées (température 28°C et humidité 80% de la capacité de rétention) pendant seize (16) semaines.

Le déplacement de l'azote minéralisé est effectué par une solution 2N de KCl avec un rapport (sol/solution d'extraction 1/5) après les intervalles de temps: 0,1,1,1,2,2,3,2 et 4 semaines soit seize (16) semaines en terme de temps cumulé.

L'azote minéral produit est dosé pour ces deux formes: ammoniacale ( $\text{NH}_4$ ) et nitrique ( $\text{NO}_3$ ) dans des effluents après chaque intervalle de temps.

Le dosage est réalisé par une distillation d'une aliquote de l'effluent en présence de l'oxyde de magnésium et de l'alliage de Devarda; les distillats sont collectés dans un indicateur mixte à l'acide borique et titrés avec l'acide sulfurique (Rodier 1978).



**Tableau n°26:** Caractérisation physico-chimique des échantillons incubés

	Texture (%)			CaCO <sub>3</sub> Total (%)	pH 1/2,5	CE dS/m	CEC mmole/100g	Solution du sol (mmole/l)						C <sub>org</sub> (%)	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub> (%)	N (%)	C/N	
	Sable	Limon	Argile					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>						HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Alfa	49,00	41,00	10,00	8,25	7,70	1,71	12,21	2,05	0,78	1,96	0,78	3,87	1,23	3,20	1,08	225,00	2,08	0,11	9,81
Sparte	52,00	39,00	9,00	8,50	7,65	1,90	9,89	2,13	0,65	2,72	1,25	3,64	1,70	3,35	0,99	147,00	1,48	0,09	11,00
Remth	75,00	21,00	4,00	12,50	7,80	2,47	5,86	3,13	1,00	1,98	0,79	5,25	2,01	4,85	0,63	89,00	1,42	0,06	10,50

### **1.3-Résultats et discussion**

La production d'azote minéral ( $N_m = NH_4 + NO_3$ ) est l'un des critères d'évaluation de la capacité minéralisatrice du sol de sa réserve nitrique, cette minéralisation dépend de l'effet de l'activité microbienne (Bremner 1986).

Les courbes de la production d'azote minéral cumulée en fonction du temps d'incubation sont représentées par la figure n°12 ; ces courbes présentent deux phases :

La première phase de cinq (05) semaines : elle est caractérisée par une forte production d'azote minéral, due principalement au prétraitement (séchage) qui a provoqué une stérilisation partielle des échantillons et expose une partie de la fraction organique (microbienne et inerte), auparavant inaccessible à la dégradation, à une sur-minéralisation.

La même remarque a été faite par de nombreux auteurs (Mary et al. 1979, Nicolardot et al. 1986, Soudi 1989, Serna et al. 1992, Nicolardot et al. 2010); la moitié (50%) de l'azote minéralisé est produite pendant cette phase de la durée d'incubation. Cette valeur est proche à celle trouvée par Nicolardot et al. (1986) mais dont le temps n'a pas excédé les trois (03) premières semaines de la durée d'incubation.

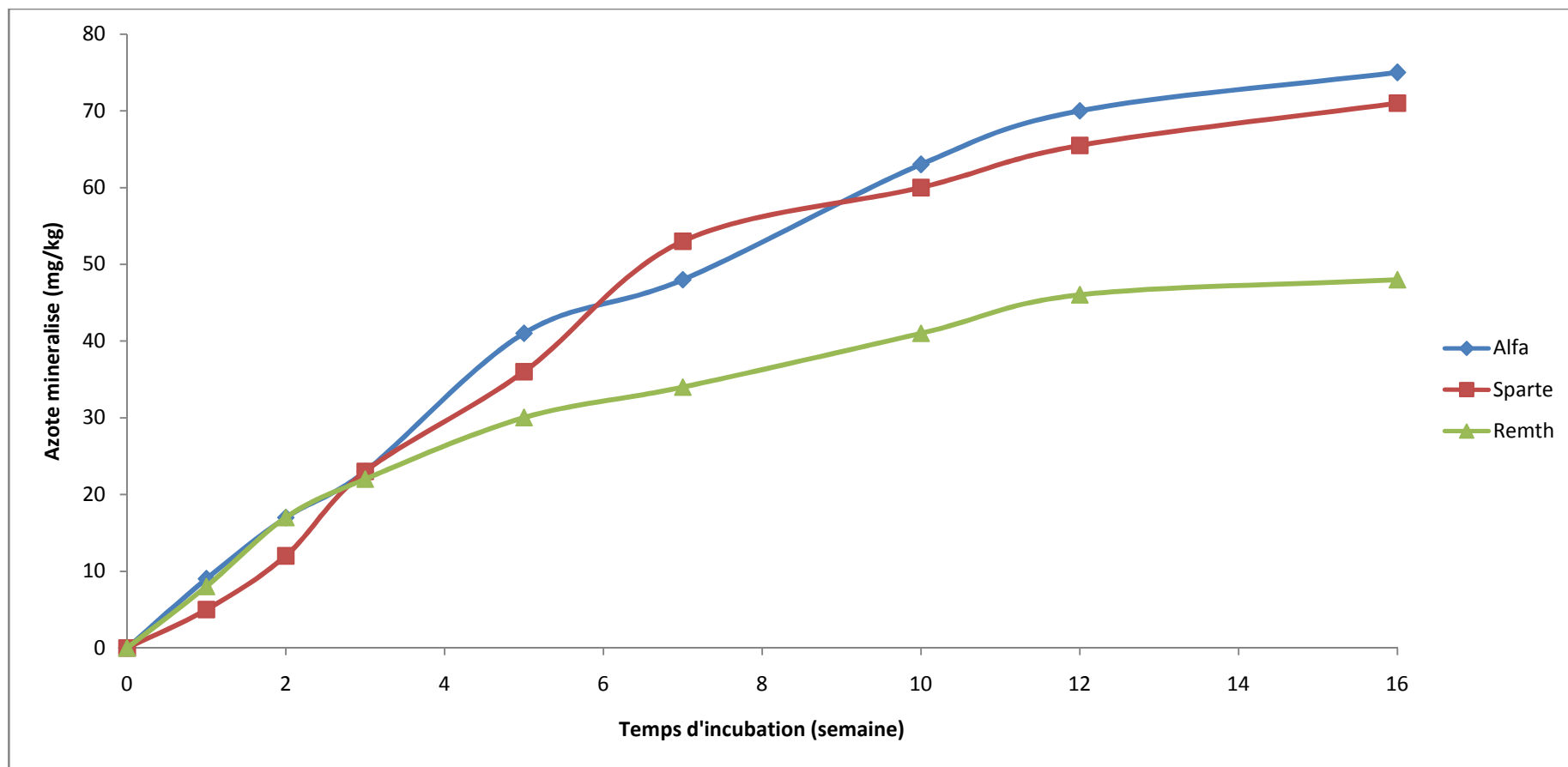
La deuxième phase est caractérisée par une production graduelle d'azote minéral qui provient de la minéralisation d'une fraction d'azote organique plus ou moins humifiée d'une part et par l'effet de la réorganisation (immobilisation) d'une partie d'azote suite au déclenchement de la réactivation et de la croissance des populations microbiennes d'autre part.

Le cumul d'azote minéralisé durant seize (16) semaines d'incubation varie de 48,00 mg/kg de sol sec pour l'échantillon des écosystèmes de remth à 75,00 mg/kg de sol sec pour l'échantillon des écosystèmes d'alfa; la production minérale moyenne est de 65,00 mg/kg de sol sec (annexe 5).

Ces valeurs sont trop basses comparativement à celles trouvées par Yoneyama et al. 1977, Tabatabai et al. 1980, Voos et al. 1987, Jenkinson et al. 1992, Serna et al. 1992, et Nicolardot et al. 2010, dont la valeur moyenne de l'azote minéralisé n'est jamais en dessous de 100,00 mg/kg de sol sec.

Par rapport à l'azote total, le pourcentage de l'azote organique minéralisé varie de 9,15% pour l'échantillon des écosystèmes d'alfa à 10,57% pour l'échantillon des écosystèmes de sparte avec une moyenne de 9,95% d'azote organique minéralisé au cours de la durée d'incubation. Ces valeurs sont proches de la fourchette des résultats trouvés par Nicolardot et al. 1986 où l'azote minéralisé est fixé entre 10 à 15% de l'azote total.

Il est important de noter que durant la période d'incubation, la prédominance de la fraction ammoniacale par rapport à la fraction nitrique, la même constatation a été faite par Morill et al. (2007) qui ont montré que pour un pH supérieur à 7,5, l'accumulation du  $\text{NH}_4$  provoque une inhibition de l'activité enzymatique des Nitrosomonas.



*Figure n° 12 : Production cumulée d'azote minéral au cours de la durée d'incubation*

#### **1.4-Cinétique de minéralisation de l'azote organique**

Les courbes de minéralisation de l'azote organique sont présentées dans la figure n°12; les ajustements des données sont calculés à l'aide d'une équation de régression non linéaire, un modèle monocompartimental a été gardé pour décrire la cinétique de minéralisation de l'azote organique durant la durée d'incubation (Stanfort et al.1972).

Ce modèle décrivant la minéralisation de l'azote organique du sol comme étant la résultante de la dégradation d'un seul compartiment ( $N_o$ ) qui se minéralise selon une cinétique d'ordre un (01), ce modèle s'écrit de la façon suivante:

$$N_m = N_o \exp^{-kt}$$

$N_m$  : Azote minéral produit après un temps  $t$  (mg/kg).

$N_o$  : Azote potentiellement minéralisable (mg/kg).

$K$  : Constante de minéralisation (semaine<sup>-1</sup>).

$T$  : Temps d'incubation (semaine).

Les paramètres de cette cinétique sont donnés dans le tableau n°27.

L'azote potentiellement minéralisable varie de 60,71 mg/kg de sol sec pour l'échantillon des écosystèmes de remth à 100,70 mg/kg de sol sec pour ceux de l'alfa ; en termes d'azote organique total, cette valeur ne dépasse pas un taux de 11%.

La constante de minéralisation de l'azote organique varie de 0,08 sem<sup>-1</sup> dans l'échantillon des écosystèmes de l'alfa à 0,13 sem<sup>-1</sup> dans ceux du remth, prévoyant ainsi que la matière organique des sols des écosystèmes de remth se minéralise plus rapidement comparativement à ceux des deux autres écosystèmes.

Le temps de résidence, estimé par ce modèle, donne des valeurs oscillantes entre 10,60 semaines pour l'échantillon des écosystèmes de remth et de 17,24 semaines pour l'échantillon des écosystèmes de l'alfa ; confirmant ainsi le caractère saisonnier de la minéralisation de l'azote organique.

Ce faible temps de résidence et cette sur-minéralisation de la fraction organique qui se conjugue avec un faible renouvellement des apports organiques (production de phytomasse exsudation racinaire limitées) particulièrement pour les écosystèmes de remth, engendreront une déperdition rapide du potentiel fertilisant et expose leurs sols à une dégradation accélérée et même une évolution irréversible.

**Tableau n°27: Paramètres de la cinétique de minéralisation de l'azote organique**

	$r^2$	$N_m$ (mg/kg)	$N_o/N_t$ (%)	$N_m/N_t$ (%)	$N_o$ (mg/kg)	$K$ (sem <sup>-1</sup> )	$N_oK$ (mg/kg. sem)	$Ln2/K$ (semaine)
Alfa	0,97	75,00	9,15	6,80	100,70	0,08	8,05	8,62
Sparte	0,97	71,00	10,57	8,11	95,20	0,10	9,52	6,90
Remth	0,99	48,00	10,12	8,00	60,71	0,13	7,89	5,30

## **2-Rôle de la biomasse microbienne dans la production d'azote minéral**

### **2.1-Introduction**

Dans le sol, la minéralisation de l'azote organique est dominée par la voie microbienne (ammonification et nitrification), les fortes teneurs en azote minéral sont souvent corrélées avec la présence d'une population microbienne active. L'alternance gel-dégel ou séchage-rehumectation entraînent le stress et une mortalité partielle de la microflore tellurique ; ce qui contribue à l'enrichissement du sol en azote après lyse et évacuation du contenu cellulaire.

Par ce caractère, la biomasse microbienne se comporte donc comme un compartiment de matière organique potentiellement minéralisable, l'accès à celui-ci permet de quantifier la contribution de la biomasse microbienne à l'enrichissement du sol en azote minéral et de suivre son évolution.

### **2.2-Protocole expérimental**

De chaque écosystème (alfa, sparte, remth), un échantillon représentatif a été choisi, le prélèvement est effectué au niveau de l'horizon de surface, les caractéristiques physicochimiques des échantillons sont données dans le tableau n°28.

Chaque type d'échantillon est tamisé à travers un tamis de 2 mm de diamètre, repartit sur 27 sous échantillons dans des pots en plastiques puis incubés en conditions contrôlées (température 28°C et humidité 80% de la capacité de rétention) pendant seize (16) semaines.

La quantification de l'azote minéral d'origine microbienne s'effectue après les intervalles de temps : 0,1,1,1,2,2,3,2 et 4 semaines soit seize (16) semaines en terme de temps cumulé. A la date retenue, des échantillons de 25g de sol sont soumis à une fumigation par une vapeur de chloroforme pendant 24h à 25 °C.

L'extraction se fait par une solution de  $K_2SO_4$  0,5M avec un rapport sol/solution (1/5) et une agitation pendant 1h à 200 t/min; l'azote est dosé par la méthode de Kjeldahl.

L'azote minéral produit est dosé pour ces deux formes: ammoniacale ( $NH_4$ ) et nitrique ( $NO_3$ ); le dosage est réalisé par une distillation d'une aliquote de l'effluent en présence de l'oxyde de magnésium et de l'alliage de Devarda; les distillats sont collectés dans un indicateur mixte à l'acide borique et titrés avec l'acide sulfurique (Rodier 1978).



L'échantillon non fumigé subit le même traitement, l'azote extractible microbien (E.N) est égal au supplément de l'azote extrait dans les échantillons fumigés par rapport aux échantillons témoins non traités par le chloroforme.

L'azote de la biomasse microbienne est calculé par la formule suivante :

$$N_{\text{biomasse}} = 1,85(N_{\text{fumigé}} - N_{\text{non fumigé}})$$

**Tableau n°28: Caractérisation physico-chimique des échantillons incubés**

	Texture (%)			CaCO <sub>3</sub> Total (%)	pH 1/2,5	CE dS/m	CEC mmole/100g	Solution du sol (mmole/l)							C <sub>org</sub> (%)	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub> (%)	N (%)	C/N
	Sable	Limon	Argile					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
Alfa	49,00	41,00	10,00	8,25	7,70	1,71	12,21	2,05	0,78	1,96	0,78	3,87	1,23	3,20	1,08	225,00	2,08	0,11	9,81
Sparte	52,00	39,00	9,00	8,50	7,65	1,90	9,89	2,13	0,65	2,72	1,25	3,64	1,70	3,35	0,99	147,00	1,48	0,09	11,00
Remth	75,00	21,00	4,00	12,50	7,80	2,47	5,86	3,13	1,00	1,98	0,79	5,25	2,01	4,85	0,63	89,00	1,42	0,06	10,50

### **2.3-Résultats et discussion**

Le cumul d'azote minéralisé d'origine microbienne durant seize (16) semaines d'incubation varie de 17,50 mg/kg de sol sec pour l'échantillon des écosystèmes de remth à 35,00 mg/kg de sol sec pour l'échantillon des écosystèmes d'alfa; la production minérale moyenne est de 26,50 mg/kg de sol sec; la moitié (50%) de l'azote minéralisé est produite pendant les cinq (05) premières semaines de la durée d'incubation (annexe 6).

De même, il est à constater, durant la période d'incubation, la prédominance de la fraction ammoniacale par rapport à la fraction nitrique, ceci est due non seulement à l'augmentation du pH mais aussi probablement à l'influence inhibitrice du chloroforme sur la croissance des Nitrosomonas.

Les courbes de minéralisation de l'azote d'origine microbienne pour les trois (03) échantillons durant la durée d'incubation sont présentées dans la figure n°13; elles montrent une allure similaire à celles de la minéralisation de l'azote organique total.

### **2.4-Cinétique de minéralisation de l'azote d'origine microbienne**

Les données expérimentales présentées dans la figure n°13 sont confrontées à un modèle mono-compartimental dont la minéralisation étant la résultante de la décomposition d'un seul compartiment ( $N_{om}$ ) qui suit une cinétique d'ordre un (1), ce modèle s'écrit de la manière suivante:

$$N_{mm}=N_{om}exp^{-kt}$$

$N_{mm}$  : Azote minéral d'origine microbienne produit après un temps t (mg/kg).

$N_{om}$  : Azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne (mg/kg).

K : Constante de minéralisation (semaine<sup>-1</sup>).

T : Temps d'incubation (semaine).

Le choix de ce modèle mono-compartimental est dicté par le fait que ces sols sont à texture grossière et de faible teneur en azote.

Les paramètres du modèle sont donnés dans le tableau n°29.

L'azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne ( $N_{om}$ ) varie de 21,96 mg/kg de sol sec dans l'échantillon des écosystèmes de remth à 47,07 mg/kg de sol sec dans l'échantillon des écosystèmes de l'alfa.

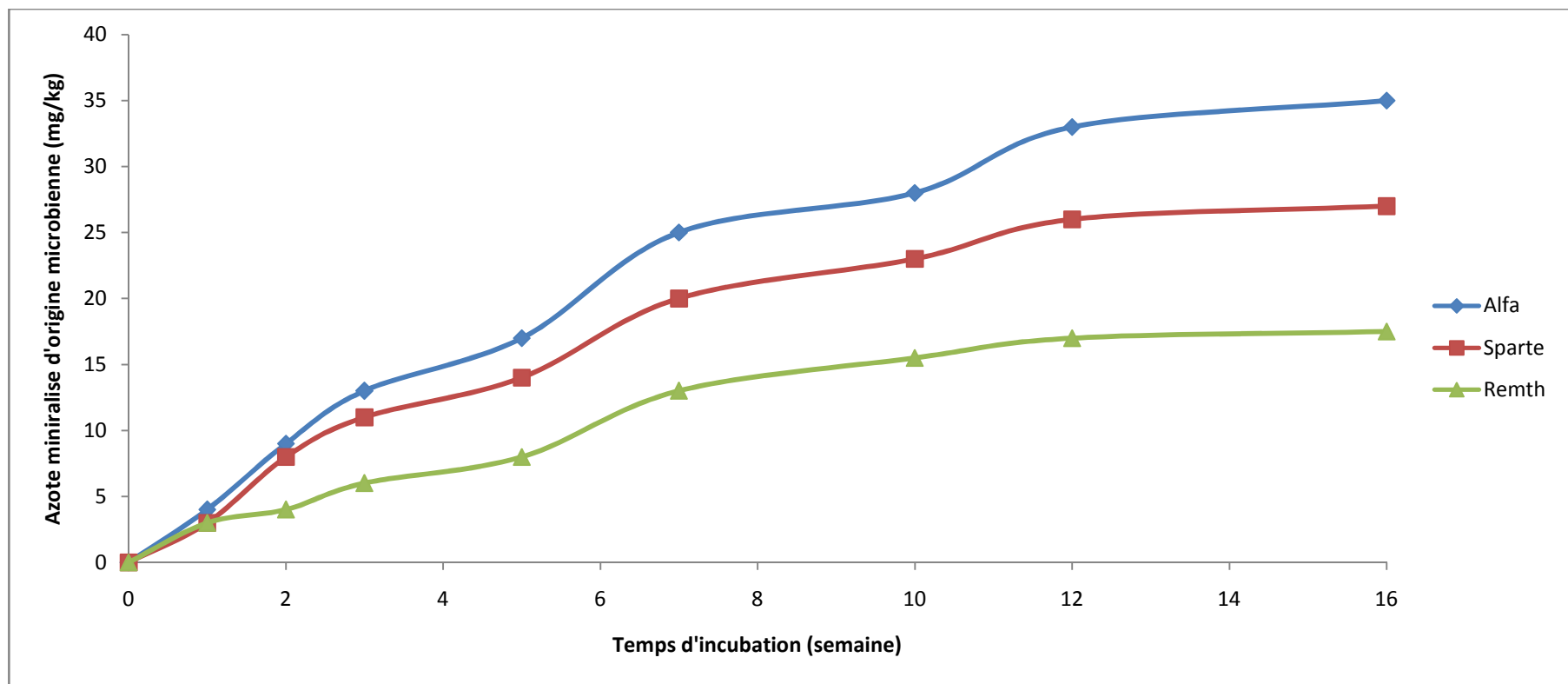
La constante de minéralisation de l'azote d'origine microbienne est identique pour les trois sols qui est de  $0,12 \text{ semaine}^{-1}$  et le temps de résidence de cette fraction est estimée à 11,50 semaines, ce qui confirme la variation saisonnière de l'évolution de cette biomasse microbienne remarquée précédemment.

Le produit  $N_{om}K$  donne une estimation à court terme de la vitesse de minéralisation (1 à 3 semaines) et montre une minéralisation beaucoup plus importante dans les sols des écosystèmes de l'alfa comparativement aux sols des autres écosystèmes.

La contribution de l'azote microbienne apte à la minéralisation à l'azote total du sol potentiellement minéralisable ( $N_{om}/N_o$ ) est de 46,74%, 32,66% et 36,17% respectivement pour les sols des écosystèmes de l'alfa, de sparte et de remth par contre la contribution de l'azote microbienne à la formation de pool d'azote total ( $N_{om}/N_t$ ) varie de 3,45% pour les sols des écosystèmes de sparte à 4,27% pour les sols des écosystèmes de l'alfa; comparativement aux sols des agro-écosystèmes, ces valeurs sont nettement inférieures; où l'azote d'origine microbienne forme entre 4 à 8% de l'azote total du sol (Nicolardot et al. 2010).

Il est important de noter qu'à la fin de la durée d'incubation, et par rapport à l'azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne, la fraction qui s'échappe à cette minéralisation varie de 13,19% pour les sols des écosystèmes de sparte à 25,65% dans les sols des écosystèmes de l'alfa, ce qui confirme la forme asymptotique des courbes à la fin de la durée d'incubation et la présence toujours d'une fraction de la biomasse microbienne résistante à la dégradation, cette dernière se trouve protégée à l'intérieur des agrégats des sols.

Cette fraction se présente comme étant un élément précurseur pour toute reprise de l'activité microbienne et le rétablissement des sols dégradés de ces écosystèmes dans le but de garder la pérennité du potentiel productif de ces sols.



*Figure n° 13: Production cumulée d'azote minéral d'origine microbienne*

**Tableau n°29:** Paramètres de la cinétique de minéralisation de l'azote d'origine microbienne

	$r^2$	$N_{mm}$ (mg/kg)	$N_{mm}/N_t$ (%)	$N_{om}$ (mg/kg)	$N_{om}/N_t$ (%)	$N_{om}/N_o$ (%)	$N_{mm}/N_{om}$ (%)	K (sem <sup>-1</sup> )	$N_{om}K$ (mg/kg. sem <sup>-1</sup> )	Ln2/K (sem)
Alfa	0,96	35,00	3,18	47,07	4,27	46,74	74,35	0,12	5,65	5,75
Sparte	0,98	27,00	3,00	31,10	3,45	32,66	86,81	0,12	3,73	5,75
Remth	0,98	17,50	2,91	21,96	3,66	36,17	79,69	0,12	2,63	5,75

## **CONCLUSION GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

Les résultats de cette étude ont permis d'évaluer l'activité microbiologique des sols des régions steppiques d'Algérie à aridité presque pérenne. L'évaluation quantitative a été estimée à travers la caractérisation massique de la biomasse microbienne sous différents micro-écosystèmes ; quant à l'évaluation qualitative, elle a été opérée à travers la minéralisation de l'azote organique. L'ensemble de ces résultats a permis de démontrer que l'évolution actuelle de la steppe algérienne tend vers une dégradation accélérée des ressources biologiques terrestres.

Les données écologiques, recueillies et mentionnées dans le premier chapitre de cette étude, démontrent le caractère aride du climat et la qualité défavorable du biotope au quel la vie microbienne s'y trouve confrontée. Ces données doivent être impérativement réactualisées s'il fallait prendre en considération et avec rigueur la situation pédologique dans un contexte de l'étude globale de la désertification.

L'activité microbienne a été souvent liée à la taille de cette population, mais l'accès à ce compartiment reste sujet à des discussions. Les données traitées en deuxième chapitre de cette étude ont démontré qu'aucune différence n'a été observée entre les deux méthodes testées (dénombrement et biomasse).

La quantité du carbone de la biomasse microbienne se corrèle positivement avec la densité des différents constituants microbiens; ceci peut être lié au faible degré de protection de ces germes par la matrice minérale des sols ; ces derniers se caractérisent par un complexe adsorbant non développé ce qui facilite la libération de la population microbienne et leur mise en culture lors du dénombrement.

Les résultats analysés dans le troisième chapitre, sont basés essentiellement sur la quantification et la distribution de la biomasse microbienne dans le paysage steppique.

Le carbone de la biomasse microbienne forme moins de 2% du carbone organique total et dont l'évolution est beaucoup plus liée à l'effet de la micro-niche, où cette vivante fraction trouve un refuge à l'intérieur des micro-agrégats des sols, lorsque les conditions du biotope deviennent défavorables.



Ce taux du carbone de la biomasse microbienne se présente comme une valeur seuil utilisée comme un bio-marqueur du sol des écosystèmes steppiques fragiles, au dessous de cette valeur, l'écosystème sol perdra son potentiel productif.

La végétation steppique influe sur le niveau de la biomasse microbienne des sols particulièrement par sa restitution racinaire (exsudation et dégradation in situ du système racinaire). L'éradication de ces ligneux endémiques et son remplacement par une céréaliculture de faible rendement atténuent l'offre fourragère et accélère la désertification.

Il est important de noter que sous la couverture alfatière, le niveau de la biomasse microbienne prend des valeurs relativement élevées comparativement aux autres couvertures végétales.

L'aridité tant climatique qu'édaphique réduit le niveau de la biomasse microbienne ; une corrélation négative a été observée entre ce dernier et les paramètres qui stimulent l'aridité édaphique tels que: le sable, la salinité, le calcaire. Ce qui fait que la biodisponibilité de l'eau à l'intérieur des agrégats des sols, est un facteur prépondérant pour la vie microbienne du sol.

La variation saisonnière de la biomasse microbienne a été aussi observée dans ces écosystèmes, les fortes teneurs de cette fraction s'observent après les périodes du repos estival et hivernal (effet de la stérilisation partielle); cependant, la dessiccation prolongée a une influence beaucoup plus importante sur la réduction de la quantité de la biomasse microbienne que la congélation hivernale.

Le stress salin influe sur le stock et le turnover de la biomasse microbienne; la biomasse microbienne de ces sols présente à cet effet une faible résistance à la salure, dès que la concentration saline dépasse 60 mmole/l, la perturbation comportementale et un dysfonctionnement de celle-ci commencent à se manifester.

A cet effet, la mise en culture en irrigué de ces sols par des eaux souterraines à charge saline supérieure à ce seuil, engendrera une déperdition du potentiel productif et une baisse de la fertilité biologique si les facteurs suivants sont mal respectés à savoir : la conduite, l'itinéraire technique et le choix des sols.

Les résultats obtenus sur la minéralisation de l'azote organique total montrent que l'azote potentiellement minéralisable ne dépasse pas 100,00 mg/kg de sol sec et cette teneur diminue avec l'augmentation de l'aridité. Cette valeur ne couvre pas les besoins en azote minéral de n'importe quelle culture pratiquée et l'éradication de ces ligneux, peu exigeants en éléments nutritifs, réduit la restitution biologique et accélère la désertisation.

L'étude de la cinétique de minéralisation de l'azote organique montre que l'azote minéral fournit par les sols des écosystèmes d'alfa est relativement beaucoup plus élevé comparativement aux sols des deux autres écosystèmes.

Généralement, l'azote potentiellement minéralisable forme moins de 11% de l'azote organique total et la constante de minéralisation s'accroît dans le sens de l'augmentation de l'aridité; ce qui suppose que, quoi que ces écosystèmes sont en voie de dégradation, mais cette intensité est beaucoup plus marquée dans les sols des écosystèmes de remth que pour les deux autres écosystèmes.

Le suivi du niveau de la biomasse microbienne durant une durée d'incubation de seize (16) semaines se caractérise par la présence d'une phase de décroissance due probablement à la dominance de la mortalité au dépend de la survie concluant que ce cortège microbien est loin d'être un tout homogène.

Cette décroissance prend une forme asymptotique à la fin de la durée d'incubation; cette valeur correspond au niveau minimal de la biomasse microbienne de faible activité biologique, peu exigeant en facteurs nutritionnels et qui échappe aux conditions stressantes quand les conditions du biotope deviennent très défavorables.

La contribution de l'azote d'origine microbienne dans la conservation du potentiel fertilisant de ces sols a été opérée à travers d'une incubation de sol pendant une durée de seize (16) semaines. L'azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne donne une valeur qui oscille entre 3,45% et 4,27% par rapport à l'azote total du sol et qui garde toujours un seuil minimal soustrait à la minéralisation totale, ce seuil forme entre 13,19% et 25,65% du l'azote potentiellement minéralisable d'origine microbienne.

Ce niveau de la biomasse microbienne, résistante à la minéralisation, constituera la clé de voûte pour revaloriser ces sols, ce compartiment doit être mieux caractérisé de point cytologique et génétique pour estimer ces potentialités fertilisantes.

Généralement, la matière organique humifiée non vivante (acide humique et l'humine surtout) est considérée comme constituant faiblement minéralisable (récalcitrante); mais dans ces conditions, cette fraction se trouve soumise à un fort mécanisme d'épuisement sans renouvellement tout en contribuant à plus de 50% des produits de la minéralisation. Cette situation expose ces sols à perdre leurs propriétés physiques liées à cette fraction (la stabilité des agrégats, la rétention de l'eau, perméabilité...).

Actuellement la végétation steppique en place ne couvre plus les besoins nutritifs du cheptel (fournit moins de 10% des besoins) d'autant plus, que cette étude a montré que cet écosystème est en voie de dégradation avec une perte accélérée des ressources biologiques tant macroscopique que microscopique, cette dernière est le seul bioréacteur de ce pédosphère fragile de ces écosystèmes arides à l'exception des rares espèces végétales qui persistent.

Pour cela, la conservation de ces sols s'avère un passage obligatoire pour limiter le fléau négatif de la désertification, en ce sens que l'amélioration de ces sols doit impérativement s'appuyer sur la préservation et l'amélioration de la biodiversité tant macroscopique que microscopique pour assurer une synergie entre les différentes composantes de la pédosphère et assurer une production fourragère dans un cadre de développement durable.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Achour H. (1983):** Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima*) du sud Oranais wilaya de Saida. Th. Doct. 3<sup>o</sup>cycle USTHB Alger. 216p.

**Aidoud A. (1980):** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud Oranais: phytomasse, production primaire et application pastorale. Th. Doct. 3<sup>o</sup>cycle USTHB Alger. 245p.

**Aidoud A., D. Nedjraoui (1988):** Evaluation des ressources pastorales dans les hautes plaines steppiques du sud Oranais : production et valeur pastorale des parcours. Biocénose. 2: 43-62.

**Aidoud A., LE Floch E. et H.N.Le Houerou (2006):** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse. 17(1-2):22-27.

**Ali Haimoud A. (1980):** Contribution à l'étude des sols alfatiers: fixation d'azote asymbiotique: effet du paillage sur cette activité. Th. Magister USTHB Alger. 112p

**Ali Haimoud A., H. Amir, D. Bounaga, M. Chami et N. Djellali (1982):** Contribution à l'étude de l'activité microbiologique de quelques sols de la Sebkha de Bouhzoul. Physiol. Vég. 18:19-33.

**Amir H. (1981):** Antagonisme de divers microorganismes vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* (Killian et Maire), Gordon, agent du Bayoud. Th. Magister, U.S.T.H.B. Alger. 145p.

**Asghar H.N., R. Setia and P. Marschner (2012):** Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity. Soil Biol Biochem. 47:175-178.

**Baize D. (1988):** Guide des analyses courantes en pédologie. ed. INRA. 163p.

**Benabdeli K. (1996):** Evaluation écologique des paysages, classification, potentialités et aménagement du territoire. Séminaire régional sur l'aménagement du territoire. Arzew (Algérie). 20-21 Mars 1996.

**Bencherif S. (2011):** L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne : Evolution et possibilités de développement. Th. Doct. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement Paris. 295p.

**Bending G.D., K.T. Mary, R. Francis, M.C. Marx and W. Martin (2004):** Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural regimes. Soil Biology and Biochemistry. 36:1785-1792.

**Bergeron O. (2007):** Dynamique des échanges de dioxyde de carbone. Collec. Mémoires et thèses électroniques Univ. Laval:7-45.

**Bessaih A., B. Hellal, N. Ayad (2014):** Réhabilitation par l'atriplexe des parcours steppiques du sud de la préfecture de Saida (Algérie occidentale) *European Scientific Journal*. 10(32): 80-92.

**Bhuyan S., O. P. Tripathi and M. L. Khan (2013):** Seasonal changes in soil microbial biomass under different agro-ecosystems of Arunachal Pradesh, North East India. *The Journal of Agricultural Sciences*. 8(3):142-152.

**Blet-Charaudeau (1992):** Kinetics of carbon dioxide evolution in relation to microbial biomass and temperature. *Soil Science of Society American Journal*. 54:1324-1328.

**Boualem A. (2000):** Etude des potentialités hydro agricoles de périmètres irrigués en zone semi aride (W) Saida. Th. Magister CUMascara. 159p.

**Bouazza M. (1995) :** Etude phytoécologique de la steppe à *Stipa tenacissima L. et Lygeum spartum L.* au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Th. Doct. Es Sci. Univ. Tlemcen. 153p.

**Bouchenafa N., K. Oulbachir, A. Hassani et M. Kouadria (2011) :** Détermination de la microflore du sol du sous bassin versant d'oued Mina (région de Tiaret). *Revue d'Ecologie et Environnement*. 7(12):9-24.

**Bourahla L. (1998):** Contribution à l'étude du fonctionnement microbiologique des sols en conditions steppiques d'Algérie- cas de la wilaya de Naama- Th. Magister Univ. Tiaret 97p.

**Bourahla L., A. Dellal and Y. Boukhari (2015):** Microbial biomass behaviour in Algerian steppe soils. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(11):41-47.

**Bouzidi N. (2001):** Essai d'intégration des données dans l'inventaire écologique et pastoral dans une base de données en zone semi aride du Nord ouest de l'Algérie. Cas de la région de Saida. Th. Magister CUMascara. 190p.

**Boyadgiev T.G (1975):** Les sols du Hodna. PNUD/FAO Rome. Rapport Tech. 141p.

**Bremner J.M. (1986):** Nitrogen availability indexes in methods of soil analysis. Part 2 *Agronomy* 9. ed. C.A. Black and al. Am. Soc. of Agronomy Madison, Wisansin. 15:193-198.

**Chaussod R., B. Nicolardot et G. Catroux (1986):** Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du sol*. 2:201-211.

**Chaussod R., M. Zuvia, M.C. Breuil et J.M. Hetier (1992):** Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol Vénézuélien des Lianos sous différents systèmes de cultures. *Cah. Orstom sér. Pédol.* vol. XXVII, (1):59-67.

**Chen L.D. and X.Y. Zhang (2011):** Effect of agricultural land use changes on soil nutrient use efficiency in an agricultural area, Beijing, China. *Chinese Geographical Science*. 21(4): 392-402.

**Chenu C. and G.Stotzky (2002):** Interactions between microorganisms and soil particles: an overview, in: Huang, P.M., Bollag, J.M., Senesi, N. (eds.), Interactions between soil particles and microorganisms. John Wiley and Sons, Chichester, UK :3-40.

**CRBT (1978):** Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la wilaya de Saida. 256p.

**Da Costa M. S., H. Santos and E. A. Galinski (1998):** An overview of the role and diversity of compatible solutes in bacteria and archaea. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 61:117-149.

**Dahmani M. (1997):** Diversité biologique et phytogéographique des Chênaies vertes d'Algérie. *Ecol. Méd.* XXII (3/4):19-38.

**Dellal A. et A. Halitim (1992):** Activités microbiologiques en conditions salines: Cas de quelques sols salés de Relizane (Algérie). *Cahiers d'Agriculture*. 1:335-340.

**Dilfuza E., G. Renella, S. Wirth and R. Islam (2010):** Secondary salinity effects on soil microbial biomass. *Biol Fertil Soils*. 46:445–449.

**Djebaili S. (1984):** Steppe Algérienne: phytosociologie et écologie. ed. OPU. 141p.

**Djellouli Y. (1981):** Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud Oranais wilaya de Saida : Comportement des espèces vis-à-vis des éléments du climat. Th. Doct. 3<sup>o</sup>cycle USTHB Alger. 178p.

**Djellouli Y. et P. Daget (1993):** Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Aix-en-Provence. 6:105-113.

**Dommergues Y. et F. Mangenot (1970) :** Ecologie microbienne du sol. ed. masson. 796p.

**Domsch K. and J. (1978):** Mineralization of bacteria and fungi in chloroform- fumigated soils soil biology and biochemistry. 10(3):207-213.

**Durand J. (1958):** Du nouveau au sujet de la formation des croûtes calcaires. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afri. Nord*. 49:196-203.

**Ellis S. and A. Mellor (1995):** Soils and environment. Routledge, London-New York: 1-25.

**Foster R.C., A.D. Rovira and T.W. Cok (1983):** Ultrastructure of the root-soil interface. The American Phytopathological Society St Paul. M.N. 210p.

**Gacem F. (2012):** Salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina-Relizane-Algérie. INRA. 56p.

**Gallali T. (1980):** Transfert sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Thèse de Doctorat es Sciences. Université de Nancy I. 202 p.

**Garau M.A., M.T. Felipo and M.C.Ruize de Villa (1986):** Nitrogen mineralization of sewage sludges in soils. *J. Environ. Qual.* 15:225-228.

**Gil-Sotres F., M.C. Trasar-Cepeda and S. Seoane (2005):** Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties, *Soil Biology and Biochemistry.* 37:877-887.

**Glaciela K., A. Odair and H. Mariangela (2010):** Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry.* 42:1-13.

**Gouffi K., T. Bernard and C. Blanco (2000):** Osmoprotection by pipecolic acid in *Sinorhizobium meliloti* : specific effects of D and L isomers. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 2358-2364.

**Halimi A. (1988) :** l'Atlas Blédeen Climats et étages végétaux. ed. OPU. 523p.

**Halitim A. (1988):** Sols des régions arides d'Algérie. ed. OPU. 384p.

**Hamdy A. (1999):** Saline irrigation and management for a sustainable use. *In: advanced short course on saline irrigation proceeding.* Agadir. 152-227.

**Hatimi A. (1989) :** Etude de la réceptivité des sols de deux palmeraies marocaines au Bayoud. Th. Doct. 3<sup>o</sup>cycle. Marrakech. 58p.

**Hatimi A. et S. Tahrouch (2007) :** Caractérisations chimique, botanique et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss- Massa. *Biomatec Echo.* 2(5):85-97.

**Henni M. et Z. Mehdadi (2012) :** Evaluation préliminaire des caractéristiques édaphiques et floristiques des steppes à armoise blanche dégradées réhabilitées par la plantation d'Atriplex dans la région de Saïda (Algérie occidentale), *Acta Botanica Gallica.* 159:43-52.

**Hussain S.T., S.T. Siddique, M. Saleem, M. Arshad and A. Khalid (2009):** Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes and biochemical reactions. *Advances in Agronomy.* 102:157-198.

**Hussein K., M. Hussein K. Nawaz A. Majeed and K. H. Bhatti (2011):** Morphological response of chaksu (*Cassia absus* L.) to different concentrations of indole acetic acid (IAA). 43(3):1491-1493.

**Ibomcha S. L. and P.S. Yadava (2006):** Spatial distribution of microbial biomass in relation to land-use in subtropical systems of north-east India *Tropical Ecology.* 47(1):63-70.

**Insam H. (1990):** Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biol. Biochem.* 22:525-532.

**Inubushi K., P.C. Brookes and D.S. Jenkinson (1991):** Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method. *Soil Biol. Biochem.* 23:737-741.



**Iturriaga G., R. Suarez and B. Nova-Franco (2009):** Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling. *Int. J. Mol. Sci.* 10:3793-3810.

**Jenkinson D.S and D.S. Powlson (1976):** The effect of biocidol treatments on metabolism in soil. V.A. method of measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8:209-213.

**Jenkinson D.S. and J.N. Lad (1981):** Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: *Soil Biochemistry*. (eds.): E.A. Paul and J.N. Ladd, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, 415-471.

**Jenkinson D.S., D.D. Harkness, D.E. Adams and A.F. Harrison (1992):** Calculating Net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and ratio carbon content of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 24:295-308.

**Kareem U Hassan, Wisam M Abd and Firas W Ahmed (2016):** Study of Microbial Biomass activity in Saline Soils. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* January – February 2016 RJPBCS. 7(1):390-395.

**Karen B. and P. Marchner (2013):** Effect of salinity on microbial tolerance to draying and rewetting. *Biogeochemistry.* 112:71-80.

**Khaldi A. et A. Dahane (2011) :** Elevage et processus de la désertification de la steppe algérienne. *Revue d'Ecologie-Environnement.* 7:101-112.

**Killian C.H. et D. Feher (1939) :** Recherches sur les phénomènes microbiologiques des sols sahariens. *Labo.Biol. Saharienne Fac. Des Sci. Alger.* 44 p.

**Lamosa P., L. O. Martins M. S. da Costa and H. Santos (1998):** Effects of temperature, salinity, and medium composition on compatible solute accumulation by *Thermococcus* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* 64(10):3591-3598.

**Le Houerou H.N. (1971) :** Les bases écologiques de la production fourragère. Pastoral en Algérie ; bioclimatologie, culture et fourrage. Rapport FAO Rome. 60 p.

**Le Houerou H.N. (1995):** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité, biologique développement durable et désertisation. ed. CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches. 10:1-396.

**Leroy, B., H. Herath, S. Sleutel, S. De Neve, D. Gabriels, D. Reheul, M. Moens (2008):** The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil Use Manage.* 24:139-147.

**Lian J., X. Zhao and X. Zuo (2013):** Land cover changes and the effects of cultivation on soil properties in Shelihu wetland, Horqin Sandy Land, Northern China. *J. Arid Land.* 1: 71–79.

**MADR (2013):** Revues périodiques des statistiques agricoles. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (séries : A et B).

- Malin G. and A. Lapidot (1996):** Induction of synthesis of tetrahydropyrimidine derivatives in *Streptomyces* strains and their effect on *Escherichia coli* in response to osmotic and heat stress. *J. Bacteriol.* 178:385-395.
- Mangenot F. (1982) :** Méthodes d'étude de la biomasse microbienne dans les sols. In C.R. Réunion du groupe Matière Organique des Sols, Bonne vaux 29-30Avril 1982, Rapp. mult. 48p.
- Mary B. et J.C. Remy (1979) :** Essai d'appréciation de la capacité de la minéralisation de l'azote des grandes cultures. I- Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. Agron.* 30:513-527.
- Mathieu C., et A. Ruellan (1987):** Evolution morphologique de sols irrigués en région méditerranéenne semi-aride : L'exemple de la Basse-Moulouya (Maroc). *Cah. ORSTOM, ser. Pedol.* vol. 1:3-25.
- Mavi M.S., P. Marschner, D.J. Chittleborough and J.W. Cox (2010):** Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in the soils are affected by salinity and sodicity. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Mejrab A. (1988):** Etude sur l'évapotranspiration du nord d'Algérie et son impact sur la biologie végétale. ed. OPU. 321p.
- Mellouhi N. et F. Jacquin (1984):** Essai de corrélation entre les propriétés biochimiques d'un sol salsodique et sa biomasse. *Soil Biol Biochem.* 17(2):23-27.
- Miller E. N. and L. O. Ingram (2007):** Combined effect of betaine and trehalose on osmotic tolerance of *Escherichia coli* in mineral salts medium. *Biotechnol. Lett.* 29:213-217.
- Monty K., K.P. Amiya (2012):** Quantifying the contribution of different soil properties on microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorous in dry tropical ecosystem. *International Journal of Environmental Sciences.* 2:2272-2284.
- Moradi A., A. Tahmourespour, M. Hoodaji and F. Khorsandi (2011):** Effect of salinity on free living-diazotroph and total bacterial populations of two saline soils. *Afr. J. Microbiol. Res.* 05(2):144-148.
- Morill L.G. and G.F. Dawson (2007):** Patterns observed for oxidation of ammonium to nitrate by soil micro-organisms. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 45:442-447.
- Naaman F., A. Denoel, B. Soudi et C.N. Chiang (2000):** Terres irriguées et micro-organismes telluriques. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000.
- Nan Y. and P. Marschner (2013):** Microbial activity and biomass recover rapidly after leaching of saline soils *Biol Fertil Soils.* 49:367-371.

**Nedjimi B. (2012):** Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. J. Saudi Soc. Agri. Sci. 11:43-49.

**Nedjraoui D. et S. Bedrani (2008) :** La désertification dans la steppe algérienne : causes, impacts et actions de lutte. Vertigo. (8) n°1.

**Nelson D. R. and P. M. Mele (2007):** Subtle changes in rhizosphere microbial community structure in response to increased boron and sodium chloride concentrations. Soil. Biol. Biochem. 39:340-351.

**Nicolardot B. et R. Chaussod (1986) :** Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. 3-Approche cinétique et estimation simplifiée de l'azote facilement minéralisable. Rev. Ecol. Biol. Sol.23(3):233-247.

**Nicolardot B. (1994) :** Evolution du niveau de la biomasse microbienne du sol au cours d'une incubation de longue durée : Relation avec la minéralisation du carbone et de l'azote organique. Rev. Ecol. Biol. Sol. 25(3):287-304.

**Nicolardot B. ; R. Chaussod et G. Catroux (2010) :** Revue des principales méthodes disponibles pour mesurer la biomasse microbienne et ses activités. Association Française pour l'Etude du Sol. 253-261.

**Nug Y.K., M. P. Hodson, A.K. Hewavitharana, U. Bose, P. N. Shaw and J. A. Fuerst (2014):** Effect of salinity on antibiotic production in sponge-derived *Salinispora* actinobacteria. J. Appl. Microbiol. 88(3):472-477

**Omar S. A., M. A. Abdel-Sater and M. H. Abd-Alla (1994):** Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. Folia Microbiologica. 39:23-28.

**Office National de la Météorologie :** Données climatiques des wilayas Saida et Naama.

**Ouiza D.Z., M. Belkhodja, S. Bissati et S. Hadjadj (2010) :** Effet du stress salin sur l'accumulation de proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Euro. J. Sic. Res. 41:249-260.

**Oulbachir K., A. Dellal et A. Bekki (2009):** Les variations de la biomasse microbienne étudiée sous des conditions environnementales différentes dans quatre sols superposés séparés deux à deux par une croûte calcaire. European Journal of Scientific Research. 36:407-417.

**Pathak H. and D.L.N. Rao (1998):** Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biol. Biochem. 30:695-702.

**Pavel R., J. Doyle and Y. Steinberger (2004):** Seasonal pattern of cellulase concentration in desert soil. Soil Biol. Biochem. 36:549-554.

**Pochon J. et P. Tardieux (1962) :** Technique d'analyse en microbiologie du sol. Paris la Tourelle. 11p.

**Polonenko D. R., C. I. Mayfield and E. B. Dumbroff (1986):** Microbial responses to salt-induced osmotic stress. Effect of salinity on growth and displacement of soil bacteria. *Plant Soil*. 92:417-425.

**Pouget M. (1980):** Relation sol végétation dans la steppe sud algéroise. ed. ORSTOM. 555p.

**Rasul G.,A. Appuhn, T. Müller and R. G. Joergensen (2006):** Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. *Applied Soil Ecology*. 31(1–2):1-10.

**Rhoades J.D. (1982):** Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. (2<sup>nd</sup>). Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

**Rodier J. (1978) :** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. ed Dunod.: 146-158.

**Rousk J., F.K. Elyaagubi, D.L. Jones and D.L. Godbold (2011):** Bacterial salt tolerance is unrelated to soil salinity across an arid agroecosystem salinity gradient. *Soil Biol Biochem*. 43:1881-1887.

**Sabaou N.; H. Amir et N. Bounaga (1980):** Le palmier et la fusariose. X: Dénombrement des Actinomycètes de la rhysosphère; leur antagonisme vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*. *Ann. Phytopathol*. 12:253-257.

**Saum S. H. and V. Müller (2007):** Salinity-dependant switching of osmolyte strategies in a moderately halophilic bacterium: Glutamate induces proline biosynthesis in *Halobacillus halophilus*. *J. Bacteriol*. 189.(19):6968-6975.

**Sayed A.S.; and Z. Shah (2011):** Changes in soil microbial characteristics with elevated salinity. *Sarhad J. Agric*. 2:233-244.

**Seltzer P. (1946):** Le climat d'Algérie. Alger Carbonel. 219p.

**Serna M.D. and F. Pomares (1992):** Comparison of biological and chemical methods to predicts nitrogen miniralization in animal wastes. *Bilo. Fertil. Soils*. 12:89-94.

**Sheng Q., L.Jie, C. Hua-Hong, Z. Guo-Zhen, Z. Wen-Yong, J. Cheng-Lin, X. LiHua and I. Wen-Jun (2013):** Isolation, diversity and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna,China. *Appl. Environ. Microbiol*. 75(19):6176-6186.

**Siddikee M.d., A. Sherlyn, C. Tipayno, Kiyoon Kim , Jongbae Chung and Tongmin Sa (2010):** Influence of Varying Degree of Salinity-Sodicity Stress on Enzyme Activities and Bacterial Populations of Coastal Soils of Yellow Sea, South Korea *J. Microbiol. Biotechnol*. 21(4): 341–346.

**Singleton P. W., S. A. Swaify and B. B. Bohlool (1982):** Effect of salinity on *Rhizobium* growth and survival. *Appl. Environ. Microbiol*. 44(4):884-890.

**Soudi B. (1989):** Contribution à l'étude du pouvoir minéralisateur des sols en régions semi arides: Cas du Maroc. Th. Doct.es. Univ. Catholique de Louvain-Belgique. 140p.

**Sparling G.P. (1992):** Ration of microbial biomass to soil organic carbon as a sensitive indicators of changes in soil organic matter. Aust. J. Soil Res. 30:195-207.

**Sparling G.P. and D.J. Ross (1993):** Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: current developments and application, Int. Mulongoy K. et Merckx R. (eds.), Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agri. MT A/K. U. Wiley-Sayce-Co. 57p

**Stanford G. and B.L. Williams (1972):** Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:465-472.

**Tabatabai M.A. and A.A. Al Khafadji (1980):** Comparison of nitrogen and sulphur mineralization in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1000-1006.

**Tadj A. (2010) :** Contribution à l'évaluation des modèles de mise en valeur steppique et proposition d'une stratégie: cas de la commune de Ouled Djerad -W- Tiaret- Algérie. Th. Magister Univ. Mascara. 95p.

**Tariq M., A, Rehmat., H. Faqir, A. Kauser A. and R. Ghulam (2007):** Seasonal changes in soil microbial biomass nitrogen under an irrigated wheat-maize cropping system Pak. J. Bot. 39(5):1751-1761.

**Tripathi S., S. Kumari, A. Chakraborty, A. Gupta, K. Chakrabarti and B.K. Bandy (2006):** Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biol. Fertil Soil. 42: 273-277.

**Trotsenko, Y. A. and V. N. Khmelenina (2002):** Biology of extremophilic and extremotolerant methanotrophs. Arch. Microbiol. 177:123-131.

**Ullah R., M.I. Lone, K.S. Ullah, S.M Mehdi. and M.A. Qazi (2013):** Effect of cropping system and seasonal variation on soil microbial biomass and enzymatic activities in arid soils. The Journal of Animal & Plant Sciences. 23:493-499.

**USDA. (1999):** A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys Agriculture Handbook, Natural Resources Conservation Service. 436p.

**Van Veen J.A and E.A. Paul (1979):** Conversion of biovolume measurements of soil organisms, grown under various moisture tensions, to biomass and their nutrient content. Appl Environ Microbiol. 37(4):686-692.

**Vance E.D., P.C Brookes. and D.S. Jenkenson (1987):** An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry. 19:703-707.

**Voos G. and B.R. Sabey (1987):** Nitrogen Mineralization in Sewage-sludge-Amended Coal Mine Spoil and Topsoils. 16(3):231-237.

**Wardle D.A. (1992):** A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. *Biological Review*. 7:321-358.

**Xu, X. M. Abo, A. Okubo and S. Yamazaki (1998):** Trehalose as osmoprotectant in *Rhodobacter sphaeroides* f.sp. *denitrificans* IL 106. *Int. Biblio. Inf. Diet. Suppl.* 62: 334- 337.

**Yoneyama J. and T. Yoshida (1977):** Nitrogen mineralization of swedges sludges in soils. *Soil Sci. Plant. Nutri.* 24:139-144.

**Yuan Bing-Cheng, Zi-Zhen Li, Hua Liu, Meng Gao and Yan-Yu Zhang (2007):** Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*. 35:319-328.

**Zak D.R., W. Holmes, D.C. White; A. Peacock and D. Tilman (2003):** Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology*. 84:2042-2050.

**Zhanfeng L.A., L.A. Guohua, F. Bojie and X.Z. Xiao (2007):** Relationship between plant species diversity and soil microbial functional diversity along a longitudinal gradient in temperate grasslands of Hulunbeir, Inner Mongolia, China. *The Ecological Society of Japan*. 353-357.

## **ANNEXES**

## **Annexe 1**

Granulométrie : Méthode internationale à la pipete de Robinson

Calcaire total : Calcimétrie avec utilisation du Calcimètre de Bernard

Acidité : Méthode potentiométrique

Salinité : Conductivimétrie à partir de l'extrait de la pate saturée

Capacité d'échange cationique : Méthode à l'acétate d'ammonium

Calcium et Magnésium : Spectroscopie à absorption atomique et complexométrie

Sodium et Potassium : Spectrophotométrie à flamme

Chlorure : Argentimétrie

Sulfates : Gravimétrie

Carbonates : Titrimétrie

Azote total : Méthode de Kjeldahl

Carbone organique total : Méthode d'Anne

Carbone de la biomasse microbienne : Méthode de fumigation extraction

Cortège microbien : Méthode de dénombrement par ensemencement sur milieu solide



## Annexe 2

### Coordonnées factorielles des variables

	Facteur 1	Facteur 2
S	-0,884290	-0,405818
L	0,752434	0,531961
A	0,951044	-0,000046
CaCO <sub>3</sub>	-0,855653	-0,391444
Ph	0,112702	-0,364668
CE	0,706691	-0,654858
CEC	0,741115	0,354611
Ca	-0,894570	-0,347256
Mg	-0,726441	-0,407894
Na	0,819586	-0,528990
K	-0,599774	0,047236
Cl	0,504447	-0,799873
SO <sub>4</sub>	0,630270	-0,719060
HCO <sub>4</sub>	0,556371	-0,798570
C <sub>org</sub>	0,171957	0,867317
C <sub>bio</sub>	0,159250	0,896300
C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>	0,035526	0,312409

### Annexe 3

Variation mensuelle du carbone de la biomasse microbienne du sol et déficit pluviométrique (saison 2013/2014)

Ecosystème	Paramètres	Carbone de la biomasse microbienne du sol et déficit pluviométrique											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alfa	P-ETP (mm)	17,00	18,00	24,00	27,00	-15,50	-85,00	-116,00	-126,00	-105,00	-36,00	22,00	-9,00
	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	198,00	170,00	203,00	224,00	183,00	148,00	132,00	126,00	138,00	172,00	260,00	170,00
Sparte	P-ETP (mm)	-1.50	-2,00	-19,00	-16,50	-52,50	-103,00	-143,00	-148,00	-96,00	-27,00	11,00	-16,00
	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	124,00	125,00	156,00	161,00	148,00	106,00	105,00	104,00	110,00	120,00	170,00	121,00
Remth	P-ETP (mm)	1,50	-10,00	-12,00	-49,50	-71,00	-119,00	-164,00	-153,50	-106,50	-27,00	5,50	-7,50
	C <sub>bio</sub> (mg/kg)	98,00	89,00	107,00	100,00	95,00	86,00	85,00	84,00	89,00	104,00	113,00	110,00

#### Annexe 4

Effet de la salinité sur l'évolution du carbone de la biomasse microbienne au cours de la durée d'incubation (mg/kg)

	0	1	2	3	5	7	10	12
60 (mmole/l)	135,00	133,00	140,00	150,00	152,00	140,00	100,00	86,00
90 (mmole/l)	135,00	127,00	120,00	100,00	85,00	79,00	65,00	59,00
180 (mmole/l)	135,00	125,00	115,00	95,00	85,00	65,00	40,00	35,00
300 (mmole/l)	135,00	125,00	110,00	95,00	70,00	40,00	25,00	20,00

## Annexe 5

Production cumulée d'azote minéral (mg/kg)

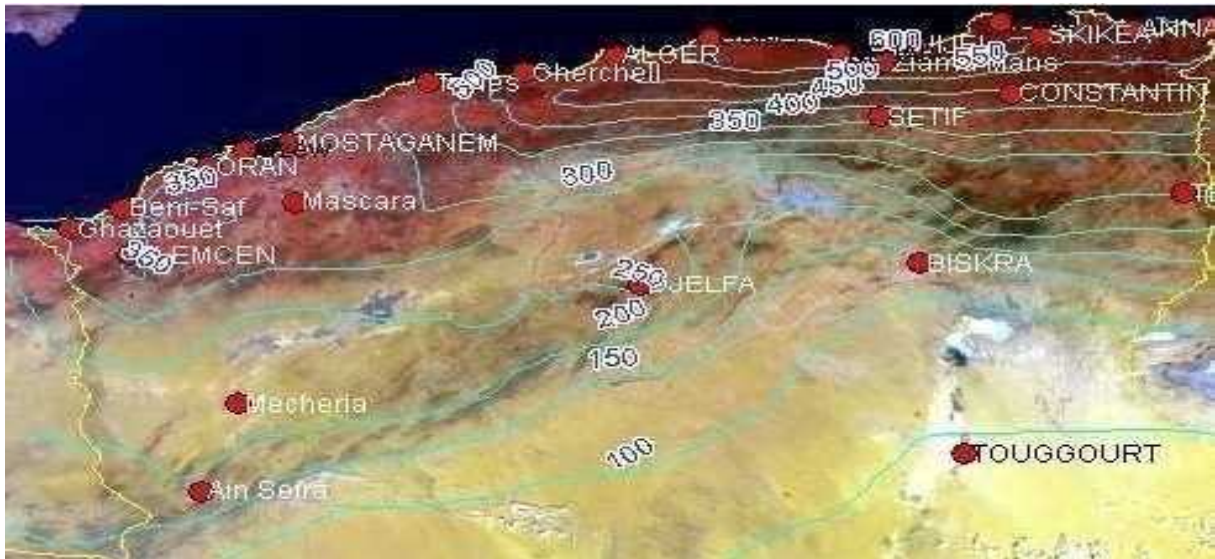
		1	2	3	5	7	10	12	16
Alfa	NH <sub>4</sub>	6,00	11,00	15,00	27,00	32,00	42,00	46,00	50,00
	NO <sub>3</sub>	3,00	6,00	8,00	14,00	16,00	21,00	24,00	25,00
	N <sub>m</sub>	9,00	17,00	23,00	41,00	48,00	63,00	70,00	75,00
Sparte	NH <sub>4</sub>	3,00	7,00	14,00	21,00	33,00	37,00	41,00	44,00
	NO <sub>3</sub>	2,00	5,00	9,00	15,00	20,00	23,00	24,50	27,00
	N <sub>m</sub>	5,00	12,00	23,00	36,00	53,00	60,00	65,50	71,00
Remth	NH <sub>4</sub>	5,00	9,00	13,00	17,00	20,00	23,00	26,00	28,00
	NO <sub>3</sub>	3,00	8,00	9,00	13,00	14,00	18,00	20,00	20,00
	N <sub>m</sub>	8,00	17,00	22,00	30,00	34,00	41,00	46,00	48,00

## Annexe 6

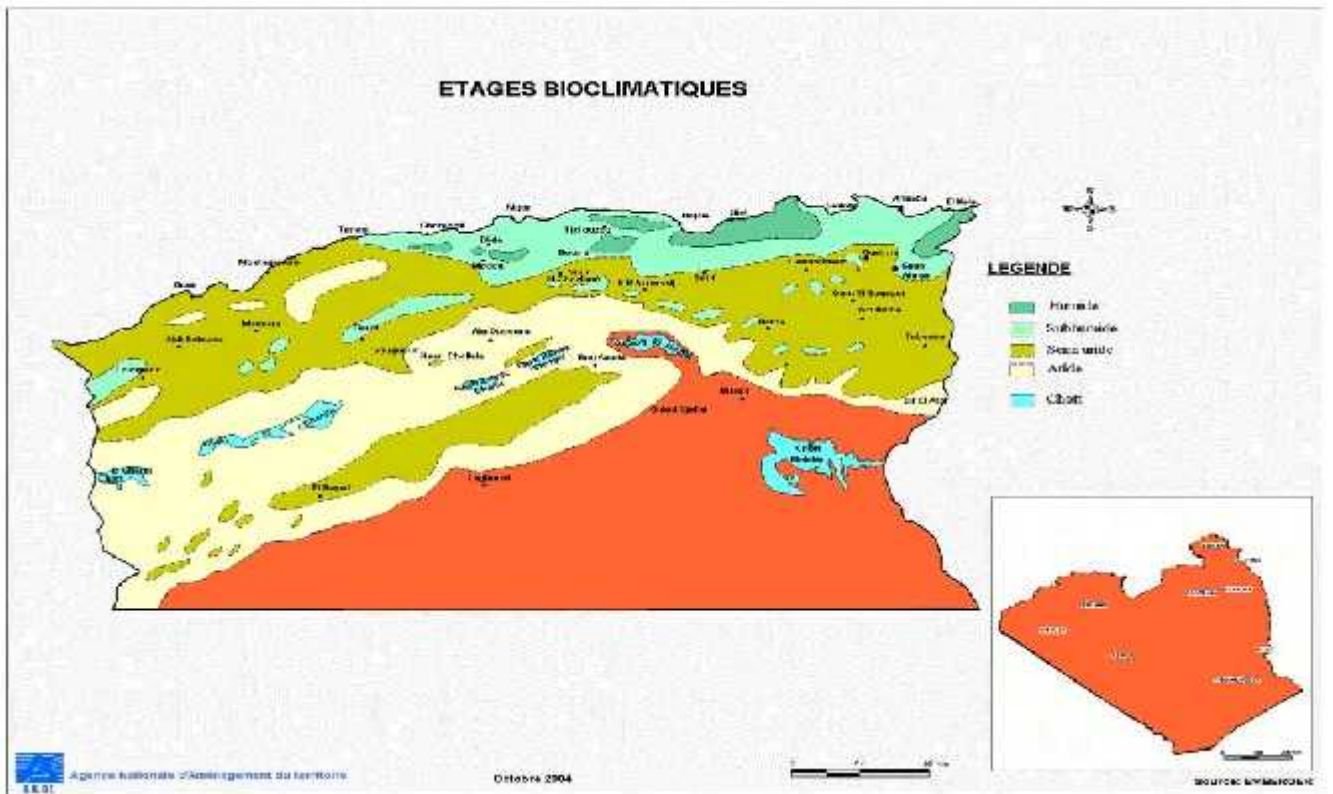
Production cumulée d'azote minéral d'origine microbienne (mg/kg)

		1	2	3	5	7	10	12	16
Alfa	NH <sub>4</sub>	2,00	5,00	8,00	10,00	18,00	19,00	22,00	23,00
	NO <sub>3</sub>	2,00	4,00	5,00	7,00	7,00	9,00	11,00	12,00
	N <sub>m</sub>	4,00	9,00	13,00	17,00	25,00	28,00	33,00	35,00
Sparte	NH <sub>4</sub>	2,00	4,00	7,00	9,00	13,00	13,00	17,00	15,00
	NO <sub>3</sub>	1,00	4,00	4,00	5,00	7,00	10,00	9,00	12,00
	N <sub>m</sub>	3,00	8,00	11,00	14,00	20,00	23,00	26,00	27,00
Remth	NH <sub>4</sub>	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	11,00	12,00
	NO <sub>3</sub>	/	/	1,00	2,00	5,00	5,50	6,00	5,50
	N <sub>m</sub>	3,00	4,00	6,00	8,00	13,00	15,50	17,00	17,50

## Annexe 7



Carte pluviométrique de la steppe algérienne (réalisée par HCDS 2005) in Bencherif 2011



Carte des étages bioclimatiques réalisée par ANAT in Nedjraoui et al.2008

## Annexe 8



**Photo n° 01** : Eradication des ligneux par un défrichement illicite de faible rendement



**Photo n°02** : Extension de l'éradication des ligneux par un défrichement illicite





**Photo n° 03 :** Mise en défens en milieu steppique souvent non respectée



**Photo n° 04 :** Pastoralisme en extensif de longue durée





**Photo n° 05 :** Reprise de l'activité végétale après la pluviométrie d'automne



**Photo n° 06 :** Effet d'une érosion éolienne sélective



**Photo n° 07 : Parcours de sparte**



**Photo n° 08 : Parcours de remth**



## Effect of Salinity on Microbial Biomass Behaviour

BOURAHLA Lame<sup>1</sup>, DELLAL Abdelkader<sup>2</sup> and BOUKHARI Yahia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et de la Géomatique. Univ. Mascara- Algérie.

<sup>2</sup>Laboratoire d'Agro-biotechnologie et de Nutrition en Zones semi Arides. Univ. Ibn Khaldoun Tiaret- Algérie.

<sup>3</sup>Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et de la Géomatique. Univ. Mascara- Algérie.

Received: June 14, 2016  
Accepted: August 19, 2016

### ABSTRACT

This study is to assess the microbial biomass carbon behaviour of the saline soil in Naama's Sebkhia using the fumigation extraction method. The results have shown a negative correlation between the increasing salinity and the soil microbial biomass carbon. The microbial biomass carbon ranged from 117 mg/kg in the non saline soil to 22 mg/kg for the high saline soil. In terms of the soil total organic carbon, this fraction decrease with an increasing salinity forming a rate not exceeding 0.47% in the high saline soil. The incubation of the soil under an increasing salinity conditions during 12 weeks without external energetic sources, has showed the exponential decreasing of soil microbial biomass carbon level. The estimated kinetics parameters, using the single compartment model, showed that the half-life time not exceeding 4.05 weeks for the high saline soil and an increasing of mineralization rate constant with increasing salinity.

**KEYWORDS:** Algeria, microbial biomass, salinity, steppe, soil, half- life time.

### INTRODUCTION

The salinity is the one of soil degradation processes in arid and semi arid regions, it affects 5% of cultivated soil in the world [1] and about 3.2 million hectares are affected by this phenomenon in Algeria [2]. An important number of scientific studies have been devoted the salinity role on the physical and chemical soil propriety, on the contrary, it's effect on the microbial biomass is relatively low. The microbial biomass is defined as the fraction of the living organic matter in the soil, forming between 2-4% in term of soil total organic carbon [3], composed mostly by chimio-organotrophic organisms [4] distributed in the form of micro-colonies within the soil aggregates [5]. Many studies have demonstrated the negative salinity effect on soils microbiological properties [6,7], it reduces the density and microbiological soil biodiversity [8,9,10], decreasing soil respiration rate and microbial biomass carbon [11]. Other studies [12] showed that in the presence of high salts concentrations, numerous physiological processes are significantly affected, which are fundamental for the survival and maintenance of microbial biodiversity; for others [13] the high salinity levels slows the growth of many soil bacteria, disrupt the division and cell differentiation [14], inhibit the synthesis of enzymes, ribosome, proteins [15], reduce the nitrogenase activity and mycorrhizal infection [16], decrease bacterial colonization [17], disrupt the absorption of essential nutrients such as potassium and calcium, by substitution or competition through the membrane adsorption site [18]. At 5% of NaCl, fungal and bacterial populations decreased significantly [19] such as the microbial biomass carbon [11,20,21].

For resisting to the salt stress, soil microorganisms developing an osmoadaptation system based on the equilibrium between the cytoplasm osmotic pressure and the external environment. The adjustment of the intracellular osmotic pressure is realized by the accumulation of the electrolyte and carbonate compounds in the cytoplasm for controlling the internal water activities, maintaining proper cell volume and protecting the structure and activity of biological macromolecules (enzymes, proteins, nucleic acids ...) against the salinity negative effects [22,23,24].

The accumulation of electrolyte is realized by the increase selective membrane permeability of some ion like K and Ca level in the cytoplasm contents compared to the Na [25], other microorganisms activate the synthesis and accumulation of various organic solutes, such as sugars [26,27], glycerol [28,29] and some amino acids (glutamate, proline, glycine) [30,31,32].

This study aims to quantifying the salinity effect on microbial biomass behaviour under natural and controlled conditions.

### MATERIALS AND METHODS

The influence of salinity on the microbial biomass behaviour was studied in two aspects (in natural and under controlled conditions).

In natural conditions, the study was conducted in Sebkhia of Naama region located in the West of Algerian steppe; it is a closed saline depression, with the average annual rainfall not exceeding 200 mm, and the ETP exceeds 800 mm per year, the minimum temperature can reach -1°C while the maximum temperature exceeds 35°C.

The soil samples were collected from the top horizon during the month of January; the sampling was conducted on along transect with increasing salinity (from the Sebkhia periphery to the high saline soil of the depression).

The physical and chemical properties of the soil were determined by standard methods: soil texture by the international Robinson pipette method, acidity by potentiometric method, the soluble salts are extracted and analysed from the saturated paste, the cation exchange capacity (CEC) quantified using the ammonium acetate, the total limestone by calcimeter Bernard method and the organic carbon content was determined using the Anne method.

The microbial biomass carbon was estimated by the fumigation extraction method, 25g of soil samples are fumigated by chloroform vapour for 24 hours at 25°C.

The samples were extracted with 0.5M of K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with a soil/solution ratio (1/5) by shaking for 1 hour at 200r/min; the carbon is determined by K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; the unfumigated soils samples were extracted similarly at the start of experiment.

The microbial extractable carbon (E.C.) is equals the extra carbon extracted in the fumigated samples compared to the untreated control samples with chloroform.

Many studies [33] have confirmed that, regardless the type of soil, the extractable carbon is substantially constant proportion of the microbial biomass.

The microbial biomass carbon is calculated by the following formula:

$$C_{\text{biomass}} = 2.64(C_{\text{fumigated}} - C_{\text{unfumigated}})$$

All values in this study are the average of three repetitions.

## RESULTS AND DISCUSSION

### 1. In natural condition

The variation of the microbial biomass carbon is given in **Table n°1**. The pH and SAR shows a low variation in this study area; then, its interaction influence on the microbial biomass behaviour are mostly careless; therefore dynamics of this live fraction depends largely on the salinity effect.

**Table n°1:** Physicochemical characteristics of soils

	Soil texture (%)			CaCO <sub>3</sub>	pH	CE	CEC	Soil solution (mmol/l)				C <sub>org</sub>	C <sub>bio</sub>	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>
	Sand	Silt	Clay	Total (%)	1/2,5	dS/m	mmol/100g	Ca	Mg	Na	SAR	(%)	mg/kg	(%)
1	45.00	28.00	27.00	5.00	7.96	2.00	13.25	2.00	0.50	16.00	10.12	0.68	117.00	1.72
2	45.00	27.00	28.00	5.25	8.26	4.96	12.75	2.20	0.60	17.00	10.16	0.60	84.00	1.40
3	40.00	29.00	31.00	5.20	8.25	5.22	12.25	2.50	0.62	18.00	10.19	0.66	80.00	1.21
4	46.00	28.00	26.00	6.50	8.35	6.46	13.00	2.70	0.60	19.00	10.46	0.58	69.00	1.18
5	41.00	29.00	30.00	7.50	8.20	7.12	12.50	2.60	0.62	19.00	10.59	0.55	65.00	1.18
6	54.00	24.00	22.00	6.75	8.19	7.44	12.70	2.90	0.70	22.00	11.60	0.54	62.00	1.14
7	49.00	26.00	25.00	7.50	8.19	12.00	12.00	2.80	0.80	21.00	11.07	0.49	48.00	0.97
8	43.00	28.00	29.00	9.00	8.20	18.00	11.75	5.60	1.70	28.00	10.36	0.48	27.00	0.67
9	48.00	25.00	27.00	11.25	8.40	24.00	11.50	6.40	2.50	27.00	9.05	0.46	22.00	0.47

C<sub>org</sub>: total soil organic carbon- C<sub>bio</sub>: microbial biomass carbon- CEC: cation exchange capacity- CE: electrical conductivity- SAR: sodium adsorption ratio Na/(Ca+Mg)<sup>1/2</sup>

The salinity increases from the periphery to the high saline soil, but the carbon (in its two forms: organic and microbial biomass) decreases in this sense, this is attributed to the adverse conditions created by salinity and high recalcitrant carbon produced by input carbon of halophyte vegetation. The organic carbon ranges from 0.68% for unsalted soil to 0.46% for high saline soil, and the microbial biomass carbon ranges from 117 mg/kg for unsalted soil to 22 mg/kg for high saline soil; in term of soil total organic carbon, this fraction varies from 1.72% for unsalted soil to 0.47% for high saline soil; these values are below than that suggested by other references [34,35]. From the Sebkhya periphery to the high saline soil, the reduction rates reached 80%, 72% and 28% respectively for the microbial biomass carbon, the report C<sub>bio</sub>/C<sub>org</sub> and soil total organic carbon, which however marks a small decrease compared to other biological parameters (microbial biomass carbon and C<sub>bio</sub>/C<sub>org</sub>) (**table n°2**).

**Table n°2:** Salinity effect on the decreasing biological parameters

Parameters	Linear equation	r <sup>2</sup>
Microbial biomass carbon (C <sub>bio</sub> )	-3.807 CE+100.6	0.84
C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>	-0.05 CE+1.588	0.91
Soil organic carbon	-0.009 CE+ 0.651	0.74

Same remarks were funded by other studies [36] in which have showed that when CE excess 16dS/m, the reduction of microbial biomass carbon is brutal.

The salinity effect on the microbial biomass behaviour is given in **figure n°1**.

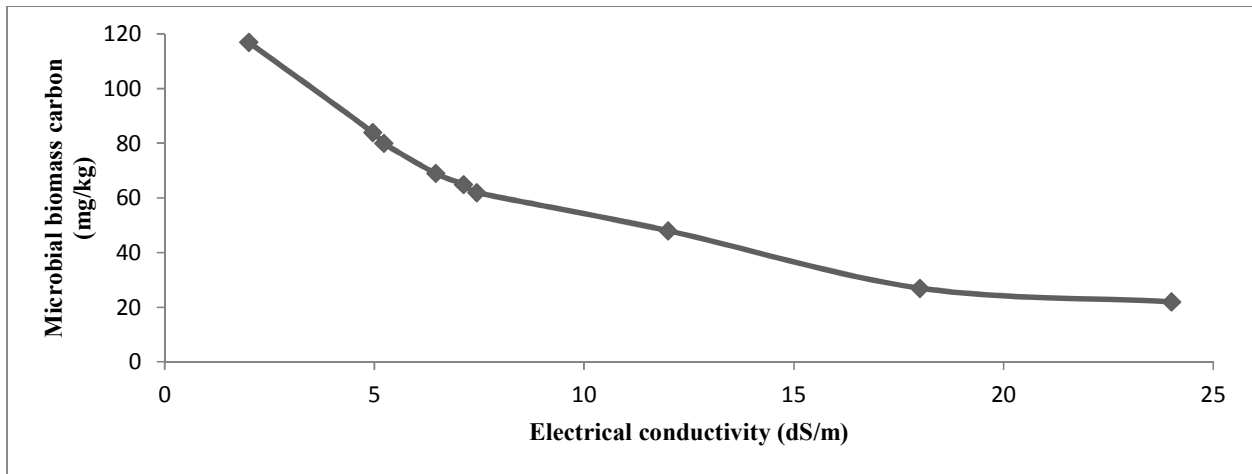


Figure n°1: Salinity effect on the microbial biomass

The curve shows the adverse effect of salinity on the soil microbial biomass carbon content, this reduction takes an asymptotic form when the salinity excess 15dS/m. It's a minimum level of microbial biomass that can host soil when habitat conditions became unfavourable; this fraction lives in dormancy and is undemanding in growth factors [35].

Under arid conditions and when the electrical conductivity is less than 5dS/m, the estimation of this dormancy fraction by different adjustment equations gives an average value of 120 mg/kg, forming 1 to 2% in a terms of soil organic carbon [10]; however, in this degraded soil by an excess salinity (EC exceeds 12dS/m), these parameters are lower ( $C_{bio}$  does not exceed 50 mg/kg and the report  $C_{bio}/C_{org}$  is less than 1%) (table n°1). These values are under then found in other studies [34] in which they have fixed the thresholds values of organic carbon and microbial biomass carbon in degraded saline soil respectively at 0.6% and 100mg/kg.

2. In controlled condition

The salinity tolerance of soil microbial biomass is estimated from incubation the unsalted soil samples under an increasing stress salinity. The physicochemical characteristics of the incubated sample are given in table n°3.

Table n°3: Physicochemical characteristics of the incubated soil

Soil texture (%)			CaCO <sub>3</sub>	pH	CE	CEC	Soil solution (mmol/l)				C <sub>org</sub>	C <sub>bio</sub>	C <sub>bio</sub> /C <sub>org</sub>
Sand	Silt	Clay	Total (%)	1/2,5	dS/m	mmol/100g	Ca	Mg	Na	SAR	(%)	mg/kg	(%)
45.00	28.00	27.00	5.00	7.96	2.00	13.25	2.00	0.50	16.00	10.12	0.68	117.00	1.72

The experimental protocol consists to subjecting the sample to an increasing salt stress under controlled conditions (80% of retention capacity moisture and a temperature of 28°C). Salt stress is prepared from a mixture of NaCl and CaCl<sub>2</sub> solution with a fixed pH to 8 and SAR to 10. The incubation lasted 12 weeks, the sampling dates are fixed after 0,1,1,1,2,2,3 and 2 weeks or 12 weeks in terms of cumulative time, the carbon assessment of microbial biomass carbon was estimated by fumigation extraction method.

The effect of salinity stress on soil microbial biomass evolution during the incubation time, is given in figure n°2.

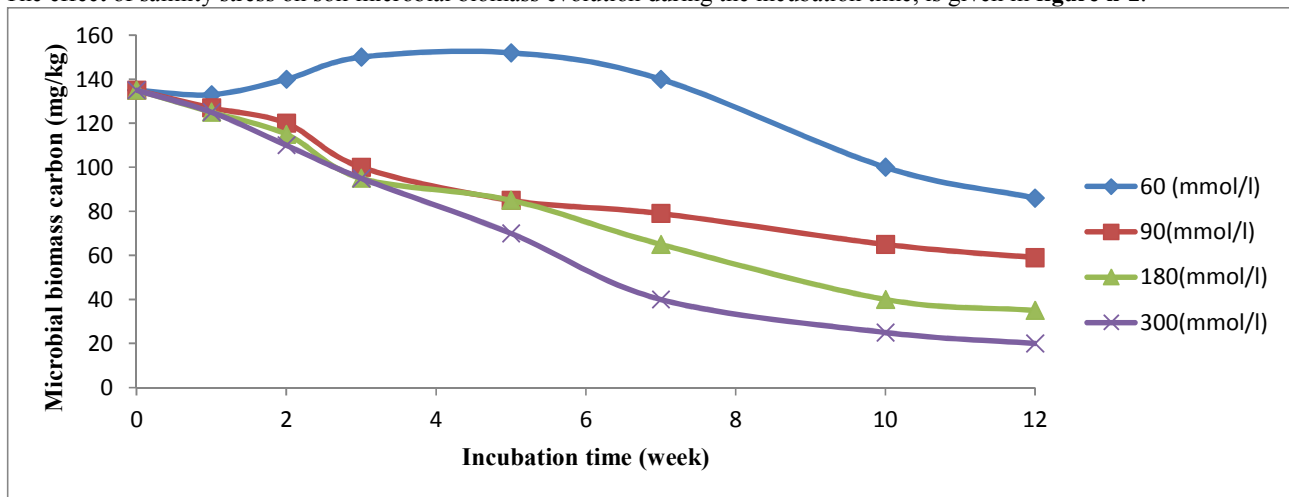


Figure n°2: Microbial biomass carbon evolution during the incubation time

Except for the sample subjected by the concentration of 60mmol/l, the other curves demonstrate a decrease in level of microbial biomass carbon, this reduction is much more pronounced when the salt concentration exceeds 90mmol/l.

When the salt concentration is less than 60mmol/l, the microbial biomass marks a relatively regular behaviour, where we registered the usual four phases of microbial evolution (lag phase, growth phase, stationary phase and death phase), this is consistent with some studies, which have shown that the microorganisms of non saline soils are more tolerant to the brutal change in salinity than the microorganisms of saline soils [18,37,38] and also, the high role of Na on the aggregate dispersion and solubilisation of organic matter, making it more accessible to the microbiological activity; the same observations were showed by other authors [39,40]. On contrary, the effect of increasing salinity stress disturbs the usual microbial evolution, causing the soil microbial biomass reduction from the fellow of experimental phase, dominated by a high mortality rate, this reduction is not only due to reduces of the substrate but also to the microbial biomass characteristics that cannot tolerate this increased salinity concentration, which means that this microbial biomass is not very halo tolerant. Despite the adjustment mechanism of the intracellular osmotic pressure by a vacuole accumulation of organic or mineral solute, the mortality rates increase with increasing salinity to reach 85% for the sample of 300mmol/l. This rate is consistent with that found by Karem and al. (2016) [41] who observed a sharp reduction in microbial biomass carbon when the EC exceeds 16dS/m.

The adjustment of the experimental data to a single compartment model which describes the mineralization kinetics of the microbial biomass carbon as the result of degradation of one compartment  $B_m$  following a 1 order kinetics mineralization; this model write as following formula:  $C_{bio} = B_m \cdot e^{-kt}$ .

$C_{bio}$ : microbial biomass carbon remaining after time  $t$  (mg/kg)

$B_m$ : microbial biomass carbon potentially mineralizable (mg/kg)

$K$ : mineralization speed constant ( $\text{week}^{-1}$ )

$T$ : incubation time (week)

The kinetic parameters of this model are shown in **table n°4**.

**Table n°4:** Kinetic parameters of the model ( $p=0.05$ )

Sample	$r^2$	$B_m$ (mg/Kg)	$K$ ( $\text{week}^{-1}$ )	$\text{Ln}2/K$ (week)
60 (mmol/l)	0.57	152.90	0.03	23.00
90 (mmol/l)	0.87	131.40	0.07	9.85
180 (mmol/l)	0.98	141.00	0.11	6.27
300 (mmol/l)	0.98	148.20	0.17	4.05

Except for the first testing, which the experimental data are dispersed a wing to the resumption of the microbial biomass activity, the applied model give a satisfactory results for estimating the kinetics parameters. Therefore, the half-life time ranges from 9.85 weeks in middling saline sample to 4.05 weeks in high saline sample (300mml/l), the mineralization rate increase with increasing salinity, which passes from 0.07  $\text{week}^{-1}$  in middling saline sample to 0.17  $\text{week}^{-1}$  in high saline sample. These values are highest than showed by others studies [42,43,44,45]; that confirms the biological resources of this saline ecosystem trends to irreversible degradation.

## CONCLUSION

This study has demonstrated the negative influence of salinity on soil microbial biomass behaviour. Under high salinity, the microbial biomass carbon constitutes less 1% in terms of soil organic carbon which shows a high sensibility with the salinity variation compared to others soil parameters, this parameter may be a threshold value, used like a potential biomarker of the degraded soil by salinity. In this ecosystem the limit value of salinity tolerance is around to 90mmol/l, these value can used like critical salinity concentration for improvement the degraded saline soils; above this level, the microbial biomass shows a strong decrease and take the minimum values; this fraction is undemanding in growth factors and lives in dormancy inside of soil aggregate with a low residence time in soil.

## REFERENCES

1. Hamdy A. 1999. Saline irrigation and management for a sustainable use. *In*: advanced short course on saline irrigation proceeding. Agadir. 152-227.
2. Gacem F. 2012. Salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina-Relizane-Algérie. INRA 56p.
3. Jenkinson D.S. and J.N. Lad 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. *In*: Soil Biochemistry. (Eds.): E.A. Paul and J.N. Ladd, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, 415-471.
4. Ellis S. and A. Mellor 1995. Soils and environment. Routledge, London-New York. 1-25.
5. Foster R.C., A.D. Rovira and T.W. Cok 1983. Ultrastructure of the root-soil interface. The American Phytopathological Society St Paul. M.N. 210p.
6. Mallouhi N. et F. Jacquin 1984. Essai de corrélation entre les propriétés biochimiques d'un sol salsodique et sa biomasse. *Soil Biol Biochem.* 17(2):23-27.

7. Dellal A. et A. Halitim 1992. Activités microbiologiques en conditions salines : Cas de quelques sols salés de Relizane (Algérie). Cahiers d'Agricultures (1992);1:335-340.
8. Siddikee M.d., A. Sherlyn, C. Tipayno, Kiyoon Kim , Jongbae Chung and Tongmin Sa 2010. Influence of Varying Degree of Salinity-Sodicity Stress on Enzyme Activities and Bacterial Populations of Coastal Soils of Yellow Sea, South Korea J. Microbiol. Biotechnol. 21(4), 341–346.
9. Moradi A., A. Tahmourespour, M. Hoodaji and F. Khorsandi 2011. Effect of salinity on free living-diazotroph and total bacterial populations of two saline soils. Afr. J. Microbiol. Res. 05(2): 144-148.
10. Bourahla L., A. Dellal and Y. Boukhari 2015. Microbial biomass behaviour in Algerian steppe soils. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7(11):41-47. .
11. Pathak H. and D.L.N. Rao 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biol. Biochem. 30: 695–702.
12. Sheng Q., L.Jie, C. Hua-Hong, Z. Guo-Zhen, Z. Wen-Yong, J. Cheng-Lin, X. LiHua and I. Wen-Jun 2013. Isolation, diversity and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna, China. Appl. Environ. Microbiol. 75 (19): 6176-6186.
13. Polonenko D. R., C. I. Mayfield and E. B. Dumbroff 1986. Microbial responses to salt-induced osmotic stress. Effect of salinity on growth and displacement of soil bacteria. Plant Soil. 92: 417-425.
14. Hussein K., M. Hussein K. Nawaz A. Majeed and K. H. Bhatti 2011. Morphological response of chaksu (*Cassia absus* L.) to different concentrations of indole acetic acid (IAA). 43 (3): 1491-1493.
15. Nug Y.K., M. P. Hodson, A.K. Hewavitharana, U. Bose, P. N. Shaw and J. A. Fuerst 2014. Effect of salinity on antibiotic production in sponge-derived *Salinispora* actinobacteria. J. Appl. Microbiol.
16. Nelson D. R. and P. M. Mele 2007. Subtle changes in rhizosphere microbial community structure in response to increased boron and sodium chloride concentrations. Soil. Biol. Biochem. 39: 340-351.
17. Singleton P. W., S. A. Swaify and B. B. Bohlool 1982. Effect of salinity on *Rhizobium* growth and survival. Appl. Environ. Microbiol. 44 (4): 884-890.
18. Nan Y. and P. Marschner 2013. Microbial activity and biomass recover rapidly after leaching of saline soils Biol Fertil Soils 49:367–371
19. Omar S. A., M. A. Abdel-Sater and M. H. Abd-Alla 1994. Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. Folia Microbiologica. 39: 23-28.
20. Yuan Bing-Cheng, Zi-Zhen Li, Hua Liu, Meng Gao and Yan-Yu Zhang 2007. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. Applied Soil Ecology 35:319-328.
21. Dilfuza E., G. Renella, S. Wirth and R. Islam 2010. Secondary salinity effects on soil microbial biomass Biol Fertil Soils (2010) 46:445–449.
22. Malin G. and A. Lapidot 1996. Induction of synthesis of tetrahydropyrimidine derivatives in *Streptomyces* strains and their effect on *Escherichia coli* in response to osmotic and heat stress. J. Bacteriol. 178: 385-395.
23. Da Costa M. S., H. Santos and E. A. Galinski 1998. An overview of the role and diversity of compatible solutes in bacteria and archaea. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. 61: 117-149.
24. Lamosa P., L. O. Martins M. S. da Costa and H. Santos 1998. Effects of temperature, salinity, and medium composition on compatible solute accumulation by *Thermococcus* spp. Appl. Environ. Microbiol. 64 (10): 3591-3598.
25. Karen B. and P. Marchner 2013. Effect of salinity on microbial tolerance to drying and rewetting. Biogeochemistry 112:71-80.
26. Miller E. N. and L. O. Ingram 2007. Combined effect of betaine and trehalose on osmotic tolerance of *Escherichia coli* in mineral salts medium. Biotechnol. Lett. 29: 213-217.
27. Iturriaga G., R. Suárez and B. Nova-Franco 2009. Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling. Int. J. Mol. Sci. 10: 3793-3810.
28. Xu, X. M. Abo, A. Okubo and S. Yamazaki 1998. Trehalose as osmoprotectant in *Rhodobacter sphaeroides* f. sp. *denitrificans* IL 106. Int. Biblio. Inf. Diet. Suppl. 62: 334- 337.
29. Trotsenko, Y. A. and V. N. Khmelenina 2002. Biology of extremophilic and extremotolerant methanotrophs. Arch. Microbiol. 177: 123-131.
30. Gouffi K., T. Bernard and C. Blanco 2000. Osmoprotection by pipercolic acid in *Sinorhizobium meliloti* : specific effects of D and L isomers. Appl. Environ. Microbiol. 66: 2358-2364.

31. Saum S. H. and V. Müller 2007. Salinity-dependant switching of osmolyte strategies in a moderately halophilic bacterium: Glutamate induces proline biosynthesis in *Halobacillus halophilus*. *J. Bacteriol.* 189 (19): 6968-6975.
32. Ouiza D.Z., M. Belkhdja, S. Bissati et S. Hadjadj 2010. Effet du stress salin sur l'accumulation de proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *Euro. J. Sic. Res.* 41 : 249-260.
33. Vance E.D., P.C Brookes and D.S. Jenkenson 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703-707.
34. Sparling G.P. 1992. Ration of microbial biomass to soil organic carbon as a sensitive indicators of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.* 30, 195-207.
35. Nicolardot B., R. Chaussod et G. Catroux 2010. Revue des principales méthodes disponibles pour mesurer la biomasse microbienne et ses activités. *Association Française pour l'Etude du Sol* (2010); 253-261.
36. Tripathi S.; S. Kumari; A. Chakraborty; A. Gupta; K. Chakrabarti; and B.K. Bandy 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biol. Fertil Soil* 42, 273-277.
37. Rousk J., F.K. Elyaagubi, D.L. Jones and D.L. Godbold 2011. Bacterial salt tolerance is unrelated to soil salinity across an arid agroecosystem salinity gradient. *Soil Biol Biochem* 43:1881–1887
38. Asghar H.N., R. Setia and P. Marschner 2012. Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity. *Soil Biol Biochem* 47:175–178.
39. Gallali T. (1980) : Transfert sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Thèse de Doctorat es Sciences. Université de Nancy I, 202p.
40. Mavi M.S., P. Marschner, D.J. Chittleborough and J.W. Cox 2010. Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in the soils are affected by salinity and sodicity. *World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.* 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- 41-Kareem U Hassan , Wisam M Abd and Firas W Ahmed 2016. Study of Microbial Biomass activity in Saline Soils. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* January – February 2016 RJPBCS 7(1):390-395
42. Nicolardot B. et R. Chaussod 1986. Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. 3-Approche cinétique et estimation simplifiée de l'azote facilement minéralisable. *Rev. Ecol. Biol. Sol*; 23(3) : 233-247.
43. Chaussod R., M. Zuvia, M.C. Breuil et J.M. Hetier 1992. Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol Vénézuélien des Lianos sous différents systèmes de cultures. *Cah. Orstom sér. Pédol.* vol. XXVII, n 1, 59-67.
44. Nicolardot B. 1994. Evolution du niveau de la biomasse microbienne du sol au cours d'une incubation de longue durée : Relation avec la minéralisation du carbone et de l'azote organique. *Rev. Ecol. Biol. Sol*; 25(3) : 287-304.
45. Oulbachir K., A. Dellal, A. Bekki 2009. Les variations de la biomasse microbienne étudiée sous des conditions environnementales différentes dans quatre sols superposés séparés deux à deux par une croûte calcaire. *European Journal of Scientific Research* Vol.36, 407-417.