UNIVERSITE DE KASDI MERBAH –OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Biologie

Spécialité : Sciences de l'environnement

THEME

Etude des croûtes biologiques des sols des zones arides (cas De la région d'Ouargla et la région de El'Oued)

Présenté et soutenu publiquement par :

Melle KABOUL Abir

Le 01/06/2016

Devant le jury :

M. HAMDI-AÏSSA B.	*Pr*	*Université d'Ouargla*	Président
Melle OUSTANI M.	*MAA*	*Université d'Ouargla*	Promotrice
M.MEHDA S.	*MAB*	*Université d'El-Oued*	Co-promoteur
M. AZIB S.	*MAA*	*Université d'Ouargla*	Examinateur

Année universitaire : 2015/2016

Dédicace

*A Mes chers parents (**Fatma & Elhachemi**)*

Sans vous, je ne serais pas ce que je suis et que toute ma réussite dans

La vie et dans mes études dépendra de ce que vous m'avez donné

Acceptez ce travail comme un témoignage de ma profonde Sympathie.

Que Dieu vous accorde la santé et la vie.

A Mes chère frangines

Amel, ibtissem, Radja, chahrazed** et Son petit :**rayan

A mes chers frangins

***Rafik, Adil, Issam, et yahia**. Que Dieu puisse me permettre de vous récompenser.*

*A tous la famille **Kaboul***

A Mr Hamdi-aissa Baelhaj

*A tous mes amis parmi lesquels j'ai plaisir à citer : **Nabil, Sara, Samah, ,wissam**…..*

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail

Abir

Remerciements

Je remercie tout d'abord le bon Dieu qui m'a donné le courage et la Patience pour terminer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer en premier, ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à M.HAMDI-AISSA Baelhadj, Professeur à l'université de Ouargla pour ses conseils, son aide et sa disponibilité qui ont permis à la concrétisation de ce travail et qui ma fait l'honneur de présidé ce jury.

Je tiens également à remercier ma Promotrice Melle OUASTANI Mebrouka Maitre-assistante à l'université d'Ouargla qui accepter de m'encadrer et de dirige ce travail.

Amon Co-promoteur Mr. MEHDA Smail Maitre-assistant à l'université d'El-Oued pour sa contribution concrète son aide et ses conseils afin de terminer ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Mr. AZIB Salim Maitre-assistant à l'université d'Ouargla pour avoir accepté d'examiner ce Modest travail.

Nos remerciements vont également à Melle HASSAINE Amina, Mme YOUCEF Fouzia, Melle MANAMANI, Melle BOUDERHAME Amel, Melle SWID Wafa, M. KARABI et M.BENSASSI pour leurs aides, qu'ils nous ont apportées.

Mes sincères remerciements vont aux personnels et aux chercheurs du laboratoire de Biogéochimie des milieux désertiques, à leur tète Monsieur le Pr. Hadj-Mahammed Mahfoud pour l'accueil et l'ai analytique.

Mes sincères remerciements vont à toute l'équipe du service du laboratoire de pédologie et microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie, pour leur précieuse aide.

Mes sincères remerciements vont également au laboratoire de micromorphologie du sol de l'UMR ECOSYS, INRA-Algo Paris Tech (centre de Versailles-Grignon, France), pour leur *collaboration et fabrication de lames minces de sols.*

Enfin, un grand merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
Tableau I	Superficies des zones arides d'Algérie en 10^3 Km^2	6
Tableau II	Les différents types des croûtes biologiques	16
Tableau III	Données climatiques de la région d'Ouargla (2004-2014)	25
Tableau IV	Données climatiques de la région d'Oued (2004-2014)	25
Tableau V	Conditions de culture des différents groupes de microorganismes étudiés.	37
Tableau VI	Caractéristiques physico-chimiques des trois sols étudiés	44
Tableau VII	Résultats du dénombrement des microorganismes telluriques.	49

Liste des figures

N°	Figure	Page
01	Etages bioclimatiques	5
02	Carte mondiale des zones arides	12
03	Les différents types de croûtes biologiques	17
04	La niche microbienne dans les zones arides	18
05	Localisation géographique des régions d'étude	24
06	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région de Ouargla (2004-2014)	27
07	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région de l'Oued (2004-2014)	28
08	Etage bioclimatique d'Ouargla et la région de El 'Oued selon le Climagramme D'EMBERGER (2004- 2014)	29
09	Localisation des stations d'étude	31
10	Préparation des suspensions dilutions du sol	36
11	Variation de la densité de la microflore bactérienne dans les sols des trois stations d'étude	50
12	Variation de la densité de la microflore fongique dans les sols des trois stations d'étude	53
13	Variation de la densité des actinomycètes dans les sols des stations d'étude	57
14	Variation de la densité de la microflore algale dans les sols destrois stations d'étude	59
15	Valeurs de $N_{microbien}$ au niveau des trois stations d'étude	64
16	Valeurs du $C_{microbien}$ au niveau des trois stations d'étude	64
17	Substances organiques d'une croûte biologique endolithique de l'horizon gypseux	65
18	Traits organiques d'une croûte biologique épilithique de l'horizon gypso-calcaire	66

19	Interface substances organiques cristaux lenticulaire de gypse dans une croûte biologique endolithique de l'horizon gypseux (Station 03 : M'rara)	66

Liste des Photos

N°	Photo	Page
01	Etat de surface de la station 01	41
02	Etat de surface de la station 02	42
03	Etat de surface de la station 03	43
04	Aspects macroscopiques des colonies bactériennes	52
05	Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques des bactéries après coloration de gram (G × 100)	52
06	Aspects macroscopique des champignons	55
07	Microphotographies (observées au microscope optique) des Champignons	56
08	Microphotographies (observées au microscope optique) des actinomycètes	58
09	Quelques aspects macroscopiquesdes algues du genre Chlorella	61
10	Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques de la microflore algale (Genre Chlorella (G×100)	62

Liste des abréviations

C/N : Carbone/Azote total

CE : Conductivité électrique

FAO : Food and Agriculture Organisation

GN : Gélose nutritive

ITA: Institut d'Agronomie technologique

MO : Matière Organique

PDA: Potato Dextrose Agar

UFC. g.s.s $^{-1}$: Unité Formant Colonie par gramme de sol sec

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des abréviations

Dédicace

REMERCIEMENTS

Introduction générale 1

Synthèse Bibliographique .....

Les zones arides 3

1. Notion de l'aridité 3

2. Répartition des zones arides 4

2.1. DANS LE MONDE 4

2.2. DANS L'ALGERIE 5

3. Les sols des zones arides 6

8

3.1.1.Les sols sans accumulations de sels *8*

3.1.2.Les sols calcaires *8*

3.1.3.Les sols gypseux *8*

3.1.4.Les sols gypseux calcaires *8*

3.1.5.Les sols salés *9*

4 .Caractéristiques physique, physicochimique et microbiologique des sols dans les régions arides 9

Les croûtes biologiques 10

1. Définition 10

2. Processus de formation des croûtes biologiques 11

3. Répartition des croûtes biologiques 11

4. Caractéristiques et classification des grands groupes de micro-organismes composant les croûtes biologiques 12

4.1. LES BACTERIES 12

4.2. ACTINOMYCETES 13

4.3. ALGUES 13

4.4. CHAMPIGNONS 14

4.5. LICHENS 14

4.6. BRYOPHYTES 15

5. Les différents types des croûtes biologiques 15

5.1.SELON LA MORPHOLOGIE 16

CROUTES RUGUEUSE 16

5.2. SELON L'EMPLACEMENT DES ORGANISMES 17
5.2.1. Les croûtes Hypolithiqes *17*
5.2.2. Les croûtes Épilithiques *18*
5.2.3.Les croûtes Endolithiques *18*
FIGURE 05 : LA NICHE MICROBIENNE DANS LES PAYSAGES ARIDES **(*POINTING ET AL.*, 2012)** 18

6.Influence des facteurs écologiques sur les microorganismes des croûtes biologiques 19

6.1.INFLUENCE DU SOL 19
6.1.1.La texture *19*
6.1.2.La composition chimique *19*
6.2.INFLUENCE DU CLIMAT 19
6.2.1.Les précipitations *19*
6.2.2.La température *19*
6.3.LA SAISON 20
6.4.INFLUENCE DE LA VEGETATION 20

7. Fonctions écologiques des croûtes biologiques 20

7.1. FIXATION DE L'AZOTE 21
7.2. FIXATION DU CARBONE 21
7.3. PROTECTION DU SOL CONTRE L'EROSION 21
7.4. AMELIORATION DE LA FERTILITE ET STABILISATION DE LA STRUCTURE DES SOLS 22
7.5.ÉTABLISSEMENT DES PLANTES VASCULAIRES 22

Matériel Et Méthodes 23

Présentation de la région d'étude 23

1. Situation géographiques 23

1.1. REGION D'OUARGLA 23
1.2. LA REGION D'EL OUED 23

2. Données climatiques des régions d'étude 26

2.1. CLIMAT 26
2.2. TEMPERATURES 26
2.3. PRECIPITATIONS 26
2.4. VENT 27
2.5. HUMIDITE DE L'AIR 27

3. Synthèse climatique 27

3.1. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN 27
3.2. CLIMAGRAMME D'EMBERGER 28

Méthodologie de travail 30

1. Choix des stations 30

2. Echantillonnage 32

2.1. PRELEVEMENTS POUR LES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES 32
2.2. PRELEVEMENT POUR LES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES 32
2.2.1. Profondeur de prélèvement *32*
2.2.2.Conservation des échantillons *32*

3. Méthodes et techniques utilisées 33

3.1. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES 33
3.1.1. Humidité *33*
3.1.2.Granulométrie *33*
1.1.3. Calcaire total *33*
1.1.4. Conductivité électrique (CE) *34*
1.1.5. pH *34*
1.1.6. Dosage de carbone organique (C) *34*
3.1.7. Matière organique *34*
3.1.8.Dosage de l'azote total *34*
3.1.9.Dosage de gypse *35*
3.2. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES 35
3.2.1.Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore telluriques *35*
3.2.1.1.Préparation des suspensions dilutions *36*
3.2.1.2. Ensemencement *37*
3.2.1.3. Incubation *37*
3.2.1.4. Lecture des résultats et dénombrement *38*
3.2.1.5. Préparation microscopique *38*
3.2.1.6. Identification *38*
3.2.2. DETERMINATION DE LA BIOMASSE MICROBIENNE PAR LA METHODE DE FUMIGATION-EXTRACTION 39

4 .Fabrication des lames minces de sol 40

1. Description des stations d'étude 41

2. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés 44

3. Résultats des analyses microbiologiques 47

3.1. RESULTATS DE DENOMBREMENT DE LA DENSITE MICROBIENNE DES SOLS DANS LES TROIS STATIONS ETUDIEES 47
3.1.1.Microflore bactérienne *49*
3.1.1.2. Aspects culturaux et micro-morphologiques **50**
3.1.2.Microflore fongique 52
3.1.3. Les ctinomycètes *56*
3.1.4.Microflore algale *57*

4. Détermination la biomasse microbienne ($C_{microbien}$ et $N_{microbien}$) dans les trois 61

5. Observation microscopique de quelques lames minces 64

CONCLUSION GENERALE 66

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Résumé

Introduction générale

Les zones arides sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie des microorganismes du sol **(BELNAP, 2005 ; KARABI et *al.*, 2015).** En fait, pendant longtemps, les sols désertiques ont été considérés comme étant complètement stériles suite aux conditions climatiques extrêmes qui entravent toute vie microbienne **(KILLIAN et FEHER, 1939).**

Les nombreuses recherches consacrées à la microbiologie de ces sols des régions arides prouvent l'existence d'une microflore abondante et diversifiée. **(SASSON, 1967 ; AMIR *et al*., 1985; MOSFAOUI *et al*., 1998)**

les sols des zones arides souvent dépourvues de végétation peuvent être colonisées par des micro-organismes et « microphytes» formant des croûtes superficielles, connues dans la littérature sous divers noms: croûtes microbiotiques (dénomination que nous utiliserons tout au long de ce rapport), croûtes biologiques du sol (Biological soil crusts : BSC) (**BELNAP *et* GARDNER 1993 ; WEST 1990**), croûtes cryptogamiques, cryptobiotiques, microflorales, microphytiques (**WEST 1990; BELNAP 2006**), biogéniques (**ORLOVSKY *et al.* 2004;NISHA *et al.*,2007)** et croûtes biologiques du désert (**GARCIA-PICHEL et BELNAP 1996; GARCIA-PICHEL *et al*., 2001**).

On y trouve les cyanobactéries initiales, les algues, les champignons, les mousses, les lichens, sont les premiers organismes qui colonisent le substrat. Ces cryptogames forment souvent des croûtes biologiques dans les premiers millimètres de la surface supérieure **(BELNAP *et* LANGE, 2001).**

Les croûtes biologiques existent sous toutes les latitudes ; les zones sahéliennes en Afrique, les déserts de l'ouest des Etats -unis (plateau de Colorado, grand bassin, désert de Sonora) et jusqu' à la toundra en arctique (**BELNAP *et al.*, 2001).**

Les premiers travaux scientifiques sur les croûtes biologiques ont débuté dans les années 1950. Aujourd'hui on trouve plus de 3000 publications à travers le monde sur les

croûtes biologiques. Tous ces travaux s'accordent sur l'influence majeure des croûtes biologiques dans le fonctionnement de nombreux écosystèmes terrestres (**BELNAP et LANGE, 2001).**

Ces croûtes biologiques assurent des nombreuses fonctions écologiques, sous la forme d'un réseau de filaments entrelacés, collant les particules du sol libres les unes aux autres. Ainsi ils forment une croûte cohérente qui stabilise et protège la surface de sol contre l'érosion hydrique et l'érosion éolienne, elles constituent une source importante de carbone et d'azote pour les sols dénudés de toute végétation, de leur vivant à travers la photosynthèse et la sécrétion des substances extracellulaires, et après leur mort par la décomposition de leurs tissus. **(BELNAP *et* LANGE, 2001 ; BELNAP, 2005).**

L'objectif général de la présente étude consiste à une contribution à l'évaluation de la biomasse microbienne et le dénombrement des micro-organismes associés aux croûtes biologiques des sols des milieux extrêmes tels que les sols arides.

Ce mémoire s'articule en trois parties

- **La première partie** présente une synthèse bibliographique qui regroupe deux chapitres, le premier présente des généralités sur les zones arides, le deuxième chapitre sur les croûtes biologiques.

- **La deuxième partie** est consacrée à l'étude expérimentale qui comporte deux chapitres, le premier est réservé à la présentation du contexte écologique de la région d'étude, le deuxième chapitre traite la méthodologie adoptée pour la réalisation des analyses physicochimiques et microbiologiques du sol.

- **La troisième partie** est réservée aux résultats et discussion.

  Enfin, les principaux résultats et les perspectives de ce travail sont présentés en conclusion générale.

Partie I

Synthèse Bibliographique

Chapitre I
Les zones arides

1. Notion de l'aridité

Malgré les nombreux travaux consacrés à l'aridité en particulier à sa définition et à sa quantification (**DE MARTONNE, 1926 ; TORNTHWAITE, 1948 ; EMBERGER, 1955 ; BAGNOULS et GAUSSEN, 1957 ; DUBIEF, 1963 ; VERNEMMEN, 1969 ; Le HOUEROU, 1975**), ce concept n'est pas encore bien connu. Il est difficile de définir un milieu aride, une telle définition tient compte des notions diverses relevant de la climatologie, de la morphologie et de la biologie (Surtout végétale) (**LE HOUEROU, 1995**).

L'aridité ne doit pas être confondue avec la sécheresse, concept météorologique à référence temporelle-phénomène conjoncturel (période, année sèche). L'aridité a de fortes implications hydrologiques et édaphiques dont elle est indissociable (**ROBERT, 1996 ; AGGOUSSINE, 2003**). Selon ce dernier, l'aridité ne peut être définie uniquement par de faibles précipitations moyennes annuelles, mais aussi par leur irrégularités dans l'espace et dans le temps et par une forte évapotranspiration. Les jours où il ne tombe que des gouttes ou des précipitations non mesurables (inférieur à 5 mm) peuvent être 3 à 4 fois plus nombreuses que les jours de précipitations mesurables, Ces jours sont d'autant plus nombreux que l'aridité est grande.

D'une façon générale, les zones sont caractérisées à la fois par son climat toujours peu pluvieux, et parfois très sec, et très irrégulier, et par sa végétation herbacée ou frutescente, rarement arborée

Selon **EMBERGER (1955)** et **LE HOUEROU (1975)**, la zone aride est subdivisée en trois domaines :

- Le domaine hyper aride dont la pluviométrie est inférieur à 100 mm.
- Le domaine aride proprement dit dont la pluviométrie est comprise entre 100 et 300-400 mm.
- Le domaine semi- aride dont la pluviométrie est compris entre 300- 400 mm et 600 mm.

Selon certains écologistes, le terme désert vrai devrait être réservé de façon exclusive aux zones à climat hyper aride **(RAMADE, 2003).**

Par ailleurs, l'aridité n'est pas due uniquement au climat, mais essentiellement à une action humaine (Le déboisement, l'incendie, le pâturage intensif, etc.) : La dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation des maximums des températures et celle du sol à pour effet de diminuer les capacités de stockage de l'eau : ce type de dégradation concluent **STEWART (68), DAGET (1977), POUGET (1980), FLORET et PONTANIER (1982),** conjuguent les effets pour renforcer l'aridité d'origine climatique.

2. Répartition des zones arides

2.1. Dans le monde

Selon **WRI (2002**), la classification de la zone aride prend en considération les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle / évapotranspiration potentielle moyenne annuelle. Selon ce rapport les zones arides sont divisées en :

- ✓ Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8 % des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.

- ✓ Zones arides, semi-arides et subhumides sèche et couvrent prés de 54 millions kilomètres carrés, se rencontres surtout dans continents, mais elles sont principalement concentrées en Asie et Afrique (Figure 01).

2.2. Dans l'Algérie

La classification bioclimatique d'Emberger et sauvage a été largement adoptée en régions méditerranéennes. Cinq étages du bioclimat méditerranéen ont été définis pour l'Algérie : le Saharien, Aride, Semi-aride, Sub- humide et Humide (Figure 02).

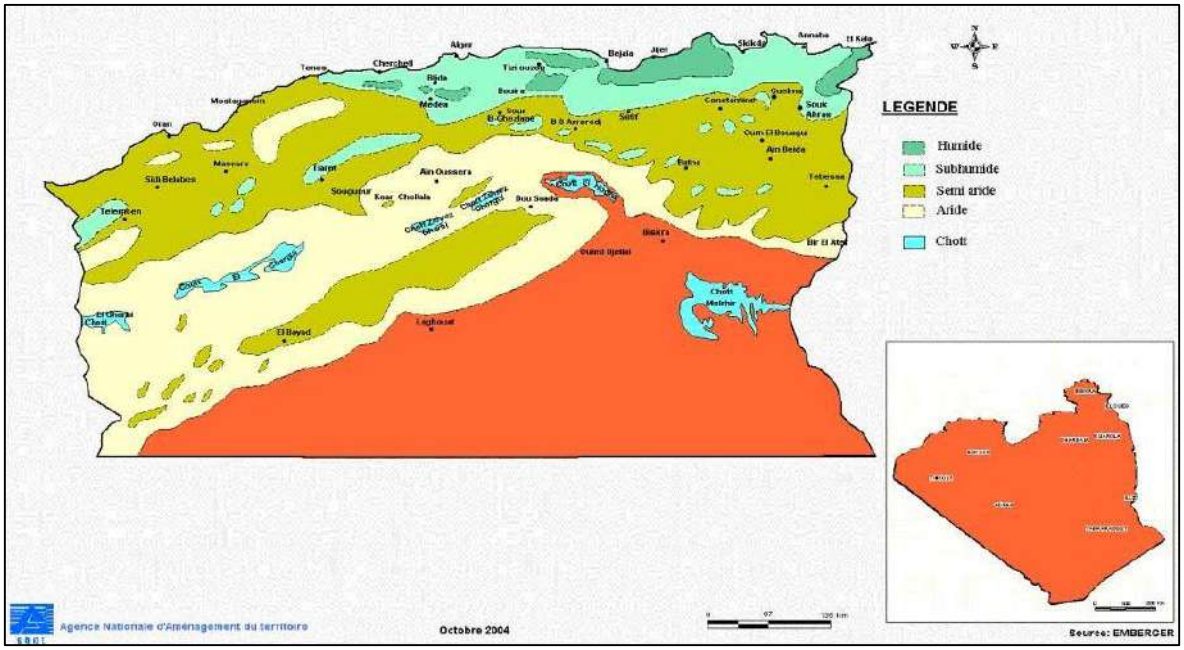


Figure 02 : Carte bioclimatique de l'Algérie **(Agence national d'aménagement du territoire ,2004)**

On distingue selon **NEDJRAOUI (2003)** :

- L'étage semi- aride : 300 - 600 mm.
- L'étage aride : 300 - 100 mm.
- L'étage saharien < 100 mm qui occupe 89,5% la superficie totale de l'Algérie.

Selon le **HOUEROU (1995**), la superficie des zones arides en Algérie est de 216000 Km^2, (Tableau 01).

Tableau I : Superficies des zones arides de l'Algérie en 10^3 Km^2 **(LE HOUEROU, 1995)**

Pluviosité moyenne	Superficies
Semi- aride a humide P> 400	181
Aride supérieur 400>P> 300	59
Aride moyenne 300>P> 200	70
Aride inferieur 200>P> 100	87
Zone aride total	216
Hyper aride supérieur	386

3. Les sols des zones arides

Dans les régions arides, les sols, d'une manière générale posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire **(AUBERT, 1960).**

On estime à l'heure actuelle qu'environ 40% des terres émergées de la planète sont arides, soit 5.2 milliards d'hectares, sur lesquelles vivent plus de 2 milliards de personnes. L'Afrique contient 37% de zones arides (**HALITIM, 2011).**

Les sols arides sont des sols typiquement superficiels, avec la roche mère très près de la surface, caractérisés par un pH basique et une voie de salinisation neutre**(AUBERT, 1960).**

La pédogenèse, en dehors des zones endoréiques est limitée à une désagrégation physique où les processus chimiques et biologiques n'interviennent que très peu. Cela se traduit par une couverture pédologique constituée de sols minéraux bruts ou peu évolués de faible fertilité : texture sableuse, pauvres en matière organique, sans structure construite, faible capacité de rétention en eau, faible réserve en éléments nutritifs et sujets à une forte érosion éolienne **(GRATZFELD, 2004).**

Dans les zones arides et semi-arides, la productivité des sols dépend de la capacité de rétention d'eau qui tend à augmenter avec la profondeur et le contenu organique du sol .La capacité de rétention d'eau des sols sableux est inférieure à celles des sols argileux. **(GRATZFELD, 2004).**

Dans ces régions les études pédologiques restent très limitées et les sols sont insuffisamment connus. Cependant les travaux cartographiques réalisés ont permis de montrer la grande extension des sols à encroûtement calcaire, gypseux et les sols salés. Cependant il apparaît que les sols de la zone aride d'Algérie sont diversifiés et se répartissent

Selon la classification française **(CPCS, 1967)** en 8 classes :

- Les sols minéraux bruts,
- Les sols peu évolués,
- Les sols à sesquioxydes de fer,
- Les sols isohumiques,
- Les vertisols,
- Les sols calcimagnésiens,
- Les sols salés,
- Les sols hydromorphes.

Mais cette diversité ne doit pas cacher leur caractère principal et quasi-général : le rôle que jouent les sels au sens large du terme (le calcaire, le gypse et les sels solubles).

3.1. En Algérie

L'Algérie est classée comme étant une zone semi- aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations. Selon **HALITIM (2011**), la zone aride couvre près de 95% du territoire national, dont 89,5% dont le domaine hyper aride (saharien) **(NEDJRAOUI, 2003)**.

Les sols du Sahara Algérien sont essentiellement des sols minéraux dans le sens où, en dehors des oasis, la fraction organique y est très faible voire nulle. Sur les topographies élevées, les sols sont rocailleux ou sableux (Hamadas, regs, ergs). Dans les dépressions, la texture peut être fine, mais les sols sont salés (Sebkha et Chotts).Ce sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux. **(ROBERT, 1996**).

Selon la classification de **HALITIM (1988)**, les principaux types de sols individualisés en fonction du niveau de sels dans les zones arides de l'Algérie, sont en nombre de cinq :

- Les sols sans accumulations de sels ;
- Les sols calcaires ;
- Les sols gypseux ;
- Les sols calcaires et gypseux
- Les sols salés

3.1.1. Les sols sans accumulations de sels

Les sols sans accumulation de sels sont classés comme sols peu évolués, ils occupent en partie certaines dayas : de texture moyenne (la teneur en calcaire est inférieur à 2% ou de texture plus grossière la teneur en calcaire est inférieur à 0.5%) ces sols couvrent moins de 1% de la surface cartographiée de la zones arides d'Algérie **(HALITIM, 1988)**.

3.1.2. Les sols calcaires

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le Nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires, ils s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm. Les taux en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones inférieures du pays (régions steppiques et hauts plateaux) **(DJILI, 2000)**.

3.1.3. Les sols gypseux

Les sols gypseux se localisent en régions arides et sahariennes où les précipitations annuelles ne dépassent pas 150 mm/an. Ils sont souvent rencontrés en zones steppiques autour des sebkhas et dans les oasis au Sahara, surtout au Nord (Oasis de Ziban, Oued-Souf, Oued-Righ). Dans ces régions les bassins sulfatés sont très fréquents, mais la genèse des sols gypseux est essentiellement due à l'activité des nappes et de l'intensité de l'évapotranspiration **(HALITIM et ROBERT, 1987).**

3.1.4. Les sols gypseux calcaires

L'encroûtement gypseux peut apparaitre soit au-dessus, soit au-dessous de la croûte calcaire. Ils s'observent généralement sur les glacis anciens et polygéniques, par exemple en bordure du Zahrez .Ils sont peu répandus (moins de 1% de la surface)

Les sols calcaire et gypseux ; Classe des sols calcimagnésiques ces sols n'existent pas dans la classification C.P.C.S.(1967).

3.1.5. Les sols salés

Selon le **HOUEROU (1995)**, les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale) dans l'Algérie. Ils sont localisés au Nord qu'au Sud. Ils s'expriment mieux entre les isohyètes 450mm semble être la limite supérieure des sols fortement sodiques (**DJILI, 2000).**

La salinisation des sols représente l'étape ultime et difficilement réversible de la dégradation des écosystèmes secs **(WEIL, 2002)**. Elle est liée à un excès d'évaporation par rapport aux précipitations ; lorsqu'el potentiel de rapport précipitation /évaporat est inférieure à 0.75 les risque sont élevés **(HOPKINS, 2003)**.

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation de sels dans les horizons de surface. Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel **(KEREN, 2000, LEVY, 2000 ; BRADY et WEIL, 2002, ESSINYTON, 2004).**

4 .Caractéristiques physique, physicochimique et microbiologique des sols dans les régions arides

Les zones arides sont caractérisées en général par une faible fertilité du sol . Ce sont des sols peu profonds, trop calcaires ou trop gypseux, salés, pauvres en colloïdes organiques et minéraux. Ils sont caractérisés par une faible stabilité structurale, une faible capacité de rétention et en éléments nutritifs, des pH basiques, une faible activité biologique et par une forte sensibilité à la dégradation **(HALITIM, 1988 ; DAOUD et HALITIM,1996 ; TESSIER et HALILAT, 2006 ; OUSTANI, 2006).**

Chapitre II
Les croûtes biologiques

1. Définition

La terre compte un grand nombre de régions froides ou arides où il est difficile pour les plantes de s'établir. Le sol y est pourtant colonisé par de discrets organismes qui le recouvrent par une croûte protectrice. Ces organismes stabilisent le sol, l'enrichissent en éléments nutritifs et en humus et déclenchent le processus de pédogenèse **(BELNAP, 2005)**.

La plus part des gens imaginent le désert comme un endroit dépourvue de vie, couverte par de pierres et du sable mais ce n'est pas vrai, les désert sont pleins de vie, bien que une grande partie n'est pas visible à l'œil nu. Malgré leur apparence stérile, roches et de sable sont souvent recouverts d'un mince film de microorganismes (en des proportions différentes) qui peuvent se produire à la surface ou à l'intérieur de la roche (endolithique) et sur ou juste en dessous du sable. Les microorganismes vivant juste sous la surface du sol sont collectivement connus comme la croûte biologique du sol **(BELNAP, 2003).**

Ils se produire dans presque toutes les régions chaudes et froides arides et semi-arides du monde, et peut constituer plus de la moitié la matière organique vivant **(GAO *et al.*, 2014).**

Ces croûtes biologiques (également appelées croûtes microbiotiques, croûtes cryptobiotiques, et des croûtes cryptogamiques) ont des caractéristiques communes des écosystèmes arides dans le monde entier et sont importants pour la stabilité des sols et les cycles des nutriments dans ces écosystèmes (**BOWKER *et al.*, 2002).**

Les croûtes biologiques sont formées par des organismes vivants et leurs sous-produits, ce qui crée une croûte de particules de sol reliés entre eux par des matières organiques (**ANGEL *et al* ., 2013).**

Les croûtes biologiques sont constituées d'organismes autotrophes ou hétérotrophes, intimement associés aux particules minérales du sol : principalement des Cyanobactéries accompagnées de Bactéries photosynthétiques ou non, Algues, Bryophytes (Mousses, Hépatiques), Champignons et Lichens **(SMITH et *al.*,2004 ;BÜDEL, 2005; BOWKER, 2005).** Malgré une littérature abondante, la typologie des croûtes biologiques n'est pas définitivement établie. Ceci est notamment dû au fait que l'aspect, la biomasse et les espèces microbiennes présentes varient considérablement en fonction du régime climatique et du type de sol (**BELNAP *et al*., 2001 ; BELNAP, 2006).**

2. Processus de formation des croûtes biologiques

Selon **BALESDENT *et al.* (2015)**, les zones initialement dépourvues de vie peuvent être colonisées par des micro-organismes pionniers véhiculés par le courant d'air, dés lors que ces micro-organismes peuvent adhérer aux surfaces minérales qui se présentent, ces milieux étant souvent dépourvus de matière organique. Les cyanobactéries possèdent des capacités fonctionnelles métaboliques originales photosynthétiques, elles accumulent à partir du CO_2 aérien quelques composés organiques. Elles en excrètent une fraction, en particulier des polysaccharides, qui leurs permettent d'adhérer aux surfaces minérales. Celles-ci libèrent ensuite d'autres éléments tels P, K, Mg, Ca et quelques oligoéléments indispensables à tout être vivants.

De plus, certaines espèces de cyanobactéries sont fixatrices d'azote. Grâce à cette double fonction de fixation et de transformation de carbone et d'azote minéral en composés organiques, elles représentent le point de départ de toute possibilité de végétation. Des algues vertes et d'autres bactéries hétérotrophes vont se joindre à elles.

L'ensemble de tous ces pionniers crée ainsi une couche organique vivante à la surface du sol, la première croûte biologique de surface. Puis des champignons filamenteux et des lichens s'implantent sur ces croûtes et assurent leur croissance.

3. Répartition des croûtes biologiques

Le domaine de répartition des croûtes biologiques à travers le monde est très étendu latitudinalement et longitudinalement. En effet, elles ont la capacité de résister aussi bien à des températures très élevées que très faibles, on les trouvent dans toutes les régions arides et semi-arides du monde, dans les formations steppiques des hémisphères Nord et Sud, dans les

forêts méditerranéens, et dans les espaces entre la végétation de la toundra **(BELNAP *et al.*, 2001).** On rencontre les croûtes biologiques surtout aux Etats Unies (Plateau de Colorado, grand bassin, désert de Sonora), Australie, Alaska, Antarctique, **(BELNAP *et al.*, 2001**).

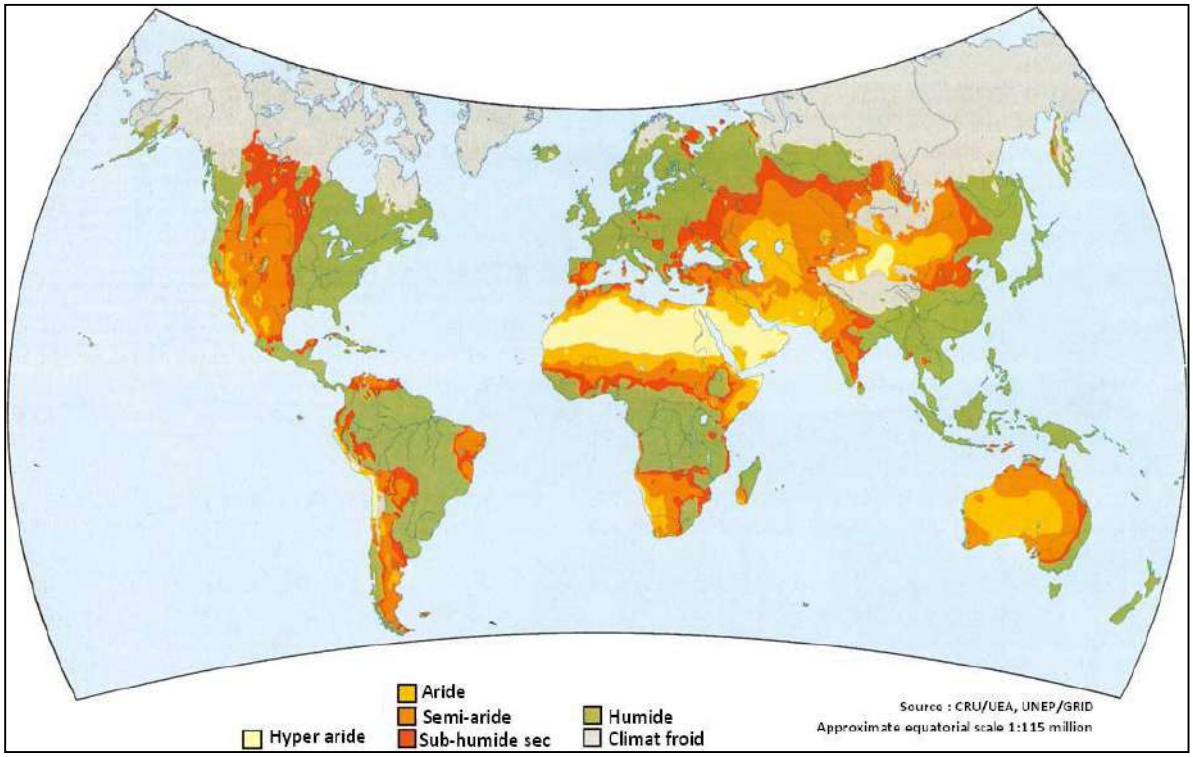


Figure 03 : Carte mondiale des zones arides **(BELNAP, 2005).**

4. Caractéristiques et classification des grands groupes de micro-organismes composant les croûtes biologiques

4.1. Les bactéries

Au sens large, le terme de bactéries regroupe les organismes unicellulaires a organisation de type procaryote, la plupart ont la forme de bâtonnets ou de petites sphères, certaines d'entre elles sont incurvées ou spiralées, d'autres ramifiées, jusqu'à engendrer comme dans le groupes des actinomycètes, un réel mycélium (**GOBAT *et al.*, 2003)**. Les bactéries peuvent être soit autotrophes (ils synthétisent des composés de carbone provenant de sources inorganiques) ou hétérotrophes (c'est à dire, ils utilisent des substrats contenant du formuler carbone, tels que les matières organiques dans le sol pour la nourriture).

Certaines bactéries contribuent à la fertilité du sol en fixant l'azote. D'autres sont important dans la décomposition de la matière organique **(CALVET ,2003).**

Les cyanobactéries sont photosynthétiques et leur activité est identique à celle des chloroplastes des Algues et des végétaux. Les bactéries vivent en liberté ou en associations mycorhiziennes avec les racines des plantes (**GOBAT *et al.,* 2003**).

Les cyanobactéries (anciennement nommées algues bleues) sont des procaryotes photoautotrophes **(JEFFERY *et al.*,2013)**. Elles ont une grande importance écologique, particulièrement dans le cycle du carbone et de l'azote, ainsi que pour leur signification évolutive **(RAVEN *et al.*, 2000)**

Les cyanobactéries sont des organismes relativement résistants, elles sont capables de se développer via la photosynthèse en conditions extrêmes de sécheresse (précipitations inférieures à 5 mm par an), et de supporter des périodes décennales sans pluie. Ainsi, on les retrouve à la surface de sols situés en de nombreux endroits de la planète, y compris dans les environnements les plus arides. De plus, les cyanobactéries sont capables de réaliser l'activité photosynthétique en conditions de rayonnement lumineux très intenses, confirmant leur grande résistance et leur capacité de survie dans des milieux difficiles **(JEFFERY *et al,*. 2013).**

4.2. Actinomycètes

Souvent décrits comme un groupe distinct par les microbiologistes du sol, les actinomycètes sont en fait des Eubactéries Gram positives à structure végétative de type mycélien. Les actinomycètes présentent des similitudes avec les Eubactéries et les Champignons et il existe des formes de transition entre les formes mycéliennes typiques et les formes unicellulaires présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié (**ROGER et GARCIA, 2001).**

4.3. Algues

Les algues microscopiques, unicellulaires ou en colonies filamenteuses, sont souvent abondants dans le sol, mais restent localisées a sa surface ou dans de larges fissures. (**GOBAT *et al*., 2003).**

Selon **JEFFERY *et al.*(2013),** les algues représentent une partie importante de la microflore édaphique. Elles sont un réservoir de nutriments pour les plantes supérieures. A travers la photosynthèse et la fixation de l'azote, elles apportent du carbone organique et de l'azote dans l'écosystème sol, elles favorisent la structuration des sols et contrôlent l'activité des autres organismes édaphiques. Les algues peuvent supporter la dessiccation, aussi bien

que les cyanobactéries. Ces mécanismes d'adaptation aux conditions climatiques extrêmes rencontrées à la surface des sols leur sont donc bien utiles. Cependant, la vitesse de dessiccation peut influencer fortement la survie des algues ; bien plus de cellules algales survivent à des événements de dessiccation courts et intenses qu'a de longues périodes d'assèchement lent des sols.

4.4. Champignons

Ce sont des microorganismes non photosynthétiques, regroupent une grande variété d'organismes eucaryotes qui sont divisés en sous-groupes en fonction de critères morphologiques. **(ROGER et GARCIA, 2001).**

Les champignons existent sous deux formes différentes, soit comme organismes unicellulaires appelés levures soit sous forme d'hyphes, grâce auxquels ils se développent pour former des réseaux ramifiés étendus. La taille des champignons peut varier considérablement, les levures unicellulaires ayant généralement un diamètre de 4-5 µm, alors que les hyphes individuels des champignons filamenteux pouvant former des mycéliums ou thalles. Pouvant s'étendre sur des échelles kilométriques **(JEFRRY *et al.*, 2013)**.

La plupart des champignons sont classés dans un groupe séparé des procaryotes, des plantes et des animaux : les Fungi ou Eumycètes. Ils sont fréquents dans les sols, notamment riches en matière organique, et peuvent constituer une part importante de la biomasse souterraine. Ils ont des rôles majeurs et variés dans le fonctionnement des systèmes sols **(BROCK *et al.*, 2007).**

4.5. Lichens

Les lichens, résultat d'une association entre une algue et un champignon (**CATIER et ROUX ,2007).** Les lichens croissent très lentement et jouent un rôle important dans la formation des sols grâce à leur capacité à produire leur propre nourriture par la photosynthèse et de fournir à leur mort de la matière organique comme substrat pour d'autres organismes. Certaines espèces sont très sensibles à la pollution et peuvent être ainsi utilisées comme indicateurs pour contrôler l'état de leur environnement **(JEFFERY *et al.*, 2013)**

4.6. Bryophytes

Les Bryophytes (dont le nom vient du grec bryos: *mousse*) se trouvent à l'interface du monde des algues vertes et des plantes vasculaires **(RAMEAU *et al.*, 2008)**. Les Bryophytes sont un embranchement de règne végétal, très homogène, toutes chlorophylliennes, vivants sur le sol, sur l'humus des forêts, sur d'autres végétaux, parfois dans l'eau douce, très rarement dans l'eau saumâtre. Les bryophytes sont dépourvues de vrais tissus vasculaires et de vraies racines (rhizoïdes). Leurs caractères morphologiques et anatomiques leurs exigences écologiques diffèrent suivant les groupes mais elles présentent le même cycle de vie. Ce groupe comprend les hépatiques, les mousses, et les Anthocérotes **(MAROUF, 2000).**

5. Les différents types des croûtes biologiques

Parmi les critères utilisés pour établir les différentes classifications, on trouve : la couleur des croûtes, **(HAHN et KUSSEROW, 1998)**, leur structure, le type d'organismes prépondérant **(BELNAP *et al.*, 2001)**, l'aspect extérieur et la morphologie (lisses, rugueuses, onduleuses et sommet) **(BELNAP 2001)**.

La variabilité spatiale des types des croûtes biologiques sont d'ordre climatique, topographique et pédogénétique **(BÜDEL, 2005).**

Les croûtes biologiques peuvent se présenter sous plusieurs formes (Tableau 02 ; Fig04).

5.1. Selon la morphologie

Tableau II : Les différents types des croutes biologiques **(BELNAP, 2001)**

Topographie	Rugosité de surface	Organismes impliqués	Région d'occurrence
Croûtes lisses	0-01 cm	Cyanobactéries, algues, etc. à l'intérieur de sol, pas de lichens ou mousses	Habitats sans gel du sol, e.g hyper –aride, Australie, dunes en Néguev (pratiquement fixées)
Croûtes rugueuse	01-03 cm	Parcelles dispersées de lichens et mousses (en addition les organismes à l'intérieur du sol)	Habitats sans gel du sol, e.g, Australie, Néguev centrale, zone côtière de brouillard du Namib, la région méditerranéenne, dans les régions tempérées
Onduleuses	03-05 cm	Equitablement un couvert continue de lichens et mousses (en addition les organismes à l'intérieur du sol)	Habitat avec gel en hiver, souvent en sols argileux ou avec un grand couvet de mousse et lichens. E.g. Great Basin du nord USA
Sommet	05-15 cm	Cyanobactéries, algues, etc. à l'intérieur du sol sans mousses et lichens.	Habitat avec gel en hiver. e.g Plateau de Colorado, Great Basin central USA, régions avec un faible couvert de mousses et lichens

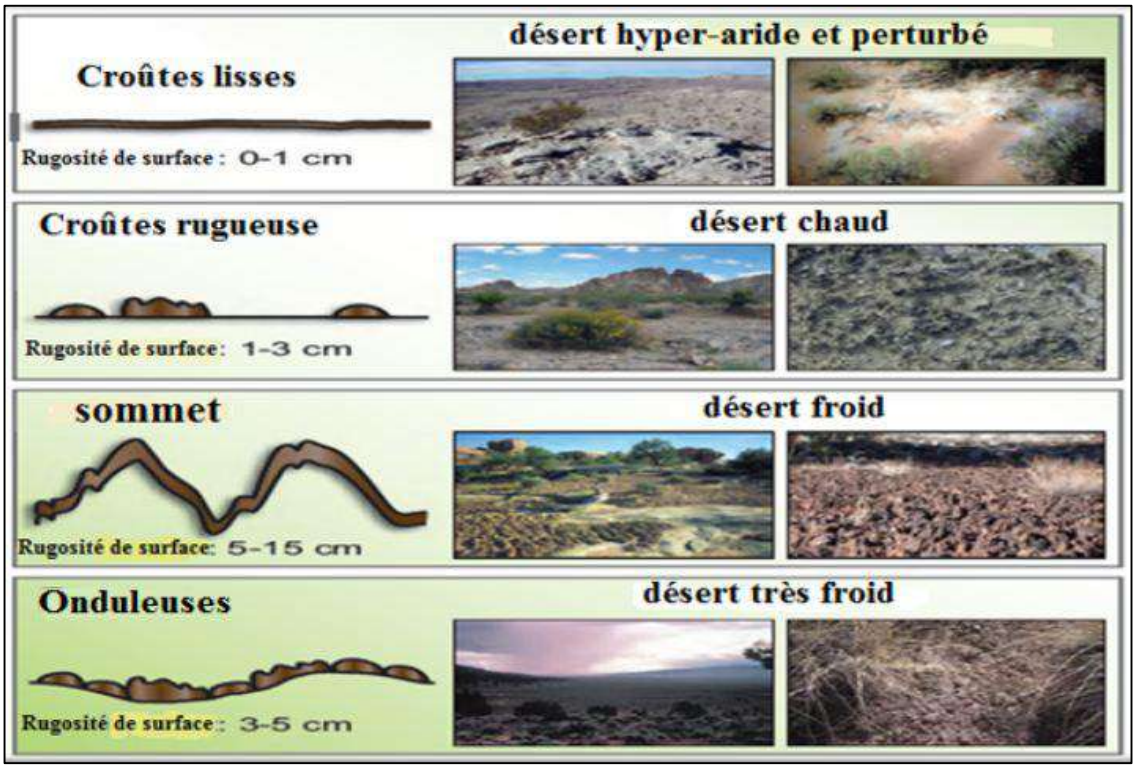


Figure 04 : Les différant types des croûtes biologiques **(BELNAP ,2001)**

5.2. Selon l'emplacement des organismes

La vie sur les roches à l'interface entre l'atmosphère et un substrat solide (lithosphère) - est une ancienne niche terrestre. Aujourd'hui, ces roches de surface fraîchement exposées à l'atmosphère sont rapidement colonisées par des communautés microbiennes (***GORBUSHINA*, 2007)**

Ces communautés microbiennes habitent généralement les millimètres extérieurs en centimètres de toutes les roches exposées à la surface de la Terre, Dans les climats terrestres les plus extrêmes, comme les déserts chauds et froids**.** (***GORBUSHINA*, 2007).**

Les types des roches colonisées par microorganismes Endolithiques sont nombreux : Le grès, Gypse, Calcaire, Quartz, Granite, Silex, Halite, Dolomite **(HAILIANG, 2007)**.

5.2.1. Les croûtes Hypolithiqes

Les croûtes Hypolithiqes correspondent aux microorganismes qui colonisent la surface ventrale (face inférieure) des pierres translucides et sont habituellement en contact avec le sol **(*POINTING* et *al*., 2012)**

5.2.2. Les croûtes Épilithiques

Les croûtes Épilithiques correspondent aux microorganismes qui colonisent la surface exposée de roche ou de minéraux substrats. **(*POINTING* et *al.*, 2012)**

5.2.3. Les croûtes Endolithiques

Le terme" endolith", qui définit un organisme qui colonise l'intérieur de tout type de roche, a encore été classé en trois sous-classes :

- **Chasm Endolith** : colonise des fissures dans la roche (gouffre =fente)
- **Cryptoendolith** : colonise les cavités structurelles dans des roches poreuses, y Compris les espaces produites libérés par endolithes (crypto =caché)
- **Euendolith** : pénètre activement à l'intérieur des roches formant des tunnels qui sont conformes à la forme de son corps (eu=bon, vrai) **(WIERZCHOS *et al.*, 2011**).

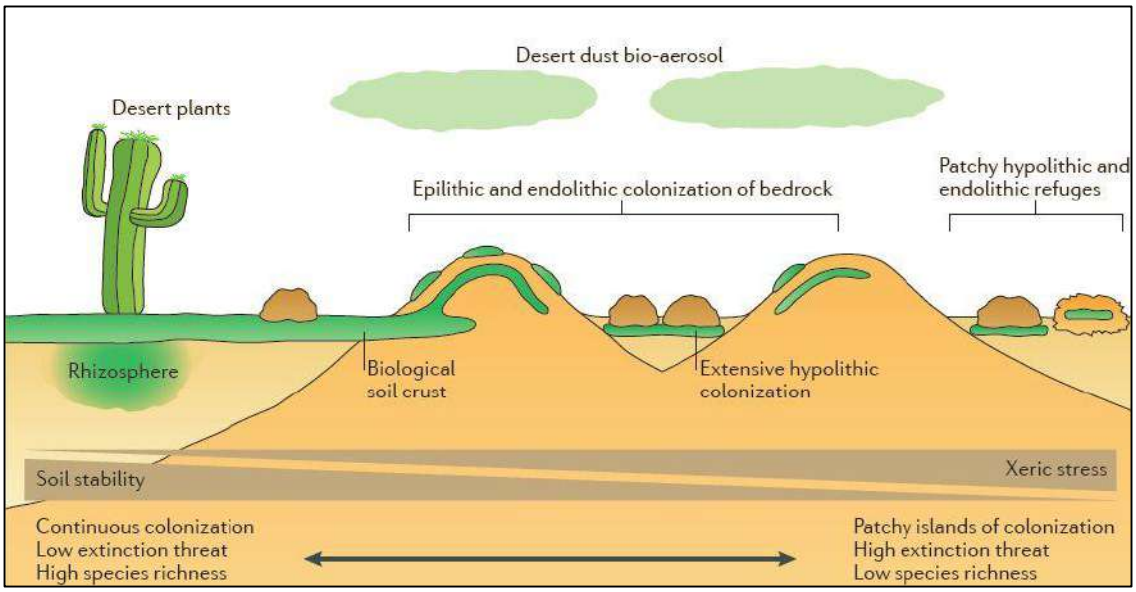


Figure 05 : La Niche Microbienne dans les paysages arides **(*POINTING et al.*, 2012)**

6. Influence des facteurs écologiques sur les microorganismes des croûtes biologiques

6.1. Influence du sol

6.1.1. La texture

La texture du sol influe sur la composition des espèces des croûtes biologiques. Les sols ayant une texture fine supportent le plus la formation des croûtes avec un grand nombre de populations diversifiées des cyanobactéries, des lichens et des mousses. Les sols à texture grossière possèdent des larges filaments des cyanobactéries qui sont très mobiles telles que Microcoleus. Cependant, une fois les sols à texture fine sont suffisamment stabilisés par les cyanobactéries d'autres organismes tels que : des Algues vertes et d'autres espèces de cyanobactéries viennent alors coloniser ces sols (**BELNAP *et al.*, 2001**)

6.1.2. La composition chimique

La composition chimique du sol influe aussi sur la composition des croûtes biologiques. En effet les sols calcaires et gypseux supportent le plus l'installation des croûtes biologiques, et certaine micro-organismes sont des excellents indicateurs de la composition chimique des sols **(BELNAP *et al.*, 2001**).

6.2. Influence du climat

6.2.1. Les précipitations

L'activité biologique dans les écosystèmes arides et semi-arides dépend de l'importance et la fréquence des précipitations. Puisque les croûtes biologiques sont composées d'organismes qui ne sont actifs que lorsque le sol est humide, et puisque la surface du sol s'assèche rapidement dans les déserts, la quantité et le moment de précipitation ont un impact significatif sur le fonctionnement physiologique de ces communautés microbiennes (**BELNAP *et al.*, 2004).**

6.2.2. La température

L'action de la température est liée elle-même au problème de l'eau : lorsque la température augmente l'activité des germes passe par un maximum puis décroît. Dans les environnements sévères certaines espèces tendent à s'enterrer pour fuir une insolation trop intense. Des minéraux translucides tels que le quartz, des efflorescences salines leur permettent de s'enfoncer à quelques centimètres de la surface. Elles trouvent ainsi une

protection contre les intensités lumineuses trop fortes et contre une dessiccation trop rapide et des températures trop élevées **(DOMMERGUES *et* MANGENOT, 1970 ; SCHLESINGER *et al.*, 2003).**

6.3. La saison

Il est évident que, la succession des saisons exerce un effet très important sur la microflore des sols. À certains saisons et pour des sols déterminés, on constate des maximums parfois très élevés. Certains groupes de germes sont, fortement stimulés en automne, tandis que pour d'autres, il n'en n'est rien. Les variations saisonnières de la microflore sont probablement due en grandes parties, à des changements en qualité et quantité dans les apports nutritifs que constituent feuilles et branches mortes, Les saisons exercent donc une action sensible sur les micro-organismes, par l'intermédiaire de la végétation. Bien entendu, les intempéries jouent elles aussi leur rôle. Une quelconque modification du milieu perturbe l'équilibre des micro-organismes des sols jusqu'à ce qu'il s'encrée un nouveau **(BOULLARD et MOREAU, 1962).**

6.4. Influence de la végétation

La structure verticale et horizontale des communautés végétation optimise la formation des croûtes biologiques dans les régions arides et semi-arides **(BALNAP et *al.*, 2001)**. Les sols nus sont beaucoup plus faibles en biomasse microbienne totale que les sols végétalisés **(BOULLARD et MOREAU, 1962)**.

7. Fonctions écologiques des croûtes biologiques

Il est bien établi que les croûtes biologiques, et plus généralement les Cyanobactéries, ont un effet positif sur les propriétés chimiques et physiques des sols.

Sous l'angle chimique, cet effet tient tout d'abord aux capacités métaboliques des Cyanobactéries **(GARCIA-PICHEL et BELNAP, 1996),** mais aussi aux propriétés intrinsèques de leurs enveloppes mucilagineuses. Par la combinaison de leur capacité à réaliser la photosynthèse et dans certains cas la fixation de l'azote atmosphérique, elles forment une source d'entrée de C et N pour les régions à faible productivité **(MALAM ISSA *et al.*, 2001 ; ACEA *et al.*, 2003 ; BROSTOFF *et al.*, 2005 ; NISHA *et al.*, 2007**). Grâce à leur enveloppe mucilagineuse, les Cyanobactéries sont capables de fixer certains éléments nutritifs, comme le Fe, Zn, Mo, Cu, Mn **(VAISHAMPAYAN *et al.*, 2001).**

7.1. Fixation de l'azote

L'un des avantages de la présence des croûtes biologiques dans les écosystèmes arides et semi-arides, se traduit par la capacité de certains micro-organismes à pouvoir capter l'azote atmosphérique pour le transformer en azote assimilable par les plantes. C'est le cas par exemple de Scytonema, Nostoc : des cyanobactéries photosynthétiques, ainsi que Collema et Peltula: des lichens **(BELNAP, 2005).**

L'azote est un paramètre déterminant pour le développement de la flore. Ainsi, les plantes situées à proximité des croûtes biologiques présentent des teneurs plus élevées en azote par rapport aux plantes qui se trouvent dans des endroits où les croûtes biologiques seraient absentes à la surface des sols **(BELNAP *et al.*, 2001 ; BELNAP, 2005).**

7.2. Fixation du carbone

Contrairement à la respiration, la photosynthèse permet de fixer le carbone atmosphérique (CO_2) et de le rejeter en l'oxygène (O_2). Ainsi, les organismes photosynthétiques vont dégrader le carbone atmosphérique et céder au sol du carbone qui pourra être directement assimilables par les plantes. Les croûtes biologiques étant principalement composées de micro-organismes photosynthétiques, elles vont donc aussi jouer un rôle important dans l'apport de carbone pour le sol. **(BELNAP, 2005)**.

Les croûtes cryptogamiques ont un fort pouvoir de fixation de carbone, contribuant d'ailleurs à son stockage de manière importante : d'après (**ROSENTRETER *et al.*,2007)**, une augmentation de la capacité de stockage des croutes biologique de 5% pourrait diminuer de 16 % le carbone atmosphérique

7.3. Protection du sol contre l'érosion

Les milieux arides et semi-arides sont souvent caractérisées par une perte importante des sols ceci dû à l'efficacité des éléments morphogénétiques.

Les croûtes biologiques souvent «remplir» les interstices entre les graminées cespiteuses dans les parcours arides et semi-arides diminuer les détachements du sol liés à l'érosion éolienne et hydrique. Ainsi les croûtes biologiques servent aussi de stabilisateur de la surface du sol en diminuant la perte de sol lié à ces phénomènes climatiques dans les zones où le couvert végétal est faible ou absent **(BELNAP *et al.*, 2001)**.

Ces croûtes augmentent la diversité du site, de protéger la surface du sol par les forces érosives et fournir de l'azote, un macronutriment important au sol par la fixation biologique de l'azote (**ROSENTRETER *et al.*, 2007).**

7.4. Amélioration de la fertilité et stabilisation de la structure des sols

Sous l'angle physique, les croûtes biologiques favorisent l'agrégation du sol et la stabilité structurale grâce au piégeage des particules grossières par le réseau de filaments des Cyanobactéries et la cimentation des particules fines par leurs sécrétions polysaccharidiques (EPS) **(MALAM ISSA *et al.,* 2001 ; NISHA *et al.*,2007 ; MAQUBELA *et al.,* 2009).** Ceci entraîne une augmentation de la résistance du sol vis-à-vis de l'érosion hydrique et de l'érosion éolienne, qui sont d'importants acteurs de la désertification **(BELNAP et GILLETTE 1997 ; ZHANG *et al.,* 2006).**

En outre, les particules de l'argile chargées négativement qui collent à la surface adhésive de l'enveloppe polysaccharidique sont le siège de fixation des éléments chimiques de charge positive, ce qui constitue une réserve d'éléments nutritifs pour les plantes (**BELNAP *et* GARDNER, 1993)**. Les croûtes biologiques ont aussi un effet sur l'amélioration de la capacité de rétention de l'eau. Ceci est la conséquence de la capacité des constituants polysaccharidiques des Cyanobactéries à absorber de l'eau par gonflement par suite d'une simple humectation, et à retenir énergiquement celle-ci grâce à des forces intenses de capillarité

Elles permettent au sol de retenir l'eau et fournissent des nutriments aux plantes et à la microflore du sol à l'origine de la production d'humus (**ROMAIN *et al.*, 2012)**

Les polysaccharides produits par les cyanobactéries et les algues vertes, lichens...etc. sont capables de piéger les particules du sol entre elles, ce qui augmente la taille des agrégats du sol **(ROBERT, 1996).**

7.5.Établissement des plantes vasculaires

En tant que composants actifs, les croûtes biologiques des sols, les algues, les bactéries et les champignons, jouent un rôle majeur dans la rétention des minéraux et dans les successions primaires et secondaires des plantes (**JEFFERY *et al.*, 2013)**.

Partie II

Matériel Et Méthodes

Chapitre I
Présentation de la région d'étude

La présente étude a été réalisée au niveau de deux régions qui sont représentatives du milieu aride Algérien : Il s'agit de la région d'Ouargla et la région d'El Oued.

1. Situation géographiques

1.1. Région d'Ouargla

La région d'Ouargla est l'une des principales Oasis du Sahara Algérien. La ville d'Ouargla est située au Sud-est du pays à 790 Kms de la capitale Alger. Elle occupe une superficie de 163.230 Km^2.La ville de Ouargla, chef-lieu de la wilaya, est située à une altitude de 131 m, ses coordonnées géographiques sont : 31° 58' latitude Nord ; 5° 20' longitude Est. **(D.P.A.T, 2010)**.

Les limites administratives de la wilaya d'Ouargla sont :

- Au Nord-Est par les wilayates d'El-Oued et de Djelfa
- A l'Est par les frontières tunisiennes et la wilaya d'El-Oued
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa
- Au Sud-Est par la wilaya de Tamanrasset.

1.2. La région d'El Oued

La région d'EL-Oued, située dans le Sud-Est Algérien (33° à 34° latitude Nord. ; 6° à 8° longitude Est). Il s'agit d'un vaste ensemble de palmiers entourés par les dunes de sable qui se trouve à une altitude de 70 mètre au niveau de la mer. La wilaya d'El Oued occupe une superficie de 44585 km^2. **(D.P.A.T, 2010)**.

Les limites administratives de la wilaya d'El Oued sont :

- Au Nord : Tébessa et Khenchla ;
- Au l'Est : Tunisie ;
- Au Sud : Ouargla ;
- A l'Ouest : Biskra et Ouargla

La situation géographique des régions d'étude est présentée dans la figure 06.

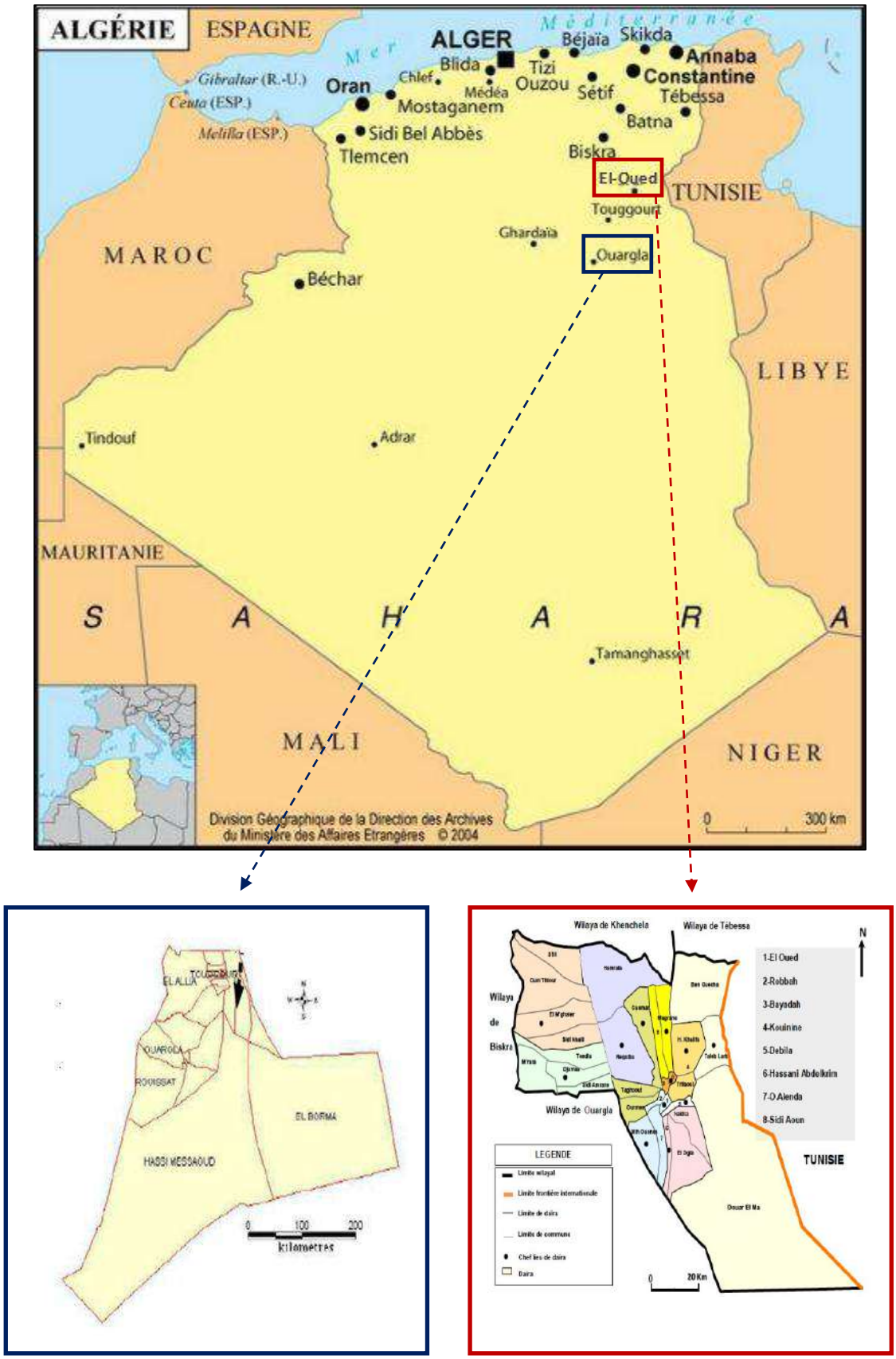


Figure 06 : Localisation géographique des régions d'étude (**Division géographique de la direction des archives du ministère des affaires étrangères 2004**)

Tableau III : Données climatiques de la région d'Ouargla (2004-2014)**(ONM, 2014)**

Mois	T Min (C°)	T Max (C°)	T Moy (°C)	H Min (%)	H Max (%)	Vent (Km/h)	Précipitations (mm)
Janvier	5,11	18,77	11,94	38,96	83,18	55,6	9,1
Février	6,83	21,08	13,96	30,15	72,27	60,73	0,64
Mars	10,99	25,81	18,4	25,48	65,87	60,95	4,3
Avril	15,26	30,38	22,82	21,22	57,47	72,29	2,11
Mai	19,75	34,89	27,32	18,29	49,51	66,13	1,47
Juin	24,81	40,28	32,54	15,78	43,22	57,45	0,74
Juillet	28,21	43,71	35,96	13,88	37,7	64,53	0,32
Aout	27,54	42,84	35,19	15,55	42,13	56,11	1,7
Septembre	23,51	37,75	30,63	21,7	54,11	55,78	3,56
Octobre	17,61	32,18	24,89	25,9	62,95	48,73	16,72
Novembre	10,46	24,16	17,31	33,97	75,72	47,64	6,56
Décembre	6,02	19,23	12,62	38,8	82,28	45,02	4,18
Moy annuelles / Cumules*	16,34	30,92	23,63	24,97	60,53	57,58	51 ,4*

Tableau IV : Données climatique de la région d'el Oued (2004-2014)**(ONM, 2014)**

Mois	T Moy(°C)	T Max (°C)	T min (°C)	H Moy (%)	vent (km/h)	précipitations (mm)
Janvier	11,80	17,98	5,62	61,55	6,78	16,02
Février	13,41	20,05	6,77	50,10	8,48	1,33
Mars	17,36	24,22	10,50	43,88	10,18	7,33
Avril	21,66	28,75	14,57	40,49	12,42	7,44
Mai	26,14	33,30	18,98	35,39	12,75	3,34
Juin	30,84	38,39	23,29	30,92	12,03	0,55
Juillet	34,39	41,95	26,83	28,28	9,97	0,16
Aout	33,78	41,02	26,55	31,13	8,68	2,17
Septembre	29,35	35,87	22,83	42,34	9,06	5,43
Octobre	24,14	30,75	17,52	48,68	6,39	4,48
Novembre	16,78	23,12	10,45	55,86	5,43	25,75
Décembre	12,17	18,20	6,13	63,25	6,22	8,44
Moy annuelles/Cumules*	22,65	29,47	15,84	44,32	9,03	82,43*

2. Données climatiques des régions d'étude

2.1. Climat

Le climat saharien est caractérisé par la faiblesse et l'irrégularité des Précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température. **(OZENDA, 1991)**

Afin de ressortir les caractéristiques climatiques des deux régions d'étude une étude climatologique s'avère nécessaire. Dans ce contexte, nous avons utilisé les données climatiques fournies par l'ONM (Tableaux 03 et 04), qui s'étalent sur une période de 10 ans (2004-2014).

D'après les tableaux (03 et 04) nous remarquons que les régions d'étude sont caractérisées par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite et des températures élevées. Au Sahara, les précipitations sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.**(OZENDA, 1991)**

2.2. Températures

La température moyenne mensuelle maximal enregistrée au mois le plus chaud (Juillet) est de 43,71 C°, alors que celle du mois le plus froid (Janvier) sont de 5,11C° Pour la région de Ouargla.

Les températures moyenne mensuelle maximale enregistrée au mois le plus chaud (Juillet) est de 41,95C°, alors que, celle du mois le plus froid 5,62 C° (Janvier) pour la région d'El-Oued.

2.3. Précipitations

Les précipitations sont rares et irrégulières pour les deux régions d'étude. Toutefois, il est clair d'après les données météorologiques que la région d'El oued présente un cumul pluviométrique plus élevé que la région d'Ouargla. Les cumuls enregistrés sont de 82.43 et 51.4 mm respectivement pour les deux régions.

En effet le mois le plus pluvieux est Octobre avec 16.72 mm à Ouargla, alors qu'à El Oued la pluviométrie maximale a été enregistrée au mois de Novembre avec 25.75 mm.

2.4. Vent

Les vents dominants dans ces régions sont de NNE et SSE, avec une vitesse atteindre 72.29 km/h en mois d'avril à Ouargla et une vitesse atteindre 12,75 Km/h en mois de Mai à l'Oued.

2.5. Humidité de l'air

L'humidité moyenne maximale enregistrée tournant de 83.18 % en mois de janvier et 37.70% en mois de Juillet et L'humidité moyenne minimal entre 38.96 % et 13.88 % concernant la région d'Ouargla

Pour la région de l'Oued : L'humidité moyenne maximale enregistrée de 63,25 % au mois de Décembre et 28,28 % au mois de juillet.

3. Synthèse climatique

3.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique, il est présenté à travers une échelle où P=2T.

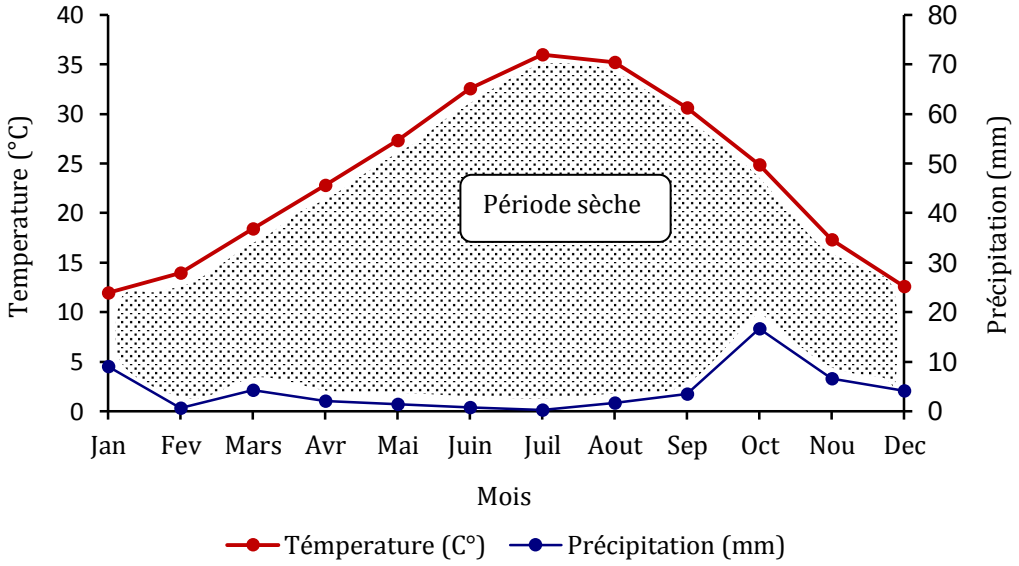


Figure 07 : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région d'Ouargla (2004-2014)

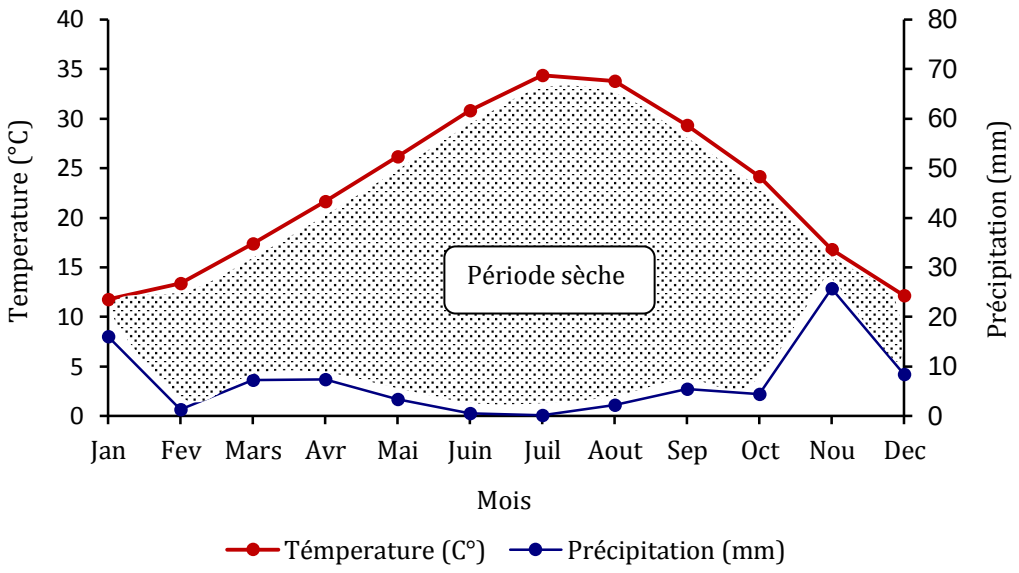


Figure 08 : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région l'El-Oued (2004-2014)

D'après les diagrammes (figure 07 et 08), nous constatons que la période sèche s'étale sur toute l'année.

3.2. Climagramme d'EMBERGER

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté en axe des abscisses par la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en axe des ordonnées par le quotient pluviothermique (Q_2) d'EMBERGER (1955).Nous Avons utilisé la formule qui se présente comme suit :

$$Q_2=3.43\ p/\ (M-m)$$

- P = Pluviométrie moyenne en (mm)
- M = Moyenne des Maxima du mois le plus chaud en (°C)
- M = Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C)

Une lecture du Climagramme d'Emberger, situe la région d'Ouargla et d'El Oued dans l'étage bioclimatique Saharien, à hiver doux avec des quotients pluviothermique (Q_2) de 4.57 et 7.78 respectivement (Fig09).

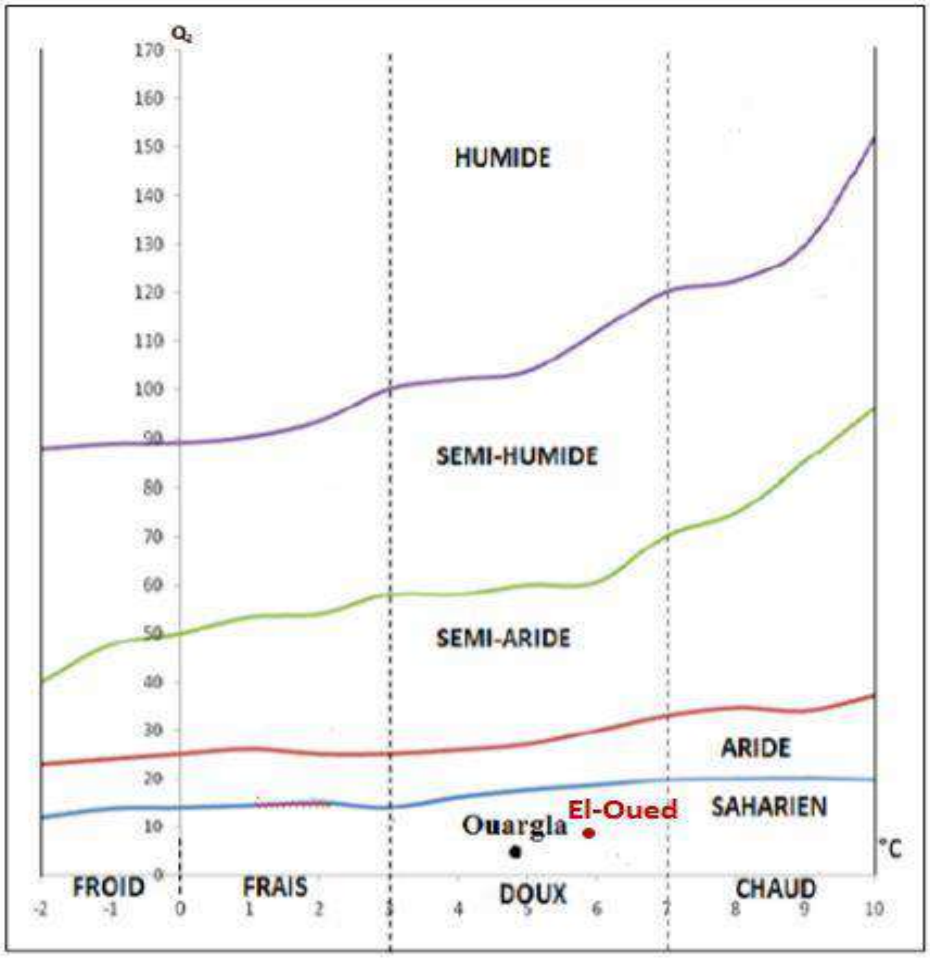


Figure 09 : Etage bioclimatique d'Ouargla et la région de el 'Oued selon le Climagramme D'EMBERGER (2004- 2014)

A travers ces données, on peut dire que de nos deux régions d'étude sont caractérisées par un climat Saharien. La faiblesse de précipitations devant un pouvoir évaporant élevé font que le déficit hydrique est quasi permanant ce qui se répercutent défavorablement sur la densité, la biodiversité Ainsi que sur l'activité des microorganismes du sol.

Chapitre II
Méthodologie de travail

1. Choix des stations

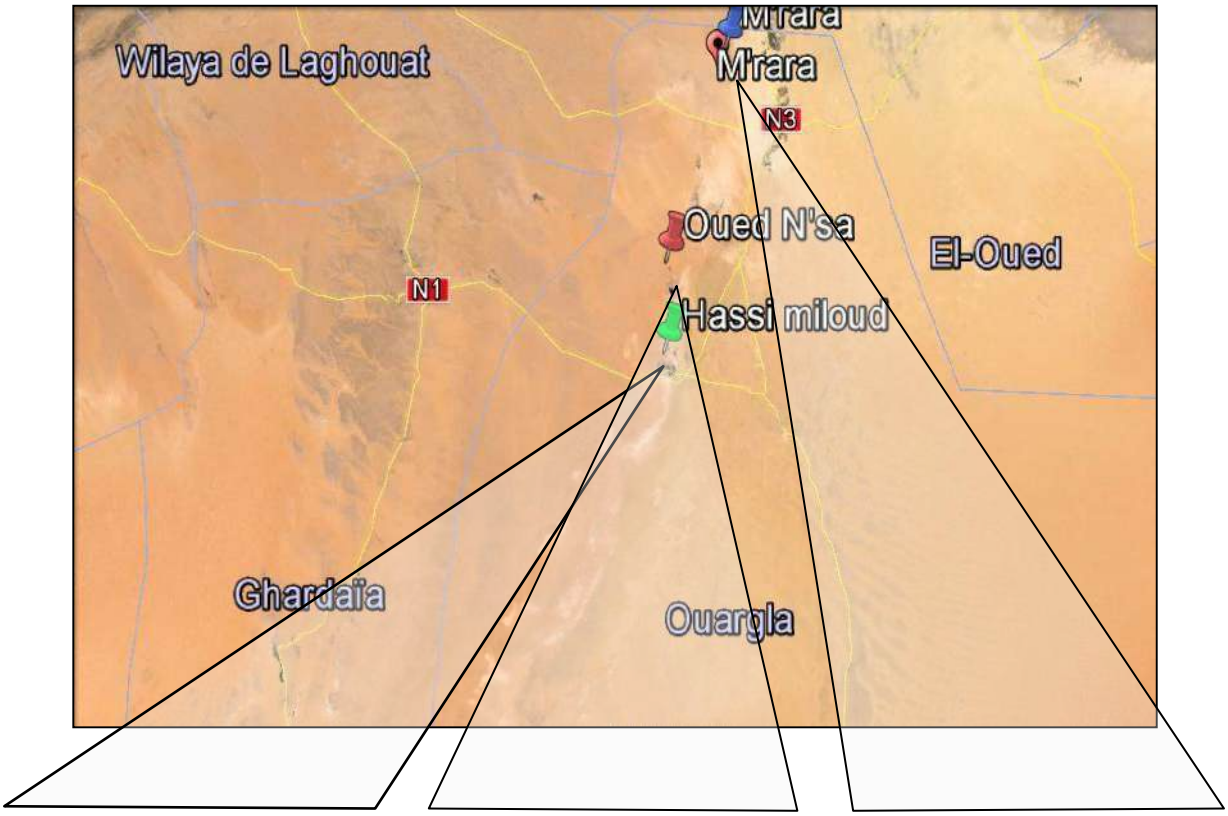
Pour la réalisation du présent travail, nous avons fait une sortie de prospection sur terrain réalisée le 03/02/2016, et nous avons prélevé des échantillons dans les trois stations suivantes (Photo01) :

- Station de Hassi Miloud (Région de Ouargla)
- Station de Oued N'sa **(**Région de Ouargla)
- Station de M'rara (Région d'El Oued)

Le choix des stations d'étude a été basé sur les critères suivants :

- Situées en milieu désertique.
- Sols non cultivés.
- Teneur et nature relativement différente en gypse (Quantité et nature).

La description morphologique et la caractérisation analytique des sols des stations d'étude sont présentées dans la partie résultats et discussion.



Station 01 : Hassi Miloud
Croûtes hypolithiques

Station 02 : Oued N'sa
(Plateaux gypseux)
Croûtes épilithiques

Station 03 : M'rara
Croûtes endolithiques

Figure 10 : Localisation des stations d'étude

2. Echantillonnage

On a effectué deux types de prélèvements :

1. Prélèvements pour les analyses physicochimiques
2. Prélèvement pour les analyses microbiologiques

2.1. Prélèvements pour les analyses physicochimiques

Les échantillons représentatifs pour chaque station ont été séchés aux Températures ambiantes du laboratoire. Tamisés à l'aide d'un tamis à 2 mm dont l'objectif est d'émietter considérablement les agrégats et d'obtenir ainsi une poudre homogène correspondant à une sorte d'état standard, et sur laquelle seront réalisées les analyses physicochimiques.

2.2. Prélèvement pour les analyses microbiologiques

2.2.1. Profondeur de prélèvement

Vu l'aspect microbiologique de notre étude, l'échantillonnage a été réalisé dans des conditions d'asepsie rigoureuses. Ainsi, les échantillons moyens du sol obtenus (des trois stations) a partir de mélange de plusieurs échantillons ont été prélevés de la couche superficielle et en profondeur de 01 à 15cm du sol pour la station 03 (M'Rara).

2.2.2. Conservation des échantillons

Les déterminations biologiques seront appliquées à des échantillons de sol "frais". Les prélèvements, recueillis dans des boites de pétries stériles et transportés au laboratoire dans une glacière a une température de 4 C° car un stress hydrique peut perturber les mesures biologiques.

Les analyses physiques et physico-chimiques et microbiologiques ont été effectuées aux niveaux des laboratoires suivants :

- Laboratoire de pédologie et de microbiologie du département sciences de la nature et de la vie
- Laboratoire de recherche en bio-géochimie des milieux désertiques

3. Méthodes et techniques utilisées

3.1. Analyses physicochimiques

Les mesures biologiques complètent les mesures classiques. Elles ne peuvent s'y substituer. Au contraire, pour interpréter correctement les résultats des déterminations biologiques, il est nécessaire de disposer des résultats de l'analyse de terre classique, sur le même prélèvement.

3.1.1. Humidité

C'est la quantité d'eau contenue dans un sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans ce sol, et exprimée en pourcent. La méthode consiste à sécher l'échantillon du sol à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant, la différence du poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau d'après **(ITA, 1975).**

$$H = (P_{sol\ frais} - P_{sol\ sec})/P_{frais} \times 100$$

3.1.2. Granulométrie

Elle représente le pourcentage des particules granulométriques <2mm (sable, limon, argile) dans un échantillon de sol. On la détermine par un tamisage (voie humide) (**BAIZE, 2000**).

1.1.3. Calcaire total

Le taux de calcaire total est déterminé par la méthode du calcimètre de Bernard.
Le principe de dosage est fondé sur la réaction caractéristique suivante:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

C'est la mesure de CO_2 dégagé suite à l'action d'un excès d'acide Chlorhydrique sur un point connu de l'échantillon. Le volume de CO_2 dégagé est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé:

Taux de $CaCO_3$ en % = (P'.v)/(P.V) X 100

- P: Poids de prise d'essai de l'échantillon.
- P':Poids de $CaCO_3$.
- V:Volume de CO_2 dégagé par l'échantillon.
- v: Volume de CO_2 dégagé par $CaCO_3$.

1.1.4. Conductivité électrique (CE)

Elle permet l'estimation de la teneur globale en sels solubles dans la solution du sol. Mesurée par un conductimètre sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5. **(AFNOR, 1999)**

1.1.5. pH

Mesuré sur des extraits du rapport (terre/eau) 1/2,5 elle exprime la concentration des ions H+ libres dans la solution du sol (**AFNOR, 1999).**

1.1.6. Dosage de carbone organique (C)

La teneur en carbone est déterminée par la méthode ANNE qui consiste en une Oxydation de la matière organique par une quantité en excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu sulfurique à ébullition. L'excès de bichromate est titré par une solution de sel de MOHR, en présence d'un indicateur coloré (diphénylamine).La teneur en carbone organique est exprimée en pourcent.

3.1.7. Matière organique

Elle est estimée après le dosage de carbone organique existant dans les échantillons par la méthode ANNE, dont le principe est basé sur l'oxydation sulfo-chromique et titrassions par le sel de Mohr **(AUBERT, 1978 ; AFNOR, 1999).**

Il est arbitrairement admis que la matière organique est égale à 1,72 fois la teneur en carbone organique **(DUCHAUFOUR, 2001).**

MO% = C% x 1,72.

3.1.8. Dosage de l'azote total

C'est l'ensemble de toutes les formes d'azote minéral, et organique présent dans un échantillon du sol à l'exception de l'azote gazeux.

Le dosage a été fait par la méthode de Kjeldahl; l'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal; sous l'action de l'acide sulfurique concentré porté à l'ébullition, se comporte comme oxydant. Les substances organiques sont décomposés: le carbone se dégage sous forme de gaz carbonique, l'hydrogène donne de l'eau et l'azote est

transformé en azote ammoniacal, ce dernier est fixé immédiatement par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium.

Pour accentuer l'action oxydante de l'acide sulfurique on élève la température d'ébullition, en ajoutant du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium qui jouent le rôle de catalyseur. La matière organique totalement oxydée, la solution contenant de sulfate d'ammonium est récupérée. On procède ainsi à un dosage de l'azote ammoniacal par distillation après l'avoir déplacé de sa combinaison par une solution de soude en excès.

Une fois dosés, le carbone et l'azote, on peut calculer le rapport C/N qui traduit l'intensité de l'activité microbiologique du sol. **(BAISE, 2000)**.

3.1.9. Dosage de gypse

Nous avons utilisé la méthode gravimétrique. Le principe est basé sur le dosage des ions SO_4^{-2}libérés après une attaque aux carbonates d'ammonium et précipitation sous forme de chlorure de baryum **(COUTINET, 1965)**.

3.2. Analyses microbiologiques

3.2.1. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore telluriques

L'estimation de la densité de la microflore dans le sol donné peut s'effectuer directement par observation microscopique ou indirectement par inoculation dans des milieux de cultures convenables de suspension de sol à différentes dilutions **(POCHON, 1954)**

Etant que le mode direct est difficilement utilisable pour les sols, car les particules minérales et organiques gênent le comptage , nous avons adopté la méthode indirecte dont le principe s'appuie sur des cultures en milieu liquide ou solide après ensemencement avec des suspensions dilutions de sol **(POCHON, 1954)** et étalement sur les milieux de culture. Les numérations des germes ont été réalisées sur milieu sur milieu solide (bactéries, actinomycètes et champignons), et en milieu liquide (microflore algale)

3.2.1.1. Préparation des suspensions dilutions

On réalise d'abord une suspension aussi homogène que possible de terre (1g de sol et 9 ml d'eau distillée stérile), à partir de cette suspension mère dont la concentration est de 10^{-1}, on prépare une série de dilutions (de 10^{-1} jusqu'à la dilution 10^{-7})

Les dilutions ainsi préparées doivent être utilisées immédiatement pour les différents ensemencements.

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque dilution en milieu solide et les valeurs exprimées sont la moyenne des trois répétitions.

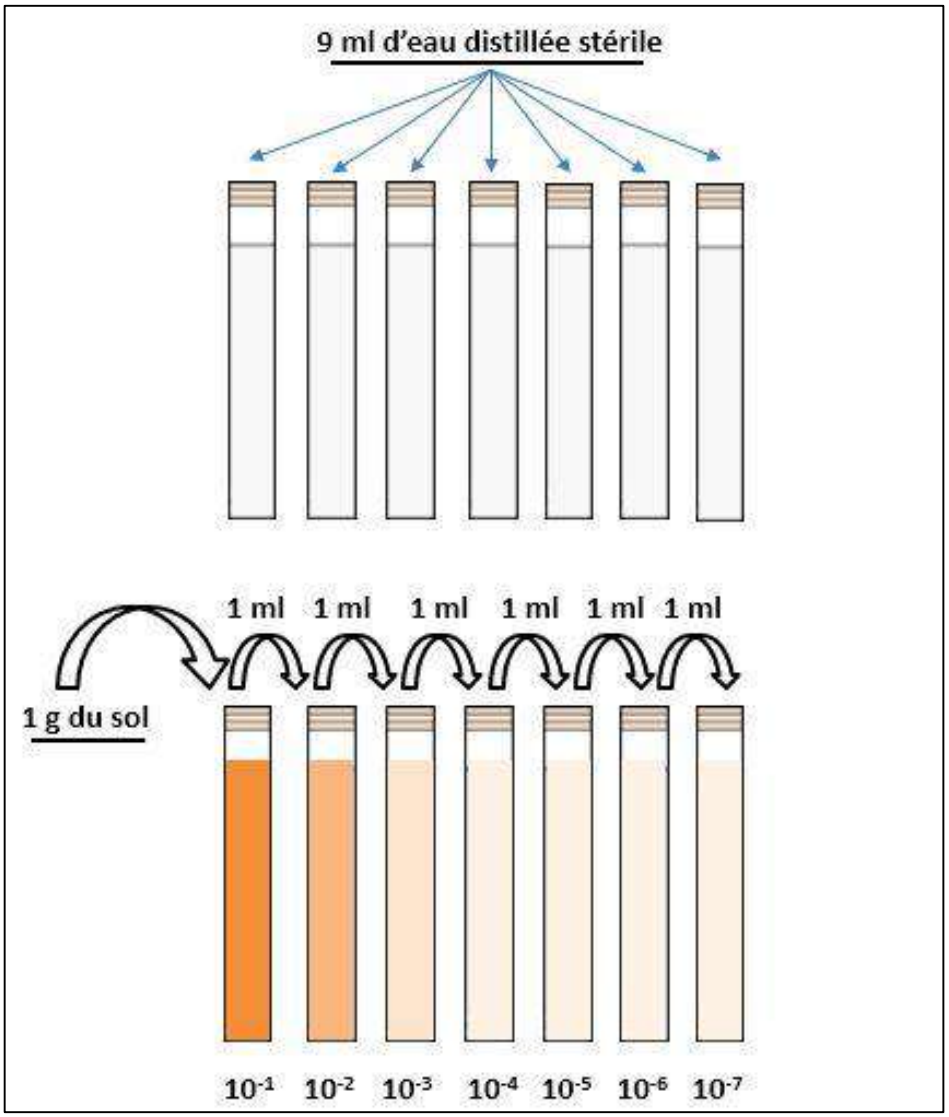


Figure 11 : Préparation des suspensions dilutions du sol

3.2.1.2. Ensemencement

Pour la microflore bactérienne, les champignons, et actinomycètes, on procède à l'ensemencement des milieux solides (Annexe II)à l'aide d'étalons confectionnés à partir des pipettes pasteurs après solidification de gélose coulée sous forme liquide dans les boites de pétrie.

Pour la microflore algale, l'ensemencement a été effectué directement sur milieu liquide.
La composition des milieux de cultures utilisés pour les différents groupes microbiens est présentée dans l'annexe.

Les suspensions utilisées vont :

- ✓ De 10^{-3} à 10^{-7} pour les bactéries
- ✓ De 10^{-1} à 10^{-6} pour les actinomycètes
- ✓ De 10^{-1} à 10^{-6} Pour les champignons et les algues

L'ensemencement de chaque boite se fait avec 2gouttes de solution (mère ou diluée).L'inoculum est déposé au centre de la boite et étalées sur toute la surface. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque dilution.

3.2.1.3. Incubation

Après ensemencement, les boites de pétries ont été incubés à l'étuve à une durée et une température nécessaire pour la prolifération de chaque type microbien (Annexe II).

Tableau V: Conditions de culture des différents groupes de microorganismes étudiés

	Durée d'incubation	Température de l'incubation	Milieu de culture
Bactéries	De28 heures	Température de 35°C	Gélose nutritive
Champignons	De 5 jours	Température de 28°C	PDA
Actinomycètes	21 jours	Température de 28°C	Milieu de culture des actinomycètes
Algues	3 semaines	Température ambiante	Milieu de culture des algues

3.2.1.4. Lecture des résultats et dénombrement

- **En milieu solide**

Pour mieux identifier la structure et l'aspect des colonies, la lecture des résultats a été réalisée par une loupe. Ainsi, après un laps de temps qui, selon le groupe microbien recherché, peut varier de 24 heures pour les bactéries à 21 jours pour les actinomycètes on observe le développement des microorganismes viables sous forme de colonies visibles après incubation, et on repère la dilution présentant un nombre de colonies de 30 colonies au moins et 300 au plus **(AFNOR V 04 016 de 1985).**

Connaissant le nombre des colonies pour une dilution donnée, on peut déduire ensuite la densité de population par gramme de sol sec. Enfin on procède à l'examen microscopique.

- **En milieu liquide**

L'estimation de la microflore algale est effectuée sur milieux liquide par la méthode du nombre le plus probable NPP (Annexe II).

3.2.1.5. Préparation microscopique

Les préparations ont été examinées sous microscope optique à différents grossissements. Pour faciliter l'observation et la classification des bactéries, la coloration de gram a été réalisée sur les bactéries et les actinomycètes (Annexe II).

Les préparations microscopiques sont faites sur des lames propres. On a prélevé une colonie avec une anse de platine ou une goutte du milieu liquide et on émulsionné dans une gouttelette d'eau physiologique déposée au centre de la lame ensuite en couvre avec une lamelle.

3.2.1.6. Identification

L'identification a été effectuée seulement pour la microflore fongique et la microflore algale. Après 5jours d'incubation à 28 °C, les cultures des champignons purifiés sur milieu PDA ont été identifiées en fonction de leurs caractéristiques morphologiques en utilisant la description de **BOTTON et *al.*, (1990).**L'identification s'est basée sur des critères macroscopiques et microscopiques.

Pour les algues, Après 21 jours d'incubation à température ambiante, les cultures des algues ont été identifiées en fonction de leurs caractéristiques morphologiques.

L'examen microscopique des champignons et des algues a été réalisée sur des préparations fraîches avec les objectifs (× 40) et en utilisant le grossissement d'immersion dans l'huile (× 100).

3.2.2. Détermination de la biomasse microbienne par la méthode de fumigation-extraction

L'estimation de la biomasse microbienne a été déterminée par la méthode de fumigation-extraction conformément à AFNOR(1999) qui consiste à traiter le sol étudié par des vapeurs de chloroforme pour tuer la quasi-totalité des microorganismes présents (bactéries, champignons, actinomycètes et algues).

Après fumigation des vapeurs de chloroforme, le carbone est extrait avec du sulfate de potassium. Le carbone dissous d'un sol témoin non fumigé est extrait de la même manière.

Les extraits de sol sont filtrés et le carbone organique total des extraits est dosé par la méthode Anne. Le carbone microbien est déterminé par comparaison entre la quantité en carbone extraite d'un échantillon de sol fumigé et celle extraite du même échantillon de sol non fumigé.

Le dosage de l'azote total est fait selon la méthode de digestion Kjeldahl.

L'azote microbien est déterminé par le même principe que celui du carbone microbien, en comparant la quantité en azote extraite d'un échantillon de sol fumigé et celle du même échantillon de sol non fumigé.

Elles sont calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$\mathbf{Bc = E_C / K_{EC}}$$

B_C = La biomasse microbienne
E_C = (taux de carbone organique des sols fumigés - taux de carbone organique des sols non fumigés)
K_{EC} = 0,38**(AFNOR, 1999)**

Et pour l'azote :

$$B_N = E_C / K_{EN}$$

B_N = La biomasse microbienne
E_n = (taux d'azote des sols fumigés - taux d'azote des sols non fumigés)
K_{EN} = 0,54**(GOAFEI et al., 2009)**

4 .Fabrication des lames minces de sol

En vue de fabrication de lames minces de sols, des échantillons de sols non perturbés (station 2 et station 3) ont été prélevés au niveau des horizons gypseux de surface. Les lames minces ont été fabriquées au laboratoire de micromorphologie du sol de l'UMR ECOSYS, INRA-Algo Paris Tech (centre de Versailles-Grignon, France) selon le protocole mise au point par Guilloré (**1985**). L'observation micromorphologique des différentes lames minces a été effectuée avec un microscope optique Eclipse 50iPol (Nikon) équipé d'un dispositif de polarisation de la lumière et d'objectif de grossissements 2x à 40x. Les guides de description utilisés dans le cadre de notre étude pour l'analyse des lames minces sont ceux de **BULLOCK** *et al*. (**1985**) et **STOOPS** *et al*. (**2010**).

Partie III

Résultats Discussion

1. Description des stations d'étude

1.1. Station 01 : Hassi Miloud

Descripteurs : Hamdi Aissa Bealhaj, Mehda Smail , Kaboul Abir
Date de Description : 03/02/2016

Photo 01 : Etat de surface de la station 01

Coordonnées

- Longitude : 5, 31281 E
- Latitude : 32, 03931 N
- Altitude : 132 m

Géomorphologie et état de surface du sol

Le terrain est en pente de 10% exposé vers l'Est. L'état de surface du sol de cette station est caractérisé par des croûtes biologiques sous la pierrosité de nature silex (croûte hypolithique). Le sol a une texture limoneux-sableuse avec une charge en éléments grossier de 20% à la taille du gravier (0,5 à 2 cm) de forme sub arrondie et de nature gréseuse ; très faible effervescent à l'HCl ; la couleur du sol l'état sec est de 5YR6/6.

Formation végétale *:* *Zygophyllum album, Cornulaca monacantha*

1.2. Station 02 : Plateaux gypseux d'Oued N'SA

Descripteurs : Hamdi Aissa Bealhaj, Mehda Smail, Kaboul Abir
Date de Description : 03/02/2016

Photo 02 : Etat de surface de la station 02

Coordonnées :

- Longitude : 5, 32157 E
- Latitude : 32, 54668 N
- Altitude : 192 m

Géomorphologie et état de surface du sol

La station est située sur un replat (Reg). La surface du sol est caractérisée par la présence des cailloux et des blocs de nature gypseux (Reg gypseux), la croûte gypseuse est dure et compacte (horizon pétrogypsique) de couleur à l'état sec 5YR 6/5, avec une très faible effervescence à l'HCl. Les croûtes biologiques (endolithiques et épilithiques) sont peu décelables.

Formation végétale : *Zygophyllum album* , *Cornulaca monacantha*

1.3. Station 03 : M'rara

Descripteurs : Hamdi Aissa Bealhaj, Mehda Smail, kaboul Abir
Date de Description : 03/02/2016

Photo 03 : Etat de surface de la station 03

Coordonnées :

- Longitude : 5, 57325 E
- Latitude : 33, 23864 N
- Altitude : 175 m

Géomorphologie et état de surface du sol

La station est située sur un terrain en pente de 20% exposé vers le Nord-Est. Le sol est caractérisé par un profil à horizons pétrogypsiques (hypergypsiques) où le gypse est bien cristallisé en gros cristaux de l'ordre de décimètre de diamètre. Les cristaux de gypse ne réagissent pas avec l'HCl, cependant le matériau pédologique est moyennement effervescent à l'HCl. La couleur à l'état sec est de 5YR 7/4. Les cristaux sont inter-stratifiés par des couches verdâtres d'algues jusqu'à plus de 20cm de profondeur du sol (croûtes biologiques endolithiques et épilithiques).

Formation végétale ***:*** *Zygophyllum album*, *Cornulaca monacantha*

2. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol des trois stations étudiées sont présentés dans le tableau 06.

Tableau VI : Caractéristiques physico-chimiques du sol des trois stations d'étude

Paramètres		Station 01 Hassi Miloud	Station 02 Oued El N'sa	Station 03 M'Rara
Granulométrie (%)	Sable Total Grossier	0,11	1,98	3,6
	Sable Grossier	3,19	5,18	9,89
	Sable moyennement Grossier	52,08	28,2	24,58
	Sable fin	22,23	34,92	29,73
	Sable très fin	8,85	16,28	17,08
	< 0.05 mm (Limon + Argile)	11,54	11,44	15,12
pH		7,46	7,4	7,6
CE à 25°C (dS/m)		5,24	3	2,93
Humidité (%)		0,5	2,3	8,1
Calcaire total (%)		2,3	2,97	3,13
Gypse (%)		1,4	74,5	43,32
Caractéristiques biochimiques	Carbone organique(%)	0.38	0,3	0,52
	Azote total(%)	0,04	0,06	0,21
	Matière organique(%)	0.72	0,52	0,89
	C/N	9 ,5	5	2,48

La caractérisation granulométrique des sols dans les trois stations a montré la prédominance de la texture sableuse par rapport aux autres fractions plus fines (argile, limon).

D'après **PROCH (1992)**, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, d'une part, la formation d'une texture à dominance de sable en raison d'une cristallisation grossière, d'autre part elle induit une diminution des teneurs en argile.

Le taux d'humidité est faible pour toutes les stations, toute fois un taux d'humidité relativement élevé de l'ordre de 8,1 % a été enregistré au niveau de la station de M'Rara (S3).

La faible teneur en humidité de ces sols est le résultat de la rareté de précipitations et à l'évaporation élevée des eaux qui caractérisent les régions d'étude. Par ailleurs, le sol des trois stations est caractérisé par la dominance de la fraction sableuse trop filtrante qui ne favorise pas la rétention en eau (**ITA, 1975)**.

En ce qui concerne le pH, les valeurs enregistrées oscillent entre 7,4 et 7,6. Ce paramètre a décelé ainsi, une valeur légèrement alcaline de la réaction du sol pour les trois stations en relation avec leur taux de salinité élevé.

D'après **DJILI (2000)**, tous les sols gypseux du Nord de l'Algérie, qu'elle que soit leur teneur en gypse, ont des pH supérieures à 7.

Les valeurs enregistrées pour la conductivité électrique sont de l'ordre de 5,41 ; 3et 2,93 dS/m respectivement pour la station de Hassi Miloud, Oued El N'sa et M'Rara. Ces valeurs nous conduit à classer ces sols parmi les sols très salés d'après l'échelle de la salinité d'**AUBERT (1978)** (Annexe I).

La forte salinité enregistrée dans les sols étudiés est justifiée d'une part par la forte évaporation due aux températures élevées et d'autre part à la faible précipitation qui caractérise le climat des régions arides.

Par ailleurs, la forte salinité est probablement d'origine parentale. D'prés **SERVANT (1975),** l'origine saline de la roche est en étroite relation avec le niveau de la salinité du sol.

Concernant la teneur en gypse, les sols des stations étudiés contiennent des teneurs élevées en gypse (Tableau 06) à l'exception du sol de la station de Hassi Miloud qui est légèrement gypseuse (1,45 %).

Le sol au niveau des deux autres stations est classée d'après l'échelle de classification de sols gypseux de **BARZANJI (1973**) (in **ABDERRAHMANE *et al.*, 2006)** comme des sols extrêmement gypseux avec une teneur en gypse de 43,32% (station de M'rara) et une teneur de 74,5% (station de Oued N'sa).

Les sols de Ouargla sont caractérisés par une croûte de sel ondulée et la surface bosselée, caractérisée par efflorescence et est classé comme un Hypogypsic / gypsirique Solonchak (**HAMDI AISSA *et al*., 2004).**

Le taux de calcaire est faible ne dépasse pas 10%dans les sols des trois stations étudiées. Selon les normes de **BAIZE (2000)**, ces sols sont considérés comme des sols faiblement calcaires. Il est souvent admis que lorsque quantité du calcaire dans le sol augmente, celle du gypse diminue et vice versa (**FAO, 1990)**.

En ce qui concerne les caractéristiques biochimiques, le taux de matière organique des sols des trois stations est très faible. Toutefois, la valeur maximale a été enregistrée au niveau de la station de M'Rara (S3) avec un taux de MO de 0,89 %.

Ces résultats rejoignent ceux de **HALITIM (1988)** qui montre que la teneur en matière organique dans les zones arides ne dépasse pas 1 %. La faible richesse en matière organique des sols des zones arides est due à la faible couverture végétale dans ces zones.

Les teneurs du carbone organique et de l'azote total sont très faibles pour les trois stations, toutefois, il est clair d'après les résultats obtenus que la station de M'rara (S3) enregistre les teneurs les plus élevées en ces éléments, soient des teneurs de 0,52 et 0,21 % respectivement pour les deux éléments.

Nos résultats sont en concordance avec ceux de **SASSON (1967**) **et OUSTANI (2006)** qui ont souligné la faible teneur des sols arides en carbone organique et en azote total.

Le rapport C/N qui renseigne sur l'activité biologique est compris entre 2,48 et 9,5 ce qui est inférieur à 10. Les faibles rapports C/N enregistrés pour les sols des trois stations traduisent leurs faibles teneurs en carbone et en azote.

3. Résultats des analyses microbiologiques

3.1. Résultats de dénombrement microbien des sols dans les trois stations étudiées

Tableau VII : Résultats de dénombrement microbienne des sols dans les Trois stations étudiées

Densité microbienne (UFC g^{-1} de sol sec)	Station de Hassi Miloud (S1)	Station de Oued El N'SA (S2)	Station de M'rara (S3)
Bactéries	$1,9 \times 10^5$	$4,5 \times 10^5$	$7,2 \times 10^5$
Champignons	15×10^4	$9,5 \times 10^4$	12×10^4
Actinomycètes	0	1×10^4	0
Algues	$9,3 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	15×10^2

Les résultats de dénombrement microbien montre des valeurs faibles par rapport aux sols cultivés (**ZOMBRE,2006)** et aux sols non soumis à l'effet de l'aridité (**DOMMERGUES et MANGENOT ,1970**).

Les variations de la densité microbienne entre les trois stations peuvent être expliquées par le fait que les microorganismes sont soumis à l'influence de différents conditions climatiques et pédologiques extrêmes qui caractérisent les trois stations d'étude.

D'après **BERGERON (2007)**, les variations climatiques et pédologiques affectent d'une manière significative la biomasse microbienne du sol.

L'effet conjugué des faibles précipitations, des fortes températures, de la forte évaporation et des vents violents fait diminuée fortement la densité microbienne.

Ces conditions pédoclimatiques extrêmes qui ont régné au niveau du sol des trois stations ont défavorisé l'installation d'un couvert végétal intense, ce qui engendre par la suite le blocage de l'accumulation de la matière organique dont, l'action est fondamentale sur les propriétés, physiques et physicochimique du sol et en conséquence sur la microflore tellurique et sur son activité.

Par ailleurs, les conditions physico-chimiques du sol (Taux d'humidité, Salinité, Teneur en gypse …etc.), ainsi que les variations notables au niveau des facteurs biochimiques (nutritionnels et énergétiques) concourent à varier la densité microbienne entre les trois stations.

Selon **OUSTANI** (**2006**), les faibles densités de la microflore tellurique par gramme de sol sec enregistrées en milieu désertique saharien, ne sont pas la conséquence d'une baisse de diversité par rapport aux sols classiques, mais plutôt d'une baisse des effectifs dans les espèces présentées, et ceci à cause de la faible richesse des sols sahariens en substrats énergétiques et nutritifs, ainsi qu'aux conditions pédoclimatiques extrêmes à savoir :

- ✓ Les températures trop élevées ;
- ✓ Les faibles humidités ;
- ✓ La forte salinité et le pH trop alcalin du sol ;

En effet, le nombre et l'activité des microorganismes dépendent essentiellement de l'énergie qui peut être libéré à la suite de la décomposition de la matière organique **(BASTIDA *et al.*, 2008)**.

Bien que, les résultats obtenus montrent une très faible densité microbienne énumérée dans les trois stations étudiées par rapport aux sols cultivés ou aux sols sous couvert végétal intense, toutefois, une diversité microbienne remarquable a été enregistrée pour les quatre grands groupes de la microbiologie du sol.

En fait, les résultats des analyses microbiologiques laissent apparaitre des variations entre les trois sols en nombre de germes avec des valeurs maximales pour la station de M'rara(S3) secondée par station de Hassi Miloud (S1) et en dernier lieu la station Oued El N'sa (S2). (Tableau 07).

Concernant l'importance de l'abondance des différents groupes microbiens prises séparément aux niveaux des trois stations, les résultats enregistrés montrent que les bactéries sont les microorganismes les plus abondants dans tous les sols étudiés, suivies par les champignons, les algues et enfin les actinomycètes. Il est à signaler que le dernier groupe n'a été mis en évidence qu'au niveau de la station d'Oued El N'Sa (S2).

Le tableau 07 montre les résultats de dénombrement des différents groupes microbiens présents dans les trois sols.

3.1.1. Microflore bactérienne

En examinant les valeurs relatives à la densité bactérienne dans les trois sols, il ressort que cette densité est faible, elle est de l'ordre de$1,9\times10^5$UFC^{-1}g de sol sec ,$4,5\times10^5$UFC g^{-1}de sol sec de sol et $7,2\times10^5$UFC g^{-1}de sol sec de sol respectivement pour la station de Hassi Miloud (S1),station de Oued El N'sa (S2), et en dernier lieu la station de M'rara(S3) (Fig.12).

La figure 12 montre que les bactéries sont les plus les microorganismes les plus abondants dans les trois stations étudiées. La dominance des bactéries dans les sols étudiés est dû à leur grand pouvoir de multiplication comparativement aux autres groupes microbiens.

D'après **BOULLARD et MOREAU (1962),** les bactéries sont plus favorisées par des milieux proches de la neutralité.

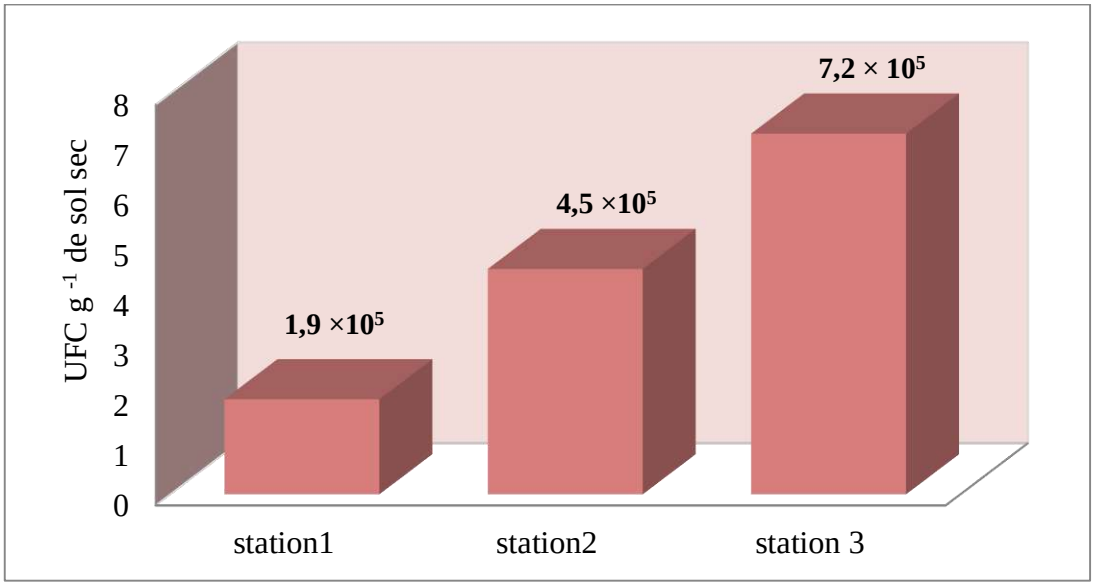


Figure 12 : Variation de la densité de microflore bactérienne dans les sols des trois stations d'étude

Selon **DOMMERGUES et MANGENOT (1970)**, dans les sols soumis à des conditions écologiques très dures (région arides), les densités bactériennes sont évidemment beaucoup plus faibles ; mais elles tombent rarement au-dessous de 10^4 à 10^5 dans les horizons superficiels, des valeurs qui sont en concordance avec nos résultats.

Ainsi, le nombre bactérien relativement élevé de la station de M'rara (S3) peut être expliqué en dehors des conditions climatiques moins agressives par rapport aux autres stations

(précipitation et à la teneur relativement élevée en matière organique et en humidité caractérisant le sol de cette station) aux conditions pédologiques (élevée en colloïdes (organiques et minéraux : MO et argile) et notamment à sa faible teneurs en sels par rapport aux autres stations.

Bien que, les trois stations appartiennent au même étage bioclimatique (Etage Saharien) ; les précipitations relativement plus élevées et la faible évaporation au niveau de la station de M'rara (Tableau 04) ont probablement stimulé plus la prolifération microbienne par rapport aux autres stations.

En revanche, le faible taux d'humidité et la forte salinité caractérisant surtout la station (S1) ont fortement entravé la multiplication du nombre de microorganismes au niveau de cette station.

Il faut souligner que les bactéries sont plus favorisées par des milieux neutres, alors que les champignons résistent plus au pH bas (**DAVET, 1996).**

Sur le plan quantitatif, les résultats obtenus par cette étude sont faibles comparativement à ceux obtenus par **BAZZINE** (**2009**) en travaillant sur les croûtes biologiques des sols gypseux dans la région de Ouargla. Alors qu'ils se rapprochent de ceux obtenus par **ZEGHIB** dans les sols gypseux dans la région de M'Rara.

Il est à noter qu'on n'a pas pu faire l'identification des espèces bactériennes au niveau des sols étudiés à cause de manque des moyens.

3.1.1.2. Aspects culturaux et micro-morphologiques

Nous avons obtenu des colonies extrêmement variées, de formes et de taille diverses (Photo 04).L'examen microscopique a montré que la plupart des bactéries isolées des sols étudiés sont présentées sous la forme de Cocci et de bacilles.

Les Photos 04 et 05 montrent l'aspect macroscopique et microscopique de certains genres représentants de la flore bactrienne isolés sur la gélose nutritive à l'extrait de terre.

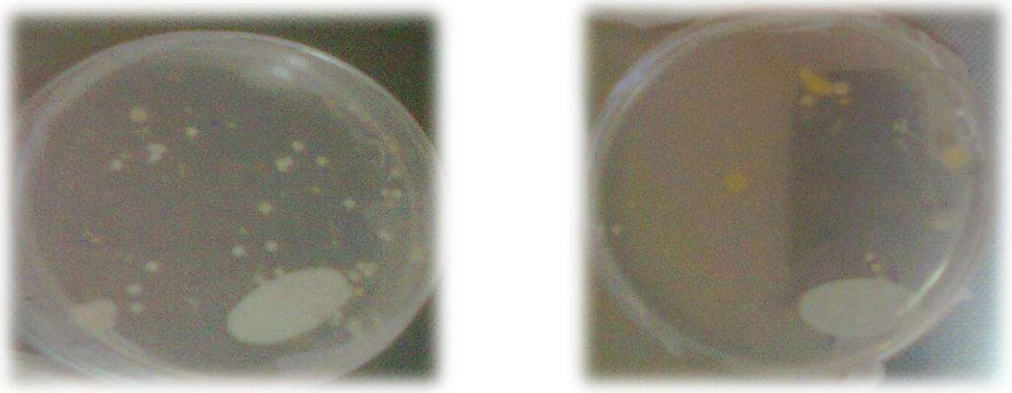
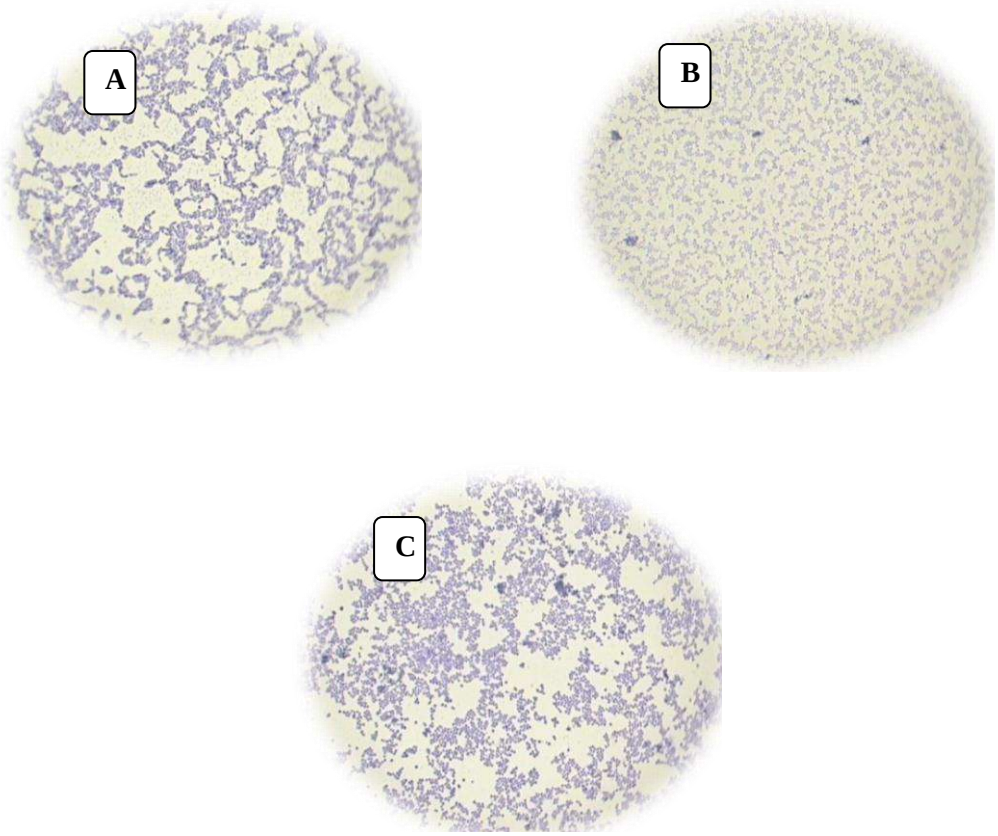


Photo 04 : Aspects macroscopique des colonies bactériennes



Photos 05: Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques des bactéries après coloration de gram : (**A**) : Gram^{+} forme Bacille (G × 100), (**C**) Aspect microscopique des bactéries Gram^{+} forme Cocci (G × 100), (**B**) Aspect microscopique des bactéries Gram^{-} forme Cocci (G × 100).

3.1.2. Microflore fongique

Pour la microflore fongique, on constate que la densité des champignons est moins importante que celle des bactéries dans les trois stations. Les résultats obtenus sont de $15\times10^4$9,5× 10^4et12× 10^4UFC^{-1}g de sol sec de sol sec respectivement pour la station de Hassi Miloud, Oued el N'sa et M'rara (Fig. 13).

La faible teneur en MO de nos sols explique la faible densité des champignons par rapport aux bactéries. En fait, les champignons sont des organismes hétérotrophes dont la prolifération exige la présence des matières organiques **(DOMMERGUES et MANGENOT, 1970 ; ALEKSANDER, 1982**).

Les champignons ne sont pas les plus nombreux des micro-organismes du sol, mais leur poids est très important, du fait de leur grande taille, comparativement aux bactéries (**HUBER et SCHAUB, 2011**).

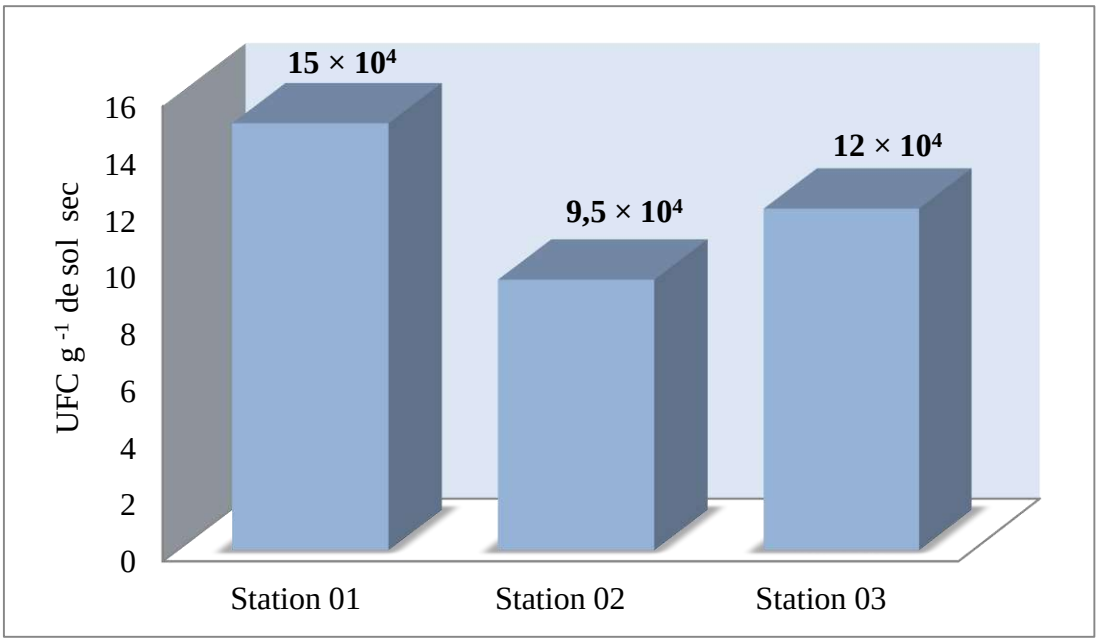


Figure 13 : Variation de la densité de la microflore fongique dans les sols des trois stations d'étude

La présence de la microflore fongique que nous avons signalée au niveau des stations d'études montre une adaptation des champignons du sol aux conditions de sécheresse extrême attribuée à leur faculté de produire des spores **(SASSON, 1967).**

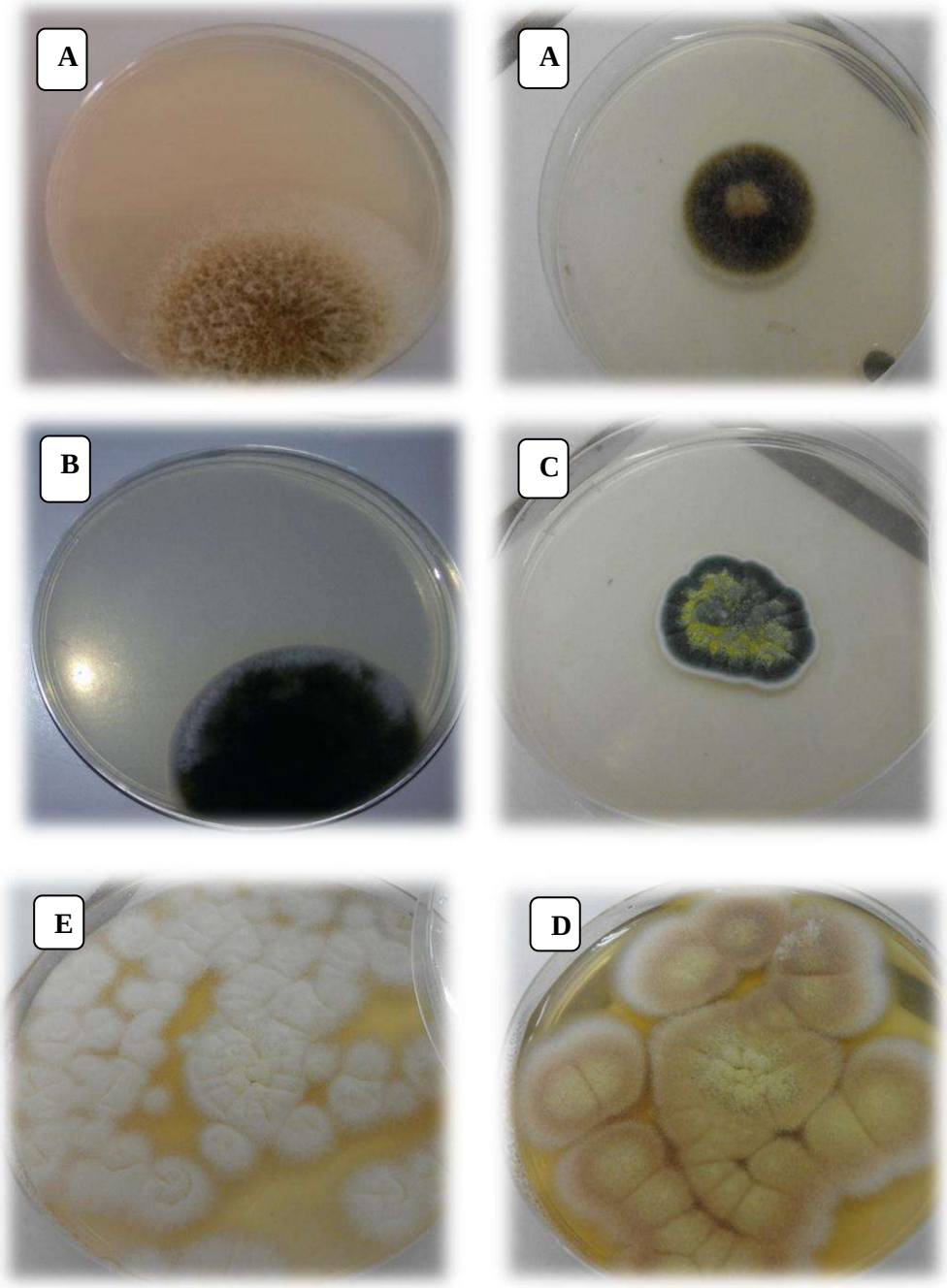
A la catégorie des microorganismes les plus xérophiles ; c'est à dire capables de se développer à des teneurs en en eau très faibles appartiennent à des genres *d'Aspergillus, Pénicillium***.** Les *Aspergillus* sont d'ailleurs caractéristiques des climats chauds arides (**DOMMERGUES et MANGENOT 1970)**.

En utilisant les clés de détermination des champignons de **BOTTON et BRETON (1990**) on a pu identifier quelques genres isolés sur le milieu PDA (*Aspergillus. sp, Penicillium. sp, Alternaria .sp et Cladosporuim .sp)*

Les genres fongiques isolés par la présente étude sont semblables à celles isolés par **OUSTANI (2006) et BAZZINE (2009)** du sol d'Ouargla.

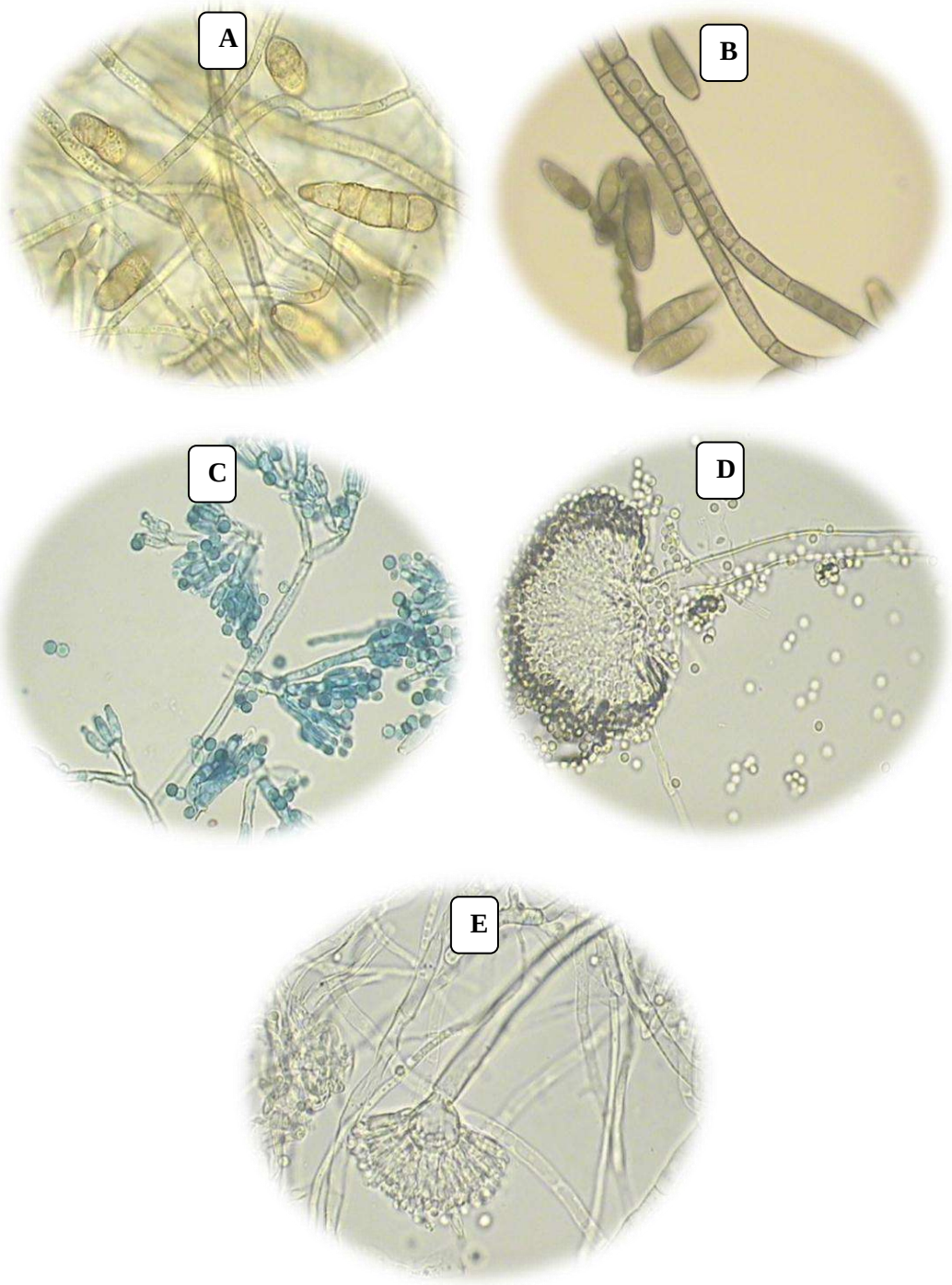
En fait, les genres *Aspergillus et Penicillium* sont fréquents dans tous les sols désertiques. Selon **KILLIAN et FEHER(1939)**, la fréquence du genre *Aspergillus* est de 60% et celle du genre *Penicillium* est de 40% dans les sols désertique extrêmes.

Les Photos 06 et 07montrent l'aspect macroscopique et microscopique de certains genres représentants de la flore fongique isolés sur le milieu PDA.



Photos 06 : Aspects macroscopique des champignons

A: *Alternaria. sp* , **B** : *Cladosporuim .sp*, **C**: *Penicillium. sp* , **D**: *Aspergillus.sp*, **E**: *Aspergillus sp*



Photos 07: Microphotographies (observées au microscope optique) des Champignons :
A : *Alternaria* sp **B** : *Cladosporuim* sp **C**:*Penicillium sp*, **D**: *Aspergillus sp*, **E**: *Aspergillus sp*
(G ×100).

3.1.3. Les actinomycètes

Les résultats enregistrés pour ce groupe microbien montrent que la présence de ce que groupe microbien a été signalée seulement au niveau d'Oued El N' sa (S2), avec une densité de 1×10^4 UFC g^{-1} de sol sec(Fig.14).

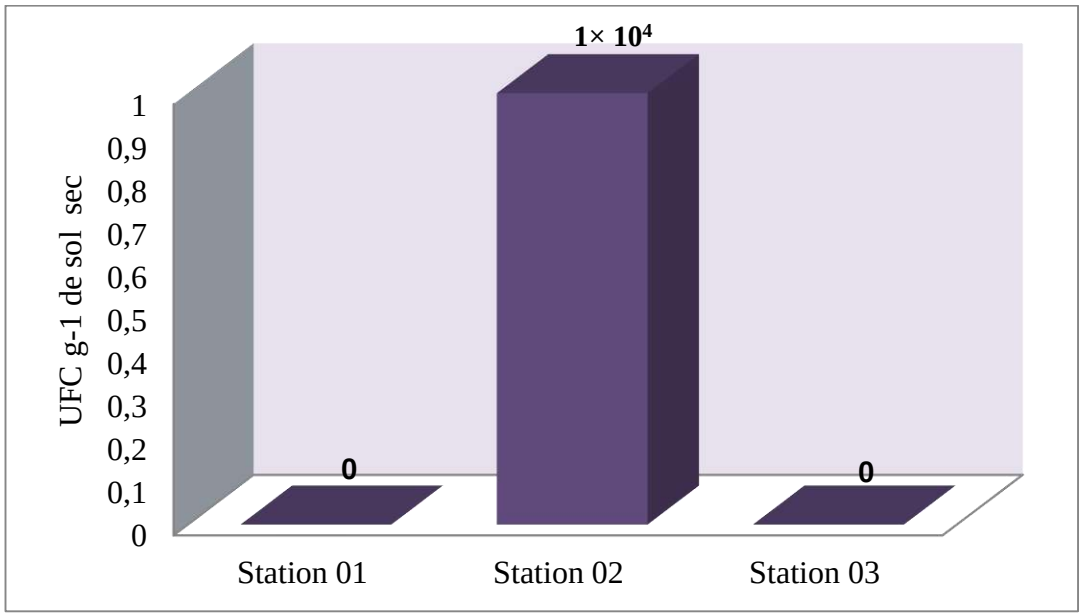


Figure 14 : Variation de la densité des actinomycètes dans les sols des trois stations d'étude

D'une manière générale, la densité des actinomycètes est beaucoup plus faible que celle des champignons et des bactéries au niveau des trois stations, ce qui peut être expliquer par leur faible pouvoir compétitif par rapport autres microorganismes **(AFES, 1998 ; BEN SOLTANE *et al.*, 1999).**

Selon **DOMMERGUES et MANGENOT (1970**),la densité des actinomycètes est en général 3 à 15 fois plus faible que celle des bactéries (**DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).**

La forte résistance des actinomycètes aux conditions extrêmes explique leur grande extension. D'après **DOMMERGUES et MANGENOT(1970)**, les actinomycètes sont présents sous tous les climats, sur tous les types de sol**.** Cette caractéristique justifiée leur présence au niveau de la station de Oued El N'Sa malgré la forte teneur en gypse (74,5% de gypse) à son niveau.

En outre, la faible colonisation du sol au niveau de la station de Oued EL N'Sa par la microflore bactérienne et fongique a probablement favorisé la prolifération de actinomycètes

Les résultats de l'examen macroscopique et microscopique des actinomycètes isolés sur milieu KRAINSKY sont illustrés dans Les Photos 08.

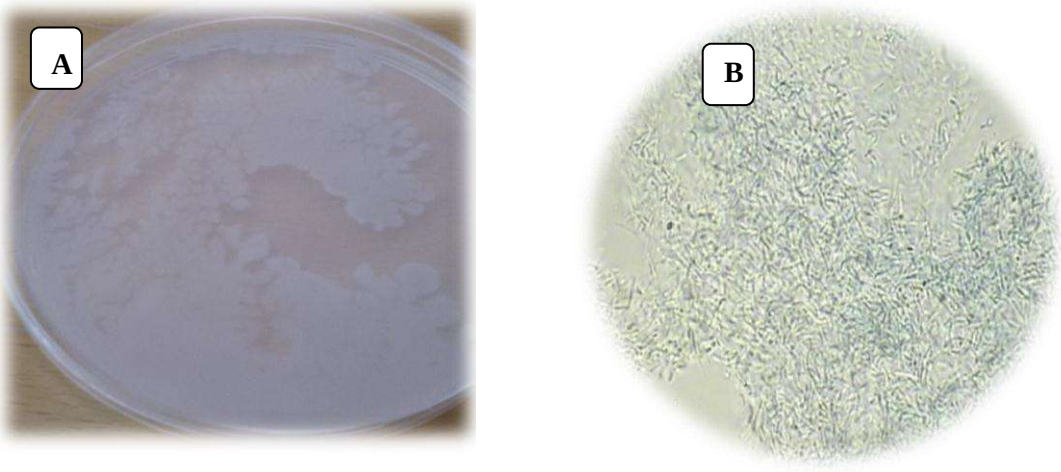


Photo 08:A : Microphotographies (observées au microscope optique)

B : Aspect macroscopique des actinomycètes (Station 2).

3.1.4. Microflore algale

Les résultats relatifs à la microflore algale montrent que les algues sont faiblement présentées par apport aux autres groupes. Les densités enregistrées sont de $9,3\times10^2$; $4,3\times10^2$ et15×10^2 UFC g^{-1} de sol sec respectivement pour les stations de Hassi Miloud, Oued el N'sa et M'Rara (Fig. 15).

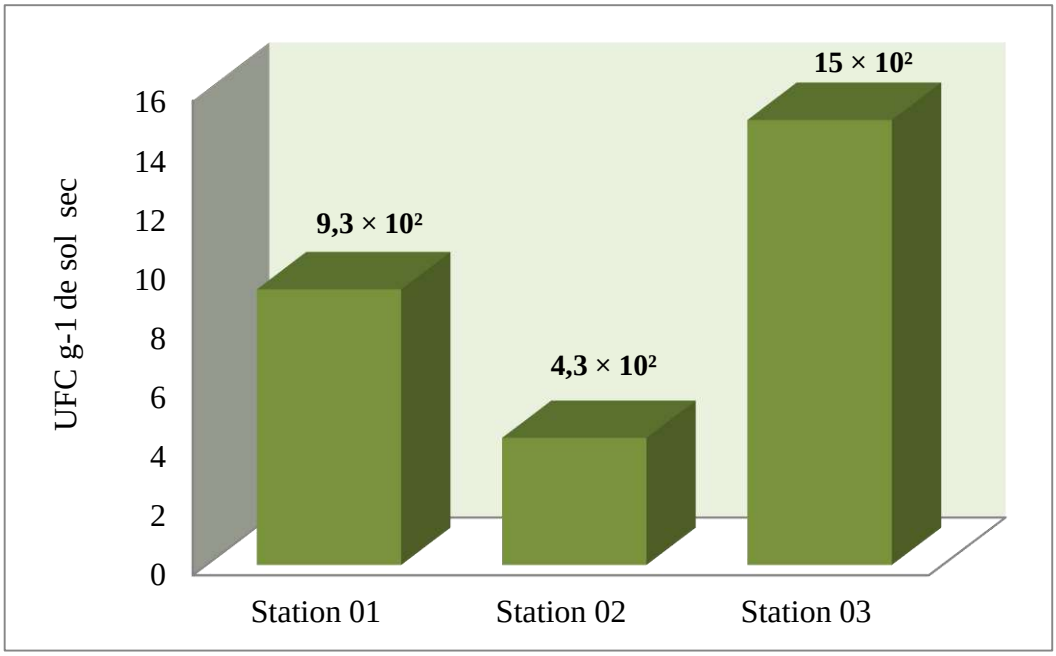


Figure 15 : Variation de la densité de la microflore algale dans les sols des trois stations d'étude

Selon **DAVET (1996)**, la densité des algues dans les sols varie entre 10^2 et 10^9 individus d'algues par gramme de terre.

Enfin, il est admis que la présence des algues reste une caractéristique de faible évolution pédologique des milieux colonisés. Elles constituent ainsi, le stade initial de la végétation des roches et des sols minéraux infertiles : terrains salés, déserts, sols dégradés. L'abondance des algues a été mise en évidence, même pendant la sécheresse estivale et dans des échantillons prélevés entre 10 à 15 centimètres de profondeur (les chlorophycées prédominent en raison de leurs facultés de produire des spores) (**SASSON, 1967**).

Les algues unicellulaires et filamenteuses ont un rôle important comme producteurs primaires dans les sols désertiques (**ROGERT et GARCIA, 2001)**.

Un pH légèrement alcalin favorise le développement des algues **(FOGG et COLL, 1973)**. Ce qui observé de nos échantillons du sol à permis une présence d'une microflore algale assez importante.

La forte densité de la microflore algale au niveau de la station de M'rara peut être du la présence du gypse qui peut potentiellement fournir un microenvironnement qui protège les

algues de l'exposition aux températures extrêmes, aux flux des radiations UV, et la dessiccation. D'autre part, ce type de gypse est suffisamment translucide pour permettre la photosynthèse et de la fixation de N_2 à se produire dans la roche (**HAILIANG *et al.*, 2007**).

En fait, c'est au niveau des croûtes gypseuses (de type endolithique et épilithique) de cette station qu'on a pu constater la prédominance des algues photosynthétiques (Chlorophycées) du genre Chlorella dans ces roches.

La capacité des algues photosynthétiques à résister à la dessiccation dans des environnements arides est due en partie au fait qu'ils colonisent la face inférieure des roches translucides. Le dessous de ces roches fournit assez d'humidité condensée pour la croissance des algues, tandis que la nature translucide de la roche permet à lumière pour atteindre l'organisme pour que la photosynthèse se produise.

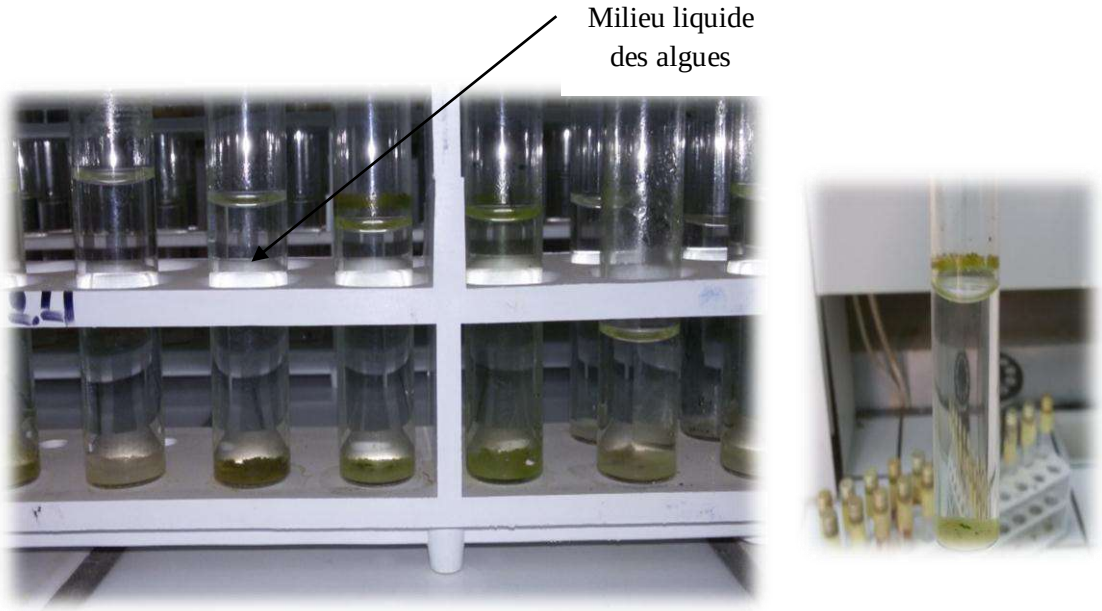
Des résultats similaires ont été obtenus par **BELNAP et GARDNER (1993)** sur des croûtes microbiotiques du plateau du Colorado aux États-Unis.

Selon **KILLIAN** et **FEHER** (**1939**), les spores des algues du sol peuvent passer à l'état de vie latente, pendant des années et elles reprennent leur activité, dès les premières pluies.

La faible densité de la microflore algale enregistrée par notre étude confirme les travaux précédents de **BAZZINE (2009)** réalisé sur les croûtes biologiques des sols gypseux de Ouargla et ceux de **ZEGHIB (2010)** réalisé sur les sols gypseux de la région de M'Rara. Ces constatations peuvent avoir comme causes : le taux d'humidité, la salinité, le taux de gypse et de la texture du sol.

La photo 09 montre quelques aspects macroscopiques de la prolifération des sols gypseux des stations (M'rara, Hassi Miloud, Oued N'sa) par les algues du genre Chlorella.

La photo 10 montre quelques aspect macroscopies de quelques genres d'algues observés sur des cultures microbiennes en milieu liquide au niveau des stations d'étude (Hassi Miloud, Oued N'sa, M'rara)



Photos09 : Quelques aspects macroscopiques des algues du genre Chlorella

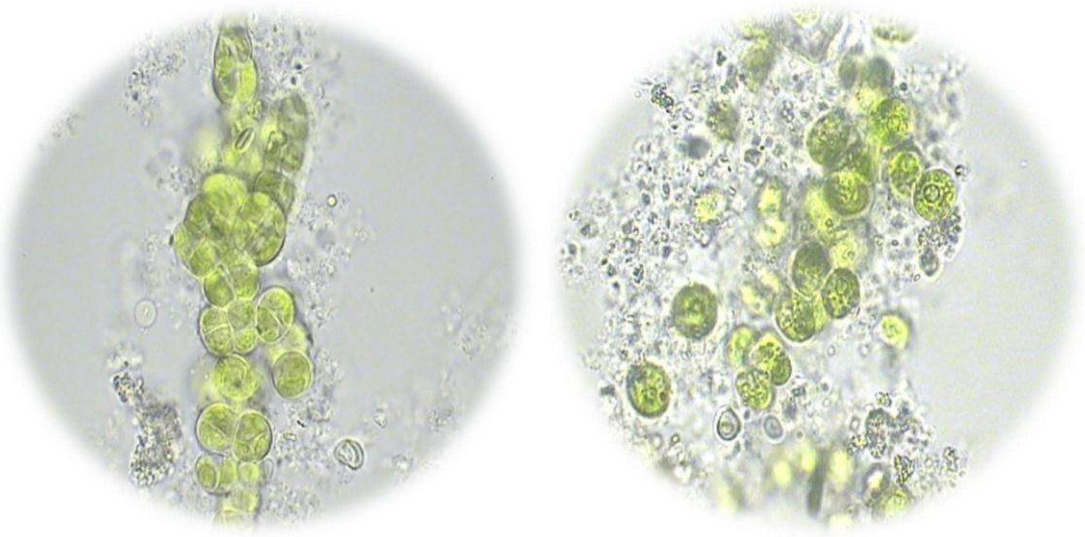


Photo 10 : Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques de la microflore algale (**Genre Chlorella (G×100)**

4. Détermination la biomasse microbienne ($C_{microbien}$ et $N_{microbien}$) dans les trois Stations étudiées

Le concept de la biomasse microbienne fait référence à la fraction vivante de la matière organique, considérant l'ensemble des microorganismes du sol comme un tout. La proportion du carbone total sous forme vivant est pour un type de sol donné, un bon indicateur du statut organique du sol **(CHAUSSOD, 1996)**.

Selon **GOBAT *et al.* (2003)**, la biomasse microbienne est la masse de cellules vivantes dans un sol donné. Elle peut être déterminée par la méthode de Fumigation - Extraction **AFNOR(1999)**.

Etant que le carbone et l'azote sont les facteurs les plus limitant à la vie microbienne **(JOERGENSON, 1995 ; DAVET, 1996**), on a essayé dans cette partie de notre travail d'estimer la biomasse microbienne du carbone et de l'azote.

Les valeurs du $C_{microbien}$ varient entre une valeur maximale de 12,5mg C Kg^{-1}de sol sec enregistrée au niveau de la station de M'rara et une valeur minimale de 8,1 mg C Kg^{-1} de sol sec au niveau de la station de Oued El N'sa. La station Hassi Miloud occupe une position

intermédiaire entre les deux stations avec une quantité du carbone microbien de 10,2CKg^{-1}(Fig. 16).

Quant à l'azote microbien, les résultats enregistrés semblent suivre le même ordre que ceux du carbone microbien. Les valeurs de l'azote microbien varient de 1 mg N Kg^{-1}de sol sec enregistré au niveau de station Oued El N'sa et de 2,5 mg N Kg^{-1}de sol sec enregistrée au niveau de la station de M'Rara. La station Hassi Miloud occupe une position intermédiaire avec 1, 5 Cmg N Kg^{-1} de sol sec(Fig. 17).

Ces faibles teneurs en carbone et en azote microbien sont dus à la faible population microbienne au niveau de nos échantillons à cause des conditions pédoclimatiques extrêmes qui ne favorisent pas la prolifération microbienne (fortes températures, faibles précipitations, faible capacité de rétention en eau, forte salinité, texture grossière, salinité ….etc.), comme il est déjà suscité pour le dénombrement microbien.

Les faibles valeurs du carbone microbien enregistrées sont dues aux faibles teneurs en matières organiques par suite de la faible couverture végétale au niveau des trois stations (autrement dit par les faibles restitutions organiques aux sols).

L'importante de l'azote microbien au niveau de la station de M'Rara comparativement aux autres stations peut être expliqué parla colonisation relativement plus élevée du sol gypseux au niveau de cette station par les bactéries fixatrices de l'azote.

Les valeurs de la biomasse microbienne trouvées par **BAZZINE (2009)** dans les croûtes biologiques du sol gypseux sont plus élevées que les résultats obtenus par cette étude, ce qui peut être du à la différence de la période des prélèvements, au couvert végétal et aux propriétés physicochimiques du sol de chaque essai.

Enfin, les résultats de l'estimation de la biomasse microbienne au niveau des trois stations confirment dans l'ensemble les résultats de dénombrement de la densité microbienne au niveau des trois stations.

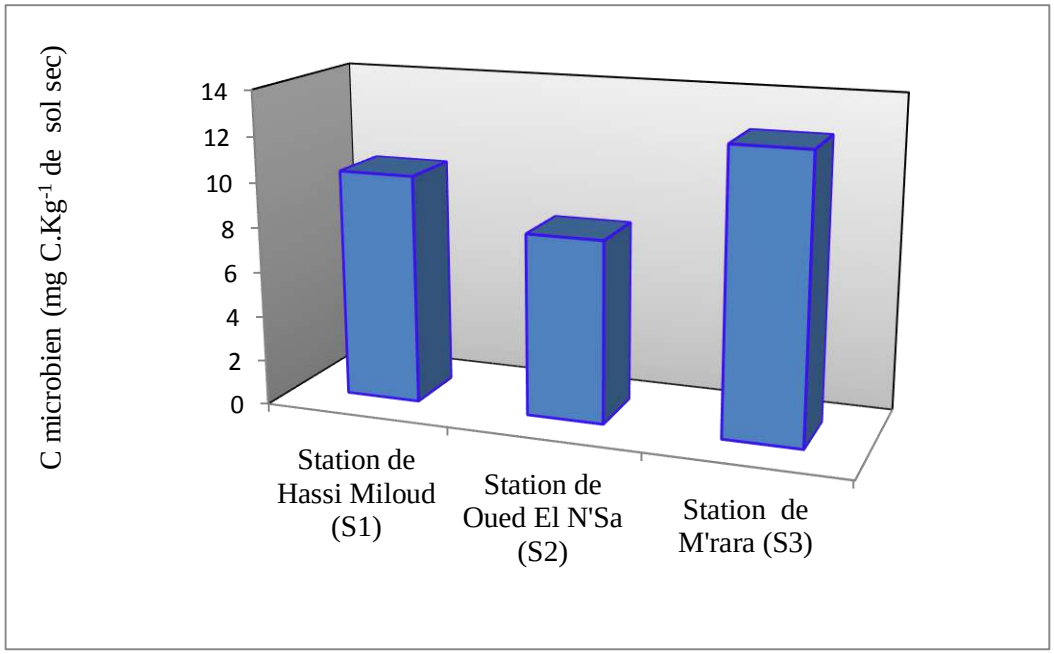


Figure 16 : Valeurs du $C_{microbien}$ au niveau des trois stations d'étude

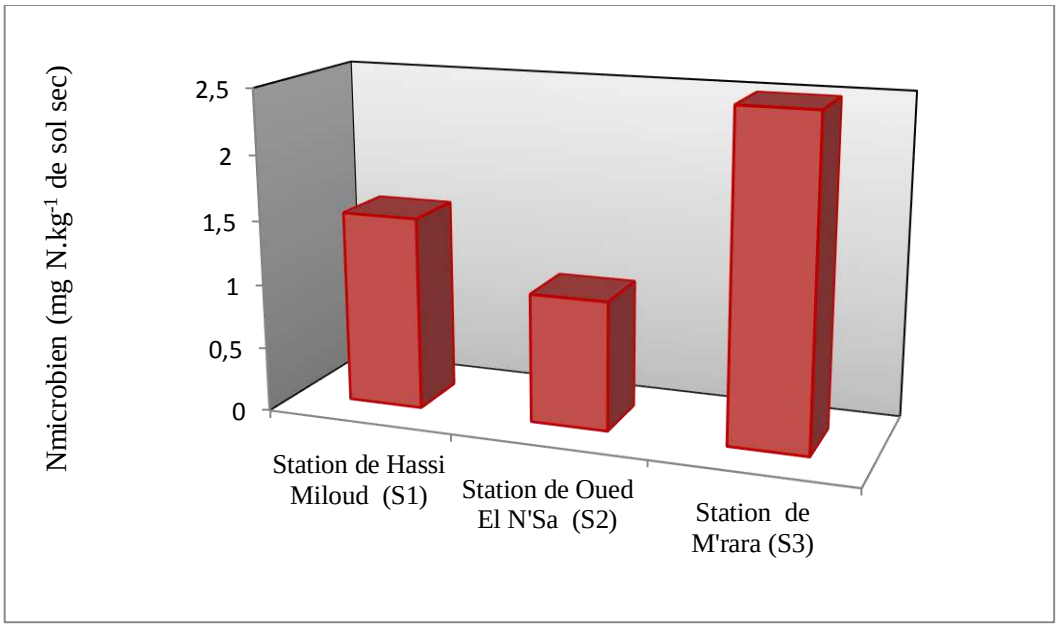


Figure 17 : Valeurs du $N_{microbien}$ au niveau des trois stations d'étude

5. Observation microscopique de quelques lames minces

L'observation d'un échantillon de roche à l'œil nu apporte de précieux renseignements mais ne permet pas de différencier les différents minéraux. Il faut alors utiliser des lames minces qu'on observe au microscope.

Les figures 16, 17 et 18 représentent des observations microscopiques de lames minces des horizons gypseux de surface où on observe des résidus de matière organique issues des croûtes biologiques dans la porosité du sol, notamment entre les cristaux de gypse. (Échantillons des sols de station 02 et station 03)

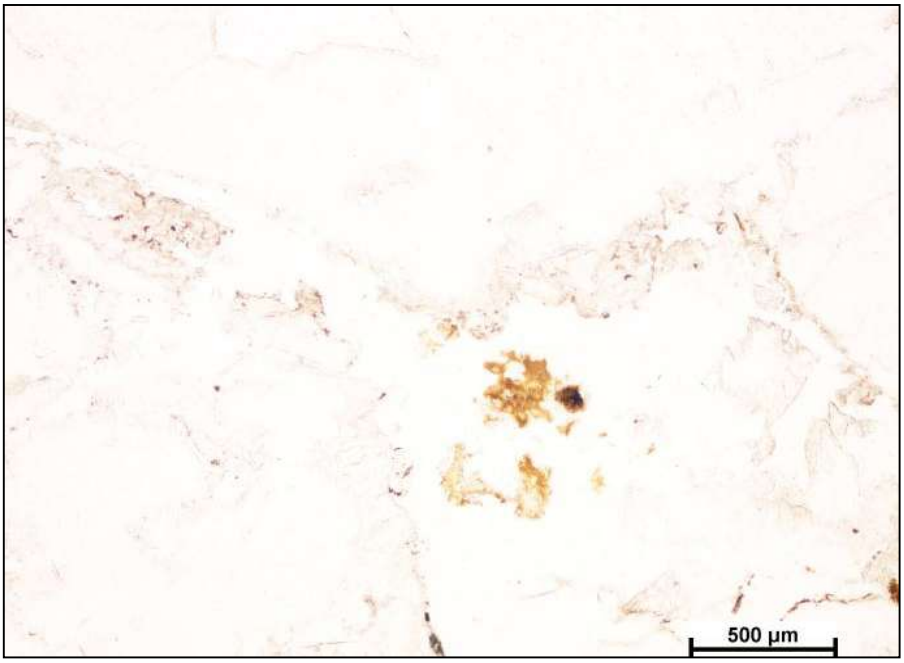


Figure 18 : Substances organiques dans une croûte biologique endolithique de l'horizon gypseux (**Station 03 : M'Rara**)

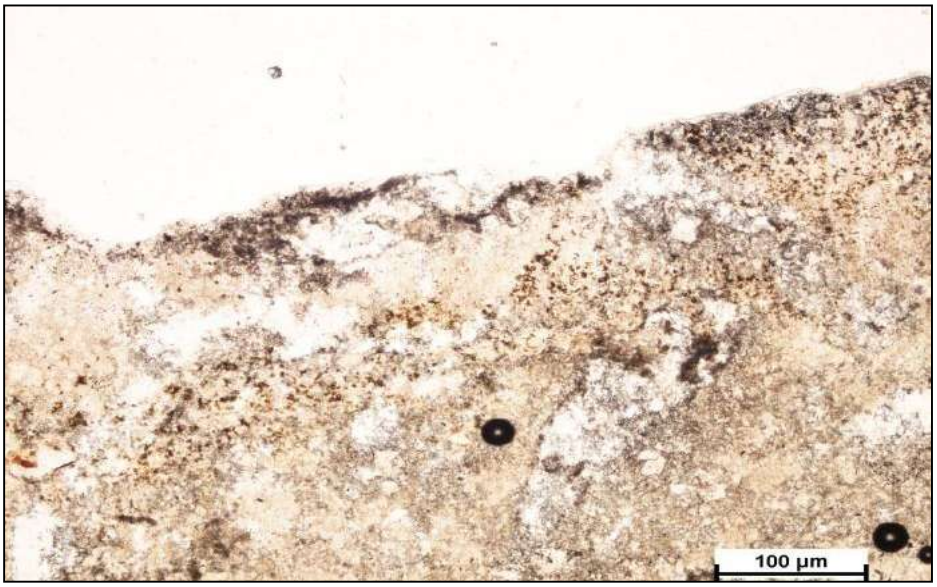


Figure 19 : Traits organiques dans une croûte biologique épilithique de l'horizon gypso-calcaire de surface (**Station 02 : Plateaux gypseux d'Oued N'sa)**

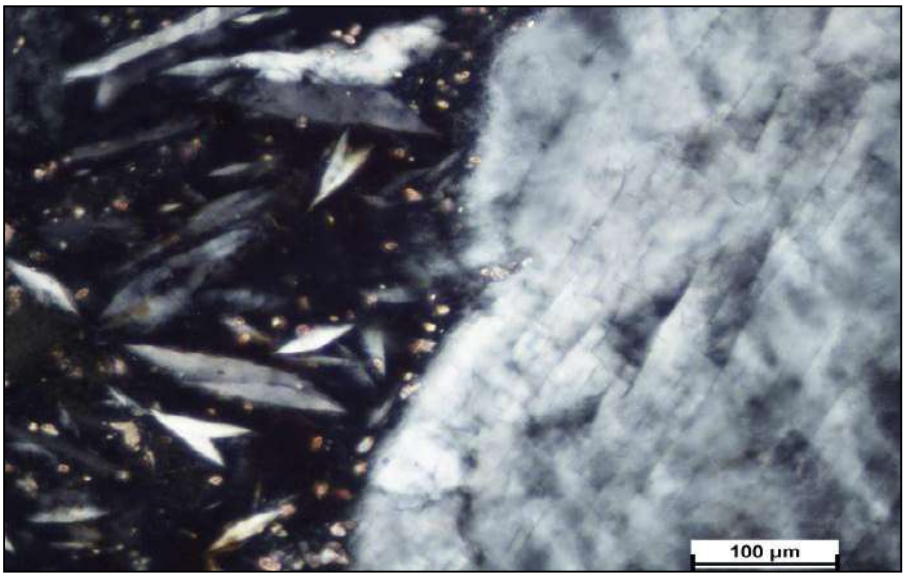


Figure 20 : Interface substances organiques cristaux lenticulaire de gypse dans une croûte biologique endolithique de l'horizon gypseux (**Station 03 : M'RARA**)

Conclusion Générale

Notre travail est une contribution à l'étude quantitative et qualitative des microorganismes qui colonisent les croûtes biologiques (Biomasse microbienne et dénombrement des germes) des sols des écosystèmes arides (cas d'une région saharienne)

La prospection sur le terrain a montré que la couvert végétal est dispersé et parfois totalement absent. Parmi les plantes spontanées qui sont rencontrées sur les sols des stations d'étude on cite : *Zygophyllum album et Cornulaca monacantha*

La caractérisation physique et physicochimique du sol des trois stations montre que :

- Le sol au niveau des trois stations étudiées est dominé par la fraction sableuse.
- Le taux d'humidité est variable d'un sol à une autre, avec un taux d'humidité relativement élevé au niveau de la station (8,1%).
- Le taux de calcaire au niveau des trois stations est faible.
- Le pH de ces sols est légèrement alcalin.
- La salinité est élevée dans le sol des trois stations.
- Le taux de matière organique est inférieur à 1%, une faible richesse en carbone et en azote.

Les résultats de dénombrement microbien montrent que tous les sols étudiés sont peuplés par une microflore diversifiée et adaptée aux conditions difficiles du milieu saharien et laissent apparaitre des légères variations entre les trois sols en nombre de germes avec des valeurs maximales pour le sol de station 03 suivi par la station 01 et ensuit station 02.

Le dénombrement des germes montre que les bactéries sont les micro-organismes les plus abondants dans les sols de station03 et 02à cause de leur grand pouvoir de multiplication

suivie par les champignons. Il est à signaler que le groupe des actinomycètes a été mise en évidence seulement au niveau de la station (2) d'Oued El N'sa. Tandis que les algues sont les moins abondantes.

Les résultats de l'estimation de la biomasse microbienne par la méthode d'extraction-fumigation sont dans l'ensemble faibles, toutefois une légère supériorité a été enregistrée au niveau de la station 3 confirmant ainsi, les résultats de dénombrement la densité microbienne.

Les valeurs du $C_{microbien}$ sont de l'ordre de 10.2, 8.1 et 12.5 mg C/Kg de sol sec, alors que ceux de $N_{microbien}$ sont de 1.5, 1 et 2.5 mg C/Kg de sol sec respectivement pour la station de Hassi Miloud et Oued El N'SA et M'rara.

Sur le plan qualitatif, on a enregistré la présence des champignons de genre *Aspergillus sp, Penicillium sp, Alternaria sp et Cladosporuim sp.* Des bactéries forme Cocci isolés et de forme bacilles, des actinomycètes et des algues unicellulaires genre *chlorella*.

Ces résultats montrent donc que les sols des trois stations, bien qu'ils sont soumis à des conditions écologiques extrêmes, ils peuvent abriter une microflore diversifiée et adaptée aux conditions climatiques et édaphiques qui sévissent dans ce biotope aride.

A la lumière des résultats obtenus, il ressort que les croûtes biologiques sont un élément clé dans les environnements arides et toutes les études sur les croûtes biologiques a travers le monde, ont montré l'importance de ces dernières dans le fonctionnement et la protection de ces écosystèmes surtout leur rôle de protection des sols contre l'érosion hydrique et éolienne qui constitue une menace majeure.

Les croûtes biologiques des sols sahariens de notre pays restent mal connues de point de vue répartition géographique, biodiversité et fonctionnement écologique, ce qui nécessite la multiplication des travaux de recherches dans ce domaine, notamment par des études de télédétectation par satellite ou par la cartographie de ces croûtes.

Références Bibliographiques

1. **ACEAM J., A. PRIETO-FERNANDEZ., N .DIZ CID.2003:** Cyanobacterial inoculation of heated soils: effect on microorganisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface. Soil BiolBiochem.35: 513-524.
2. **AFES. 1998:**A Sound Referance Base For Soils .INRA Editions.Paris,PP:155-159
3. **AGGOUSSINE M., 2003**: Hydrologie en régions arides et semi arides: cas du Sud- Est Marocain, terre et vie. N° 65 Juin.
4. **ALEXANDR M., 1982:** Introduction to soil microbiology, 2ème Edit. J.Wily and sons INC, 467 p.
5. **ANGELR ., Z. PASTERNAK., M.INES ., M.SOARES., R.CONRAD & O.GILLOR.2013**: Active and total prokaryotic communities in dryland soils. FEMS MicrobiolEcol,86 :130–138.
6. **AUBERT G., 1960** : les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs Caractères, de leur conservation. Actes coll. Unesco de Paris sur les problèmes de la zone aride, pp = 127- 150.
7. **AUBERT G., 1978** : Méthodes D'analyses Des Sols. Edit : C.R.D.P., Marseille, 191p.
8. **BAISE D., 2000** : Guide Des Analyses En Pédologie. INRA, Edit : Paris, 257 P.
9. **BALESDENT J., DAMBRINE E., et FARDEAU J.C.2015 :**Les sols ont-ils de la mémoire?,80 clés pour comprendre les sols. Ed Quae ; France. 176p.
10. **BASTIDA F., E .KANDELER., J.L.MORENO., M.ROS., C.GARCÍA.,& T.HERNÁNDEZ. 2008:** Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology*, *40*(2), 318-329.
11. **BAZZIN M., 2009** : Etude des croûtes biologiques de quelques sols gypseux et salins du milieu saharien (cas de la cuvette d'Ouargla).Diplôme de Magistère p. 16-61.
12. **BELNAP J., 2003**: The World at Your Feet: Desert Biological Soil Crusts. Frontiers in Ecology and the Environment, Vol. 1, No. 4. pp. 181-189
13. **BELNAP J., 2005:** Encyclopedia of Soils in the Environment. D. Hillel, editor. London, Elsevier, Crusts Biological, pp: 339-346.
14. **BELNAP J., 2006:** The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. Hydrological Processes 20, 3159-3178.

15. **BELNAP J., D.A .GILLETTE. 1997:** Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. Land Degradation and Development, 8: 355-362.
16. **BELNAP J., J. H. KALTENECKER., R. ROSENTRETER., J. WILLIAMS., S. LEONARD., AND D. ELDRIDGE. 2001:** Biological soil crusts: ecology and management. BLM Technical Reference 1730–2. United States Bureau of Land Management, Washington, D. C,110 p.
17. **BELNAP J., J.S.GARDNER.1993:** Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the Cyanobacterium Microcoleus vaginatus. Great Basin Nat 53: 40#177.
18. **BELNAP J., LANGE, O., 2001:** Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management, Ecological Studies Series. Springer-Verlag, Berlin.150 p.
19. **BELNAP J., PILLIPS S. L., AND MILLER M.E. 2004**: Repense of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. Ecologica, 141: 306-316.
20. **BEN SOLTANE A., KIHEL .M., ABD ELKHADHEM.E.,MOUSSA.A. 1999: Des** sols. Maison de l'Ouest pour l'édition et la distribution. Oran,287p.
21. **BENABDERRAHMANEM., KHEDDA.N., et HADEF.R.2006 :** Contribution a l'étude la biomasse microbienne dans un sol gypso-calcaire dans la région de Ouargla .mémoire de DES. Microbiologie, université d'Ouargla, 51p.
22. **BERGERON O., 2007 :**Dynamique des échanges de dioxyde de carbone. Collec. Mémoires et thèses électroniques univ Laval.
23. **BERGERON O., MARGOLIS, H. A., BLACK, T. A., COURSOLLE, C., DUNN A. L., BARR, A. G., & WOFSY, S. C. 2007:** Comparison of carbon dioxide fluxes over three boreal black spruce forests in Canada. *Global Change Biology*, *13*(1), 89-107.
24. **BOTTON B., BRETON A., FEVRE. M., GAUTHIER. S., GUY. PH., LARPENT. J.P., REYMOND. P., SANGLIER. J.J., VAYSSIER. Y., P. 1990 :** VEAU Moisissures Utiles et Nuisibles, .2eme édition revue et complétée. Masson Paris. 364p.
25. **BOULLARD B., MOREAU .J . 1962 :** Sol, Microflore Et Végétation. Edit ; Masson ; Paris, 289p.
26. **BOWKER M.A., S.C. REED., J. BELNAP. ,S.L. PHILLIPS.2002**: Temporal Variation in Community Composition, Pigmentation, and FvIFm of Desert Cyanobacterial Soil Crusts; Microbial Ecology, Vol. 43, No. 1,pp. 13-25.

27. **BOWKER M.A., J. BELNAP., D.W .DAVIDSON., S.L.PHILLIPS. 2005**: Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: Importance to arid-lands restoration. Ecological Applications,15(6): 1941#177-195.

28. **BRADY N.C., &R.R.WEIL, 2002**. Nitrogen and sulfur economy of soils. *The nature and properties of soils*, 524-575

29. **BRIANDET R., FECHNER .L., NAITALI .M., DREANNO. C. 2012 :** Biofilms, quand les microbes s'organisent, Carnets de Sciences, Edit ; Quae, 176p.

30. **BROCK T.D., E.D MICHAEL., T. MADIGAN.2007:** Biologie des micro-organismes. Paris : Pearson éducation France. 1047 P

31. **BROSTOFF W.N., RASOUL SHARIFI. M., RUNDEL .P.W .2005**: Photosynthess of cryptobiotic soil crusts in a seasonally inundated system of pans and dunes in the western Mojave Desert, CA: Field studies. Flora ,200: 592-600

32. **BÜDEL B., 2005:** Microorganisms of Biological Crusts on Soil Surfaces. Soil Biology, Volume 3 Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions. ed. by F. Buscot and A. Varma: 307-323.

33. **BULLOCKP., FEDOROFFN., JONGERIUS G., STOOPS G. & TURSINAT.**, **1985**: Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K.

34. **CALVET R.,2013** :edit France agricole.678p.

35. **CATIER O., ROUX .,D . 2007 :***Botanique, pharmacognosie, phytothérapie*, homéopathie. Wolters Kluwer France, Paris : Porphyre, 141 p.

36. **CHAUSSOD R., 1996**- La qualité biologique du sol : évaluation et implication. Etude et gestion du sol, N°3, Vol 4, pp : 264-275.

37. **COUTINET S., 1965 :** Méthodes d'analyses Utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Analyses d'eau .Agronomie tropicale .I.R.A.T.C.V.Paris.144p

38. **DAOUD Y., et HALITIM. A, 1994 :** Irrigation Et Salinisation Au Sahara Algérien. Sécheresse .pp : 151-160.

39. **DAVET P., 1996** : *Vie Microbienne Du Sol Et Production végétale*. Paris : INRA Éditions.127p.

40. ***DENIS* F., BINGEN E., MARTIN C., PLOY M.C., QUENTIN R.2012**: *Bactériologie médicale*; Ed Masson.594p.

41. **DOJANI S., B .BÜDEL., K.DEUTSCHEWITZ., B.WEBER .2011 :** Rapid succession of biological soil crusts after experimental disturbance in the Succulent Karoo, South Africa. Appl Soil Ecol.;48(3): 263–269.

42. **DOMMERGUES Y., et MANGENOT F., 1970** : Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie Editeurs, Paris, 796 p.
43. **DONG H., J. A. RECH., H. JIANG., H. SUN., B. J. BUCK .2007:**Endolithic cyanobacteria in soil gypsum: Occurrences in Atacama (Chile), Mojave (United States), and Al-Jafr Basin (Jordan) Deserts, J. Geophys. Res., 112, G02030.1-11.
44. **DUCHAUFOUR P., 1984 :** Abrégé De Pédologie. Masson-Edition. 220 P.
45. **DUCHAUFOUR P., 2001 :** Introduction a la science du sol, sol, végétation, environnement. Dunod, Paris. 331p.
46. **EMBERGER L., 1955** : une classification biogéographique des climats. Trav. Ins. Bot. Monptellier. 7, pp : 3- 43.
47. **ESSINGTON M.E., J.E.FOSS., &Y.ROH.200:** The soil mineralogy of lead at Horace's Villa. *Soil Science Society of America Journal*, *68*(3), 979-993.
48. **FAO. 2005:**Utilisation des engrais par culture en Algérie.FAO Rome, 61p.
49. **FOGG G.E., STEWART W.D.P., FAY P. ET WALSBEY A.E. 1973:** The Blue-green Algae. Academic Press, London and New York. 459 P.
50. **GAOFEI G., L.ZHAOJUN., F.FENLIANG., CH.GUIXIN., F.ZHENAN., L.YONGCHAO. 2009:** Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. Plant and Soil. 326: 31-44.
51. **GARCIA PICHEL F., J.BELNAP. 1996:** Microenvironments and microscale productivity of cyanobacterial desert crusts. Journal of Phycology 32: 774-177;782
52. **GARCIAPICHEL F., LOPEZ-CORTES. A., NUBEL .U .2001:** Phylogenetic and Morphological Diversity of Cyanobacteria in Soil Desert Crusts from the Colorado Plateau. Appl. Environ. Microbiol 67(4): 1902-177;1910
53. **GOBAT J., ARANGO M., MATHEY W. 2003 :**Le Sol Vivant, Base De Pédologie, Biologie Des Sols, 568 P.
54. **GORBUSHINA A.A., 2007: Life** on the rocks. Environmental Microbiology, **9**, 1613–1631**.**
55. **GRATZFELD J., 2004** : Industries extractives dans les zones arides et semi-arides : planifications et gestion de l'environnement. (UICN : gland, suisse et Cambridge, Royaume- uni) 112p.
56. **GAO G .L., G.D DING., B WU., Y.Q ZHANG, S.G QIN., Y.Y ZHAO., Y.F BAO., Y.D LIU., L. WAN., J.F DENG .2014 :** Fractal Scaling of Particle Size Distribution and Relationships with Topsoil Properties Affected by Biological Soil Crusts; 1-10p

57. **GUILLORE P., 1985 :** Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces. CNRS - INA PG., Paris.
58. **HALILAT M., TESSIER.T.2006** : Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par ajout de bentonite. Cahiers Agricultures.vol 15 : 347-53
59. **HALITIM A., 1988**: Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
60. **HALITIM A., 2011 :**Aridoculture et le développement durable. Algerian journal of aridenvironnent3 vol. 1, : 3-9.
61. **HALITIM A., ROBERT M., 1987** : Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride. (Algérie) et études expérimentations. In fedor off et all (Ed): soil micromorphology. Afes, pp: 179 – 186.
62. **HAMDI-AÏSSA B., V. VALLES., A. AVENTURIER & O. RIBOLZI.2004**: Soils and brines geochemistry and mineralogy of hyper arid desert playa, Ouargla basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management* 18: 103-126
63. **HOPKINS W.G., 2003 :** Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Brucelles .pp : 61-476.
64. **HUBER G et SCHAUB. C, 2011 :** La fertilité des sols : L'importance de la matière organique ,46P.
65. **ITA. 1975.,** Laboratoire Du Sol : Méthodes D'analyses Physiques Et Chimiques Du Sol. Institut Technologique Agricole. Mostaganem. 78p.
66. **JEFFERY S., GARDI.C., JONES.A., MONTANARELLA.L., MARMO.L., MIKO.L., RITZ.K., PERES.G., RÖMBKE.J., VAN.W.H., DER PUTTEN (eds.),2013** : Atlas européen de la biodiversité du sol. Commission européenne, Bureau des publications de l'Union européenne, Luxembourg.128p.
67. **JOERGENSON R.G., 1995:** The Fumigation-Extraction method For Microbial Biomass Nitrogen *In:* Alef K. &Nannipieri P., Eds. *Methods In Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic press Limited, 388-390.
68. **KARABI M., B.HAMDI AISSA., S.ZENKHRI., A.KEMASSI., N.BOURAS.2015: seasonal** variations affect microbiocenose arid soils in the ouargla basin (Algerian sahara). Ciência e Técnica Vitivinicola .30:0254-0223
69. **KILLIAN C., FEHER D., 1939** : Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. Paul le Chevalier Editeurs, Paris, 110p.
70. **LE HOUEROU H.N., 1975:** deterioration of the écologia équilibium in the aride zone of North Africa. FAO, Rome, pp: 45- 57.

71. **LE HOUEROU H.N. 1995**: Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Option méditerranéenne. Série B : études et recherches n 10 ; Cheam. Montpelier, 397 p.
72. **LEVY Y., E.RAVEH &J. LIFSHITZ. 2000:** The effect of rootstock and nutrition on the response of grapefruit trees to salinity. In *Proc. Int. Soc. Citricult*, Vol. 1, pp. 334-337.
73. **MALAM ISSA O., L.E BISSONNAIS., C. DEFARGE.**, **J.TRICHET .2001: Role** of a microbial cover on structural stability of a sandy soil in Sahelian part of western Niger. Geoderma 101:15 30.
74. **MAQUBELA M.P., P.N.S MNKENI., O.MALAM ISSA., M.T.PARDO., L.P. D'ACQUI .2009**: Nostoccyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. Plant Soil 315:79#177;92
75. **MAROUF A., 2000.** Dictionnaire de botanique, les phanérogames. Masson science Dunod, Paris. P32-33.
76. **MC CUNE B., ROSENTRETER R. 2007:** Biotic Soil Crust Lichens of the Columbia Basin. :1-105P.
77. **MOREL. 1989 :** Les sols cultivés. Tech et Doc. Lavoisier. Paris. 272 P.
78. **MOREL. 1996 :** Les sols cultivés. 2ème édition INRA. Paris.389P.
79. **MOUSTEFAOUI A., ZITOUNI, A., BOUTI K, BOUDJELLA H.,& SABAOU N. 1998 :** Présence des actinomycètes rares dans les sols du Sahara Algérien : Etude de quelques genres. Séminaire: Zones arides" Rétrospectives, enjeux et stratégies "Adrar ,90 p.
80. **NEDJRAOUI D., 2003:** country pasture, forage resource profils . ed. FAO. Grassland and pasture crops Algérie, pp: 1-29.
81. **NISHA R., A. KAUSHIK., C.P.KAUSHIK.2007:** Effect of cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. Geoderma 138: 49-177;56
82. **O.N.M, 2015** : Les données météorologiques d'Ouargla. Office National de Météorologie.
83. **O.N.M, 2015** : Les données météorologiques de L'Oued. Office National de Météorologie.
84. **ORLOVSKY O., M.DOURIKOV. & A.BABAEV.2004:** Temporal dynamics and productivity of biogenic soil crusts in the central Karakum desert, Turkmenistan. Journal of Arid Environments 56: 579-177; 601.

85. **OUSTANI M., 2006 :** Contribution A L'étude De L'influence Des Amendements Organique (Fumier De Volailles Et Fumier De Bovins) Sur L'amélioration Des Propriétés Microbiologiques Des Sols Sableux Non Salés Et Salés Dans Les Régions Sahariennes (Cas d'Ouargla). Mémoire De Magistère, Université d'Ouargla, 187 P.
86. **OZENDA P., 1991 :** Flore De Sahara. 3ème Edition Paris, Editions Du CNRS. 662 P.
87. **POCHON J., 1954** : Manuel Technique D'analyse Microbiologique Du Sol. Edit, Masson, Paris .123 p.
88. **POINTING *S.B.*, BELNAP.J. 2012: Microbial** colonization and controls in dryland systems, *Nature Rev. Microbiol.*10, 551–562**.**
89. **PROCH R.M., 1992**: Fabric and physical properties of soils with gypsic and hypergypsic horizon of the ebrovalley . These. P.H.D. univ. Ghent, 285 p.
90. **RAMADE F., 2003** : élément d'écologie. 3 eme édition. Dunod, 690 p.
91. **RAMEAU J.C.,MANSION** .D.**, DUME.G. 2008 :**Flore forestière : montagnes. paris institut pour le développement forestier ; 2405p.
92. **RAVEN P.H., EVERT. R. F., EICHHORN.S.E.2000:** Biologie vegetal.Edit de boeck universite, 944p .
93. **ROBERT M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Dunod Masson, paris. 240 p.
94. **ROGET P., GARCIA J.L. 2001** : Introduction à la microbiologie du sol. Marseille : Université de Provence. Pp : 193.
95. **ROSENTRETER R., M. BOWKER., AND J. BELNAP. 2007:** A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands. U.S. Government Printing Office, Denver, Colorado.110p.
96. **SASSON A., 1967 :** Recherches Eco-Physiologique Sur La Flore Bactérienne De Sol Des Régions Du Maroc. Série Botanique Et Biologie Végétale. Travaux De L'institut Scientifique Chérifien Et De Faculté Des Sciences, Rabat, N°30:27-55, 224p.
97. **SCHLESINGER W.H., PIPPEN, J.S., WALLENSTEIN, M.D., HOFMOCKEL, K.S., KLEPEIS, D.M. AND MAHALL, B.E. 2003:**Community composition and photosynthesis by photoautotrophs under Quartz pebbles, southern Mojave desert. Ecology, 84: 3222–3231.
98. **SERVANT J., 1975 :** Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, science du sol, pp :85 - 105.

99. **SMITH S.M., R.M.M.ABED& D.F.GARCIA PICHEL. 2004:**Biological Soil Crusts of Sand Dunes in Cape Cod National Seashore, Massachusetts, USA. Microbial Ecology 48: 200-177;208.

100. **STOOPS G., MARCELINO V., & MEES F. 2010**: Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, Amsterdam, 720p.

101. **VAISHAMPAYAN A., .R.P.SINHA., D.P.HADER., T.DEY., .A.K.GUPTA, U. BHAN, A.L.RAO .2001**:CyanobacterialBiofertilizers in Rice Agriculture. The Botanical Review 67(4): 453-516.

102. WEST NE., 1990 : Structure and function of microphytic soil crust in wildland ecosystems of arid to semiarid regions. Advanced Ecology Research 20: 179-177; 223.

103. **WIERZCHOS J., B.CAMARA., A.DE LOS RIOS ., F.A.DAVILA ., M.SANCHAZ ALMAZO., O.ARTIEDA., K.WIERZCHOS., B.GOMEZ-SILVA, C.MCKAY, C.ASCASO. 2011:** Microbial colonization of Ca-sulfate crusts in the hyperarid core of the Atacama Desert: Implications for the search for life on Mars.*Geobiology*, 9, 44-60.

104. **WRI., 2002:** World resources institute. drylands, people, and ecosystem goods and services :aweb-baseed geospatial analysis.

105. **ZEGHIB M., 2010** : Contribution à l'étude de la biomasse microbienne des sols gypseux Dans la rive gauche de l'Oued Righ (cas de la région de M'rara). Mém. Ing. Eco.70p.

106. **ZHANG Y.M., . H.L.WANG., W.K .WANG., D.Y.ZHANG. 2006:**The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of northwestern China. Geoderma 132: 441-177; 449.

107. **ZOMBRE P .N. , 2006 :**Variation De Lascivité Biologique Dans Les Zipella (Sols Nus) En Zone Subsaharienne Du Burkina Faso Et Impact De La Technique Du Zaï (Techniques Des Poquets)*Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2006 10 (2), Pp:139 – 148.

Annexe I :

Tableau 01 : Echelle granulométrique

Taille	<5µm	5 à 100µm	100 à 200 µm	200 à 500 µm	0,5 à 1mm
Classes	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier

Tableau 02 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 **(AFNOR, 1999)**

CE (dS/m) à 25°C	**Degré de salinité**
<0.6	Sol non salé
0.6<CE<2	Sol peu salé
2<CE<2.4	Sol salé
2.4<CE<6	Sol très salé
CE>6	Sol extrêmement salé

Tableau 03 : Echelle d'interprétation de pH -extrait 1/2,5- **(Aubert, 1978)**

pH	**Interprétation**
> 9	Sols très alcalins
8,5<pH<9	Sols fortement alcalins
7,9<pH<8,4	Sols moyennement alcalins
7,4<pH<7,8	Sols légèrement alcalins
6,6<pH<7,3	Sols très légèrement acides
6,H<pH<6,5	Sols légèrement acides
5,6<pH<6	Sols moyennement acides
5,H<pH<5,5	Sols fortement acides
4,5<pH<5	Sols très fortement acides
< 4,5	Sols extrêmement acides

Tableau 04 : Appréciation de la teneur en matière organique **(AUBERT, 1978).**

Matière organique %	Nom de classe
Inférieur à 1	Sol pauvre en MO
1à2%	Sol moyennement riche en MO
2à3%	Sol riche en MO
Supérieur à 3%	Sol très riche en MO

Tableau 05 : Classe des sols gypseux **(BARZANJI, 1973)**

Gypse (%)	Nom de classe du sol
<0.3	Non gypseux
0.3 à10	Légèrement gypseux
10 à15	Modérément gypseux
15 à 25	Extrêmement gypseux

Tableau 06 : Calcaire total **(BAISE, 2000)**

$CaCO_3$ total	Horizon
$CaCO_3 < 1$	Horizon non calcaire
$1 < CaCO_3 < 5$	Horizon peu calcaire
$5 < CaCO_3 < 25$	Horizon modérément calcaire
$25 < CaCO_3 < 50$	Horizon fortement calcaire
$50 < CaCO_3 < 80$	Horizon très calcaire
$80 < CaCO_3$	Horizon excessivement calcaire

Tableau 07 : Azote total **(HENIN, 1969)**

N total %	Richesse du sol
$\leq$ 0.5	Sol très pauvre
0.5 $< N\ total \leq$ 1.0	Sol pauvre
1.0$< N\ total \leq$1.5	Sol moyen
>1.5	Sol bien pourvue

Annexe II :

Milieux de culture

A- Milieu de culture pour les germes totaux : Gélose à l'extrait de terre (POCHON, 1954):

- -Agar-agar…..……..……..……..….15g
- -Extrait de terre…….....…….....…200ml
- -Eau distillée…….……..….800ml

B- Milieu de culture pour les bactéries : Gélose nutritive à l'extrait de terre (POCHON, 1954):

- Extrait de viande …….…...…… 1g
- Extrait de levure …....…….…2g
- Chlorure de sodium…….....…….….5g
- Peptone…….....……..…….…....….10g
- Agar-agar……...……..…….….15g
- Extrait de terre…….....……..…….……100ml

Dissoudre les constituants dans 900ml d'eau distillée, puis dans l'autoclave à 121°C pendant 15 min.

C- Milieu de culture pour actinomycètes : milieu de KRAINSKY (DUCHE, 1934)

- Glucose …….....……...…….……..10g
- Asparagine…….……...…...…….0.5g
- Phosphate bi-potassique(PO_4HK_2)…….....……..….0.5g
- Gélose…….....……...…..15g
- Eau distillée …….....…….……..1000ml

Ajusté à pH = 7

D- Milieu de culture des algues d'après POCHON (1954)

- Nitrate de calcium…….....……..…….....……0.1g
- Phosphate bi-potassique……..……..…..…0.4g
- Sulfate de Manganèse…….....…….…..……0.4g
- Perchlorure de fer…….…….....traces
- Extrait de terre …….....…….……..... 200ml

- Eau distillée800ml----------

C-Milieu pour les champignons : P.D.A

- pomme de terre ---------- 200 g
- Glucose ---------- 20 g
- Agar –agar ---------- 15 g

-Préparation de l'extrait de terre

- Choisir une terre assez riche (type terre de jardin) de pH neutre ou légèrement alcalin et, autant que possible, employer toujours la même terre.
- Mélanger à poids égal terre et eau du robinet (si elle n'est pas exagérément chlorée), ou mieux, eau de source ou de puits. Laisser macérer 24 h à la température du laboratoire. Porter à l'autoclave 1 h à 130C°. laisser décanter et filtrer à chaud sur papier. Vérifier le pH qui doit être voisin de la neutralité. Répartir en récipients bouchés au coton, stériliser 20 minutes à 112C°

Coloration de Gram

Technique de coloration qui est la plus utilisée dans l'étude et la classification des bactéries en deux grands groupes : les bactéries à Gram positif et à Gram négatif.

A partir des boîtes de pétries contenant des souches de bactéries différentes: Observer l'aspect, la couleur et la forme des colonies

a) Faire un frottis

- Flamber l'anse de platine jusqu'à ce qu'elle devienne rouge.
- Laisser refroidir l'anse.
- Trouver une colonie isolée sur la gélose
- Toucher à cette colonie avec l'anse de platine.
- Émulsionner les bactéries prélevées dans la gouttelette d'eau.
- Flamber l'anse de platine jusqu'à ce qu'elle devienne rouge.
- Fixer le frottis à la chaleur de bec benzine
- Débuter la coloration.

b) Coloration

1. Déposer quelques gouttes de solution de violet de gentiane sur le frottis fixé (1minute)
2. Rejeté le violet de gentiane et Rincer très brièvement en faisant couler de l'H2O sur la lame au Dessus du frottis
3. Déposer quelques gouttes de lugol sur le frottis, qui facilite la fixation du colorant. (Laisser agir 1 minute)
4. Décoloré à l'alcool pendant 10 secondes puis l'alcool est éliminé par un rinçage abondant à l'eau distillée.
5. La dernière étape de la coloration consiste à faire un deuxième colorant rose (la fuchsine diluée) de 30 secondes à 1 minute.
6. Laver a l'eau
7. Sécher et examiner a l'immersion **(DENIS *et al* ., 2012)**

Classification d'Emberger :

Emberger caractérise les bioclimat par les variations d'un coefficients pluviométrique (Q) , établie en fonction de la pluviosité annuelles P (en mm) , et des moyennes thermique de minima de mois le plus froid (m) et du maxima de mois le plus chaude M en (C°)

$$Q=\frac{100p}{(M+m)(M-m)}$$

Des graphique (climagramme) Q et en ordonnée et m en abscisse permettant de définir les bioclimats suivant et leurs variantes :

Méditerranée per-aride, pour Q inferieur a 10 (P inferieures a 100 mm)

Méditerranée aride pour Q Comprise entre 10 et 45 (P de 100 et 400)

Méditerranée semi-aride pour Q Comprise entre 45 70 (P de 400 a 600)

Méditerranée subhumide pour Q Comprise entre 70 100 (P de 600 a 800)

Méditerranée Peu-humide pour Q Comprise entre 110 150 (P de 800 a 1200)

Méditerranée per-humide pour Q supérieure a 150 (P supérieure a 1200)

Pour chacun de ces bioclimats, il est possible d'individualises des variantes :

Variant douce pour m supérieur a 7C°

Variant tempérée pour m comprise entre 3 et 7 C°

Variant fraîche pour m comprise entre 0 et 3 C°

Variant froide pour m comprise entre –5 et 0 C°

Variant très-froide pour m inferieures a -5 C°

Résumé

Le présent travail a été entrepris dans le but d'évaluer la quantité microbiologique des coûtes biologiques de trois stations représentatives de la région aride. Il s'agit de la station de M'rara (Région d'El Oued) et stations de Hassi Miloud et Oued El N'sa (Région de Ouargla) situées au Sud Est de l'Algérie. La biomasse microbienne a été quantifiée par la méthode de dénombrement des principaux groupes microbiens (Bactéries, Actinomycètes, Champignons, Algues) et estimée par la méthode de fumigation-extraction. Les résultats globaux de dénombrement des groupes microbiens au niveau des trois stations révèlent la prédominance de la microflore bactérienne, secondée par la microflore fongique et enfin par la microflore algale. Il est à signaler que le groupe des actinomycètes a été mis en évidence seulement au niveau de la station de Oued El N'Sa. Les résultats relatifs à la détermination de la biomasse microbienne semblent varient d'une station à l'autre, toutefois les meilleurs résultats ont été enregistrées au niveau de la station de M'rara. En fait, les résultats enregistrés pour l'estimation de la biomasse du carbone microbien sont de 12,5, 10.2 et 8.1 mg kg^{-1} et celles de l'azote microbien sont de 2.5, 1.5 et 1 mg kg^{-1} respectivement pour la station de M'rara, station de Hassi Miloud et station de Oued El N'sa. L'ensemble des résultats obtenus montrent la capacité des microorganismes des sols arides à s'adapter aux conditions écologiques extrêmes caractérisant les milieux arides.
Mots clés : Croûtes biologiques, zones arides, Biomasse microbienne, Ouargla, El Oued.

Abstract

The present work was undertaken to evaluate the microbiological quantity of biological crusts of three stations representative of the arid region. These stations are M'Rara (El Oued region) Hassi Miloud stations and Oued El N'sa (Region of Ouargla) located in south east of Algeria. The microbial biomass was quantified by the method of enumeration of major microbial groups (bacteria, actinomycetes, fungi, algae) and estimated by the method of fumigation-extraction. The overall results of enumeration of microbial groups at the three stations show the predominance of the bacterial microflora, second by fungal microflora and finally by algal microflora. It is noteworthy that the group of actinomycetes was revealed only at the Oued El N'sa station. The results for the determination of microbial biomass seems to vary from one station to another, however, the best results were recorded at the M'Rara station. In fact, the results recorded for the estimate of the biomass of microbial carbon are 12.5, 10.2 and 8.1 mg kg^{-1} and those of microbial nitrogen is of 2.5, 1.5 and 1 mg kg^{-1} respectively for M'Rara station Hassi Miloud station and station of El Oued N'sa. The overall results show the ability of microorganism's arid soils to adapt to environmental extremes that characterize arid environments.
Keywords: biological crusts, arid Zone, microbial biomass, Ouargla, El Oued.

ملخص

أجريت هذه الدراسة بهدف تقييم الجودة الميكروبيولوجية لقشور البيولوجية لثلاث محطات ممثلة للمنطقة القاحلة يتعلق الأمر بمحطة المرارة (منطقة الوا د) ومحطات حاسي ميلود و وا د النسا (منطقة ورقلة) الواقعة جنوب شرق الجزائر.
تم قياس الكتلة الحيوية الميكروبية باستخدام طريقة عد المجموعات الرئيسية الميكروبية (البكتيريا ، الفطريات الشعاعية ،الفطريات ،الطحالب) وتقديرها من خلال طريقة التبخير- استخراج. أظهرت النتائج الإجمالية لتعداد الجماعات الميكروبية في المحطات الثلاث غلبة الكائنات الدقيقة البكتيرية تليها الفطريات وأخيرا الطحالب.ومن الجدير بالذكر أنه تم الكشف عن الفطريات الشعاعية في محطة واد النسا فقط. النتائج المتعلقة بتحديد الكتلة الحيوية الميكروبية تختلف من محطة إلى أخرى، ومع ذلك، سجلت أفضل النتائج في محطة المرارة. سجلت نتائج تقدير الكتلة الحيوية من الكربون الميكروبي 2.5 ، 1.5 ، 1 ملغ كغ$^{-1}$ و من النيتروجين الميكروبي 2.5 ، 1.5 ، 1 ملغ كغ$^{-1}$ على التوالي لمحطة المرارة ،محطة حاسي ميلود، ومحطة وا د النسا . النتائج الإجمالية أظهرت قدرة الكائنات الحية الدقيقة للتربة القاحلة على التكيف مع الشروط الايكولوجية القاسية التي تتميز بها البيئات القاحلة.
كلمات البحث: القشور البيولوجية ، المناطق جافة، الكتلة الحيوية الميكروبية ، ورقلة ، الواد