

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR EL-OUED

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



N° d'ordre:

N° de série:

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie et environnement

THEME

Etude des croûtes biologiques des sols des écosystèmes arides (Cas de la Wilaya d'El Oued)

*Présenté et soutenu publiquement par : M^{me}. SOUADKIA Chaima
M^{me}. SOUADKIA Hana*

Devant le jury :

Mr. DJOUDI Abdelhak	MAB	Université d'El-Oued	Président
Mr. MEHDA Smail	MAB	Université d'El-Oued	Promoteur
M ^{me} . MEKHADMI Nourelhouda	MAB	Université d'El-Oued	Examinatrice

Année universitaire : 2016/2017

الإهداء

أولا اشكر المولى عز وجل الذي رزقني العقل وحسن التوكل عليه سبحانه وتعالى وعلى نعمه الكثيرة التي رزقني
إياها فالحمد لله والشكر لله على كل حال

اهدي هذا العمل

الى من لا يمكن للكلمات أن توفي حقهما الى من لا يمكن للأرقام أن تحصي فضائلهما
الى من ربّني وأنارت دربي وأعانتني بالصلوات والدعوات الى أغلى إنسان في هذا الوجود

"أمي الحبيبة "

الى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح وأوصلني الى ما أنا عليه

" أبي الكريم "

الى من وقف بجاني وساعدني في تحقيق حلمي لنيل شهادة الماجستير

" زوجي العزيز "

الى من أنارت حياتي وجعلتني اشعر بأغلى شعور في الكون ابنتي الغالية

"إيلاف "

الى من ساعدنا في تذليل ما واجهناه من صعوبات ولم يبخل علينا بتوجيهاته ونصائحه القيمة في إنجاز هذا العمل

أستاذي المشرف "محنة إسماعيل"

الى أخوتي حسام, ضياء, حذيفة, مؤيد, عبد الخالق و محمد أيهم الى أخوتي أماني وسندس

الى من عمل معي بكد بغية إتمام هذا العمل صديقتي ورفيقة دربي "هناء"

الى من سرنا معي طوال مشواري الدراسي والجامعي صديقتي وزميلاتي

والى كل من ساعدني من قريب وبعيد ووقف الى جانبي لإنجاز هذا العمل المتواضع

شيماء

الإهداء

الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك .. ولا يطيب النهار إلا بطاعتك .. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك .. ولا

تطيب الإخوة إلا بعفوك .. ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك " الله جل جلاله "

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة إلى نبي الرحمة ونور العالمين

" سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم "

إلى من كلله الله بالهبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من احمى اسمه بكل افتخار .. أرجو

من الله أن يمد في عمرك وستبقى كلماتك نجوم اهتدي بها اليوم وفي الغد " أبي الغالي "

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحنان .. إلى بسملة الحياة وسر الوجود .. إلى من كان دعائها سر نجاحي ..

وحنائها بلسم جراحي إلى اغلي الحبايب " امي الحبيبة "

إلى من ساعدني في تذليل الصعوبات التي واجهتني وسهل لي طريقي في انجاز هذا العمل أستاذي المشرف محدة

إسماعيل

إلى إخواني ورفقاء دربي في هذه الحياة .. معكم أكون أنا وبدونكم مثل آي شي .. إلى من أرى التفاؤل بعينهم

والسعادة بضحكتهم .. في نهاية مشواري أريد أن أشكركم عن مواقفكم النبيلة .. إلى من تطلعتم لنجاحي

بنضرات الأمل " إخواني عماد - عزيز - عبد الدائم أخواتي نجلاء - سهيلة - سلوى "

إلى من وقف بجانبني وشجعني على اكمال دراستي "زوجي العزيز"

إلى من رافقتني منذ أن حملنا حقائب صغيرة ومعك سرت الدرب خطوة بخطوة .. وما تزال ترافقني حتى الآن .. إلى

شمعة متقدة تنير حياتي "أختي شيماء"

إلى أخواتي وصديقاتي .. إلى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء .. إلى ينايع الصدق الصافي إلى من معهم

سعدت وبرفقتهم مع دروب الحياة الحلوة والحزينة سرت .. إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير .. إلى من

عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم " صديقاتي "

اهدي هذا العمل المتواضع

هناء

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^r. DJOUDI Abdelhak, Maitre-assistant à l'université d'El-Oued, pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à M^{em}. MEKJADMI Nourelhouda Maitre-assistante à l'université d'El-Oued pour avoir accepté d'examiner ce Modest travail.

Je tiens également à remercier mes Promoteur M^r. MEHDA Smail Maitre-assistant à l'université d'El-Oued, pour mes avoir fait confiance, sa disponibilité et pour avoir mes orienter avec justesse tout au long de mon cheminement, sa patience, ses encouragements et ses conseils. Nous soulignons particulièrement son sens de la pédagogie et son humanisme.

Mes sincères remerciements vont aux personnels du laboratoire pédagogique de notre faculté, à leur tête M^{me} Bouchra, pour leurs précieux aides qu'ils me ont apportés.

Nous tenant également à exprimer nos remerciements:

A tous le corps enseignants de l'Université d'El-Oued, particulièrement aux enseignants de faculté sciences de la nature et de la vie

Tous les amis et les étudiants en particulier les amis les plus proches de promotion.

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

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

BBM : Bold's Basal Medium

BSC : Biological soil crusts

CE : Conductivité Electrique

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

DHW : Direction d'Hydraulique de la Wilaya

DSA : Direction des Services Agricole

GN : Gélose nutritive

mS/cm : millisiemens par centimètre

NPP : nombre le plus probable.

OGA : Oxytétracycline Glucose Agar

ONS : Office National de Statistique

pH : potentiel d'hydrogène

UFC : unité formant colonie

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
01	Superficies des zones arides de l'Algérie	6
02	Les différents types des croutes biologiques	16
03	Températures dans la région d'étude durant l'année 2016	26
04	Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2007-2016)	27
05	Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2016	27
06	Précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2007 et 2015	28
07	Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2016	28
08	Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2016	29
09	Conditions de culture des différents groupes de microorganismes étudiés	36
10	Résultats de dénombrement de la densité microbienne dans les trois stations étudiées	45

Liste des figures

N°	Figure	Page
1	Carte des zones arides dans le monde	5
2	Carte bioclimatique de l'Algérie	5
3	Carte mondiale des zones arides	12
4	Les différent types des croûtes biologiques	17
5	La Niche Microbienne dans les paysages arides	18
6	Situation géographique de la wilaya d'El Oued	24
7	Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI"	26
8	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du souf (2007-2016).	30
9	Etage bioclimatique d'Ouargla et l'Oued selon le Climagramme D'EMBERGER	31
10	Localisation des stations d'étude	33
11	Préparation des suspensions dilutions du sol	35
12	Variation de la densité de microflore bactérienne dans les trois stations d'étude	46
13	Variation de la densité de la microflore fongique dans les trois stations d'étude	49
14	Variation de la densité de la microflore algale dans les trois stations d'étude	52

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 macroscopique des colonies bactériennes	47
05	Microphotographies présentant les aspects microscopiques des bactéries	48
06	Aspects macroscopique des champignons	50
07	Microphotographies (observées au microscope optique) des Champignons	51
08	Microphotographiesprésentant les aspects microscopiques des algues	54

Table des matières

REMERCIEMENTS	
INTRODUCTION GENERALE.....	1

Partie I: Synthèse Bibliographique

Chapitre I: Les zones arides

1. NOTION DE L'ARIDITE	3
2. REPARTITION DES ZONES ARIDES	4
2.1. DANS LE MONDE	4
2.2. DANS L'ALGERIE	5
3. LES SOLS DES ZONES ARIDES.....	6
3.1. EN ALGERIE.....	7
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	9
3.1.5. Les sols salés.....	9
4. CARACTERISTIQUES PHYSIQUE, PHYSICOCHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES SOLS DANS LES REGIONS ARIDES	9

Chapitre II: Les croûtes biologiques

1. DEFINITION.....	10
2. PROCESSUS DE FORMATION DES CROUTES BIOLOGIQUES.....	11
3. REPARTITION DES CROUTES BIOLOGIQUES.....	11
4. CARACTERISTIQUES ET CLASSIFICATION DES GRANDS GROUPES DE MICRO-ORGANISMES COMPOSANT LES CROUTES 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 DIFFERENTS TYPES DES CROUTES BIOLOGIQUES.....	15
5.1. SELON LA MORPHOLOGIE.....	16
5.2. SELON L'EMPLACEMENT DES ORGANISMES	17
6. INFLUENCE DES FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LES MICROORGANISMES DES CROUTES	19
6.1. INFLUENCE DU SOL	19

6.2. INFLUENCE DU CLIMAT	19
6.3. LA SAISON	20
6.4. INFLUENCE DE LA VEGETATION.....	20
7. FONCTIONS ECOLOGIQUES DES CROUTES 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

Partie II: Matériel Et Méthodes

Chapitre I: Présentation de la région d'étude

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	23
2. CONTEXTE ECOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE	24
2.1. GEOMORPHOLOGIE.....	24
2.2. TOPOGRAPHIE	24
2.3. PEDOLOGIE	25
2.4. HYDROGEOLOGIE.....	25
3. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES.....	26
3.1. TEMPERATURE.....	26
3.2. PLUVIOMETRIE.....	27
3.3. HUMIDITE.....	28
3.4. LE VENT	29
4. SYNTHESE CLIMATIQUE	29
4.1. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN	29
4.2. CLIMAGRAMME D'EMBERGER.....	30

Chapitre II: Méthodologie de travail

1. CHOIX DES STATIONS.....	32
2. ECHANTILLONNAGE.....	34
3. TECHNIQUES D'ETUDE ET DE DENOMBREMENT DE LA MICROFLORE	34
3. 1. PREPARATION DES SUSPENSIONS DILUTIONS.....	34
3. 2. ENSEMENCEMENT.....	35
3. 3. INCUBATION.....	36
3. 4. LECTURE DES RESULTATS ET DENOMBREMENT.....	36
3. 5. PREPARATION MICROSCOPIQUE	37
3. 6. IDENTIFICATION.....	38

Partie III: Résultats et Discussion

1. DESCRIPTION DES STATIONS D'ETUDE	41
2. RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES TROIS STATIONS ETUDIEES	44
2.1. RESULTATS DE DENOMBREMENT DE LA DENSITE MICROBIENNE TOTALE.....	44
2.2. RESULTATS DE DENOMBREMENT DE LA MICROFLORE BACTERIENNE.....	46
2.3. RESULTATS DE DENOMBREMENT DE LA MICROFLORE FONGIQUE	48
2.4. RESULTATS DE DENOMBREMENT DE LA MICROFLORE ALGALE	52
CONCLUSION GENERALE	56
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

Introduction générale

Les zones arides sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie des microorganismes du sol (**BENLAP, 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 consacrés à la microbiologie des sols des régions arides (**SASSON, 1967; AMIR *et al.*, 1985 ; MOSFAOUI *et al.*, 1998**) prouvent l'existence d'une microflore abondante et diversifiée.

Ces sols souvent dépourvues de végétation peuvent être colonisées par des microorganismes et « microphytes» formant des croûtes superficielles, connues dans la littérature sous divers noms: croûtes microbiotiques, croûtes biologiques du sol(dénomination que nous utiliserons tout au long de ce rapport), Biological soil crusts (BSC) (**BELNAP *et al.*, 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 ; TORNTHTWAITE, 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 (1968)**, **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 près de 54 kilomètres carrés, se rencontrent surtout dans continents, mais elles sont principalement concentrées en Asie et Afrique (Figure 01).

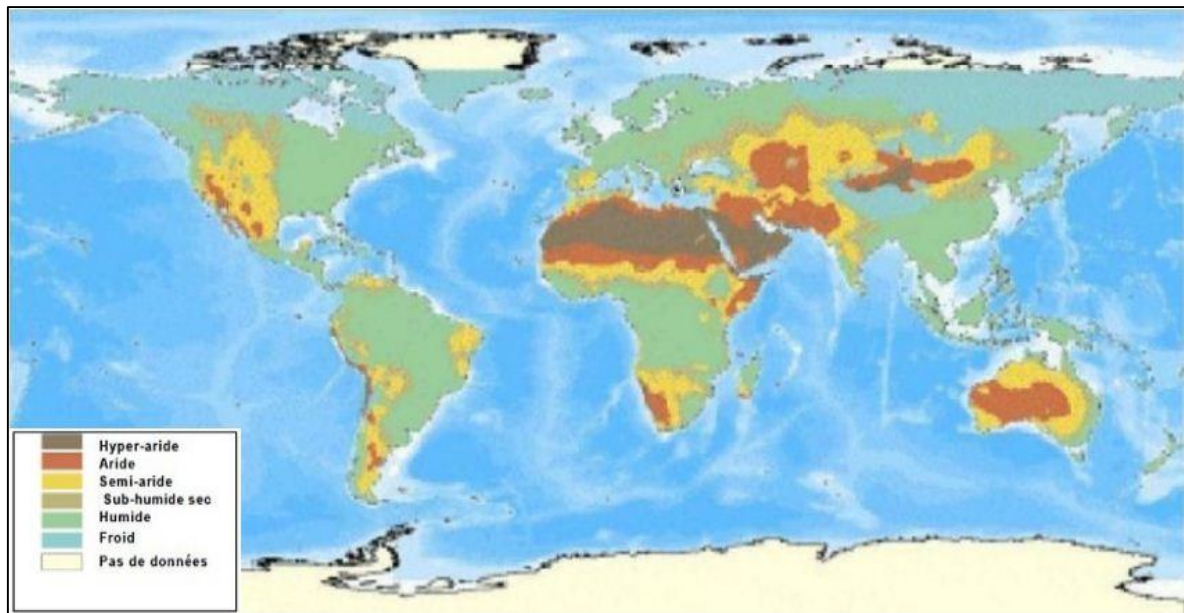


Figure 01 : Carte des zones arides dans le monde (WRI, 2002)

2.2. Dans l'Algérie

La classification bioclimatique d'Emberger etsauvage 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).

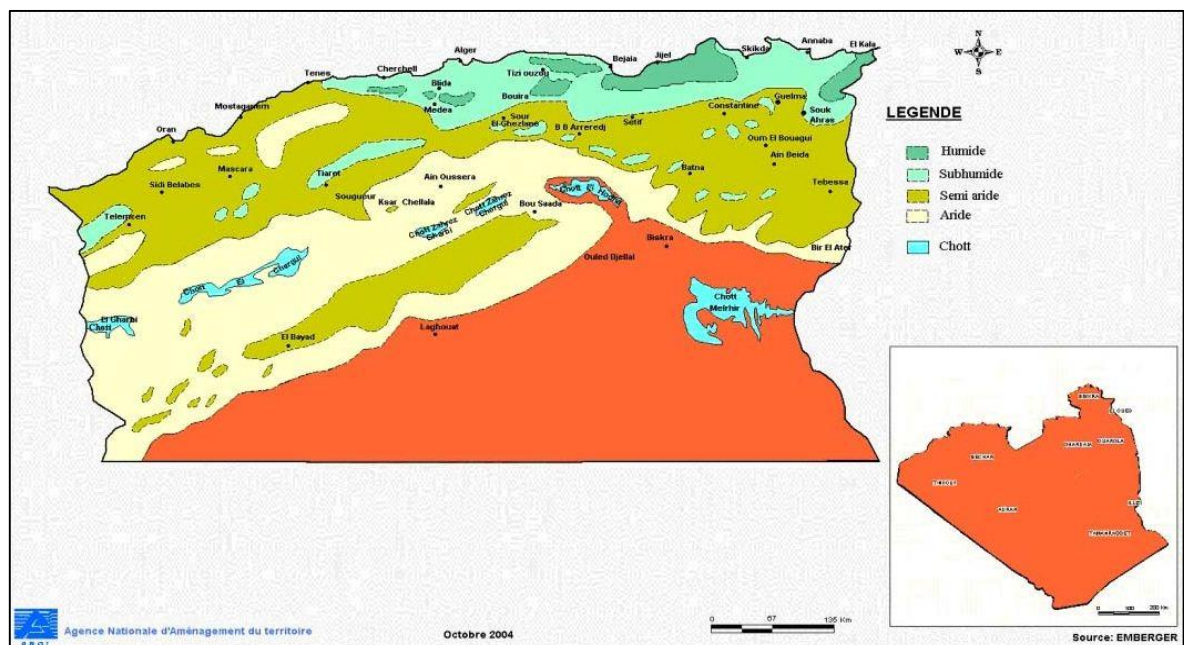


Figure 02 : Carte bioclimatique de l'Algérie (NEDJRAOUI, 2003)

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 Km², (Tableau 01).

Tableau 01 : Superficies des zones arides de l'Algérie en 10³ Km² (**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 rocaillieux 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 apparaître 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. 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 (**BENLAP, 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 (**BENLAP, 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 CONRAD, 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 BALESSENT *et al.* (2015), les zones initialement dépourvues de vie peuvent être colonisées par des micro-organismes pionniers véhiculés par le courant d'air, dès 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 CO₂ aérien quelques composés organiques. Elles en excrètent une fonction, en particulier des polysaccharides, qui leur 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 trouve 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).

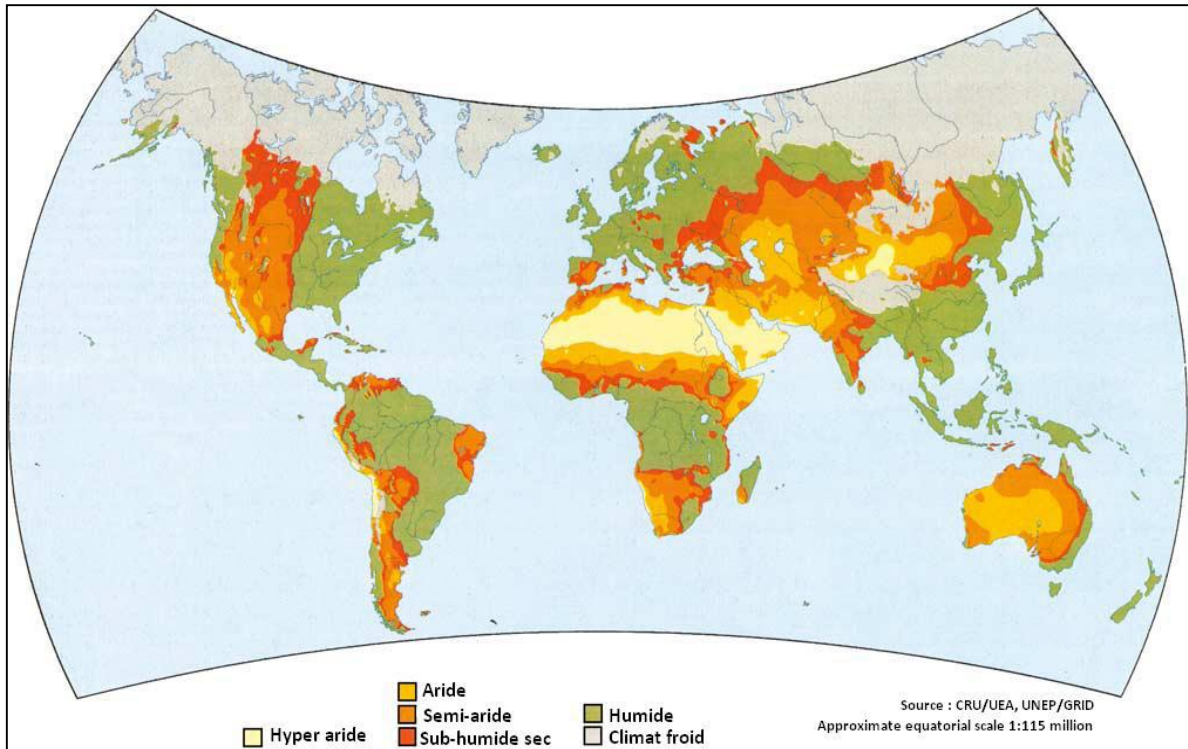


Figure 03 : Carte mondiale des zones arides (BELNAP, 2005).

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 à 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 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 mycorrhiziennes 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 à 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'à 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 (JEFFERY *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, (**ex. 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 02 : Les différents types des croûtes biologiques (BELNAP, 2001)

Topographie	Rugosité de surface	Organismes impliqués	Région d'occurrence
Croûtes lisses pas de soulèvement par le gel	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 (presque toutes fixes)
Croûtes rugueuse pas de soulèvement par le gel	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 continu 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 couvert 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

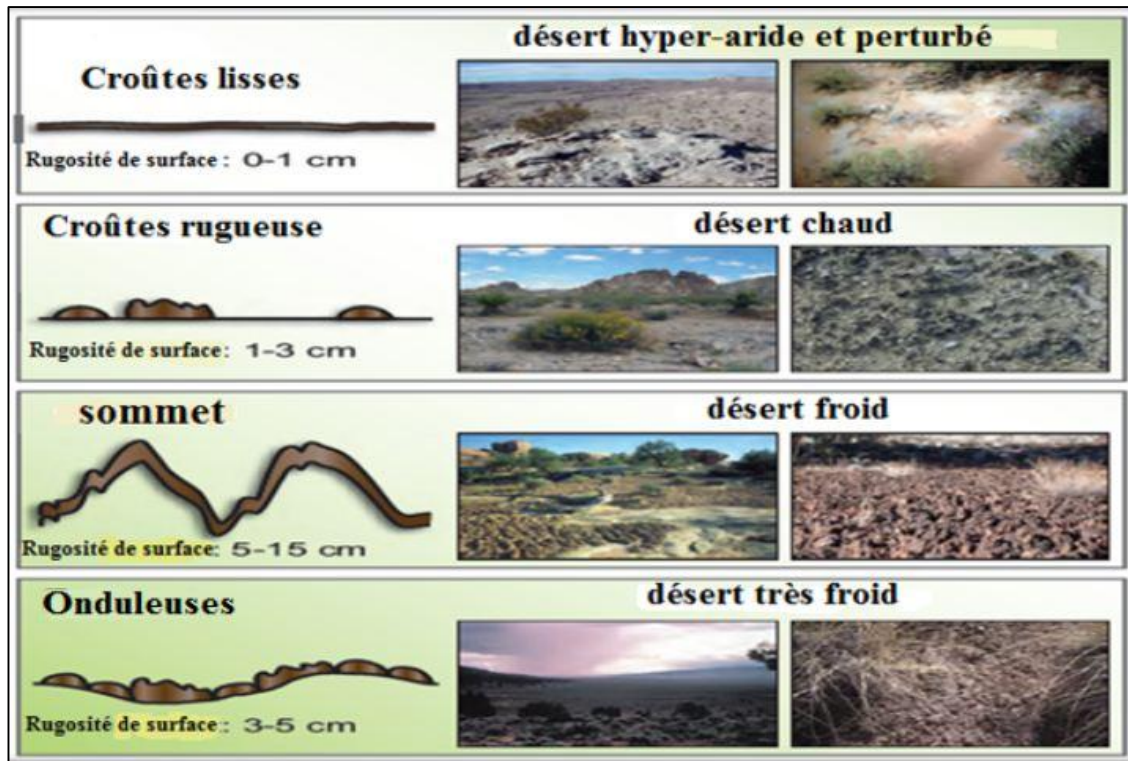


Figure 04 : Les différents types de croûtes biologiques (BELNAP, 2001)

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 Hypolithiques

Les croûtes Hypolithiques 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 Épilitiques

Les croûtes Épilitiques 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:

- ❖ **ChasmEndolith** : colonise des fissures dans la roche (gouffre =fente)
- ❖ **Cryptoendolith** : colonise les cavités structurales dans des roches poreuses, y compris les espaces produits 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).

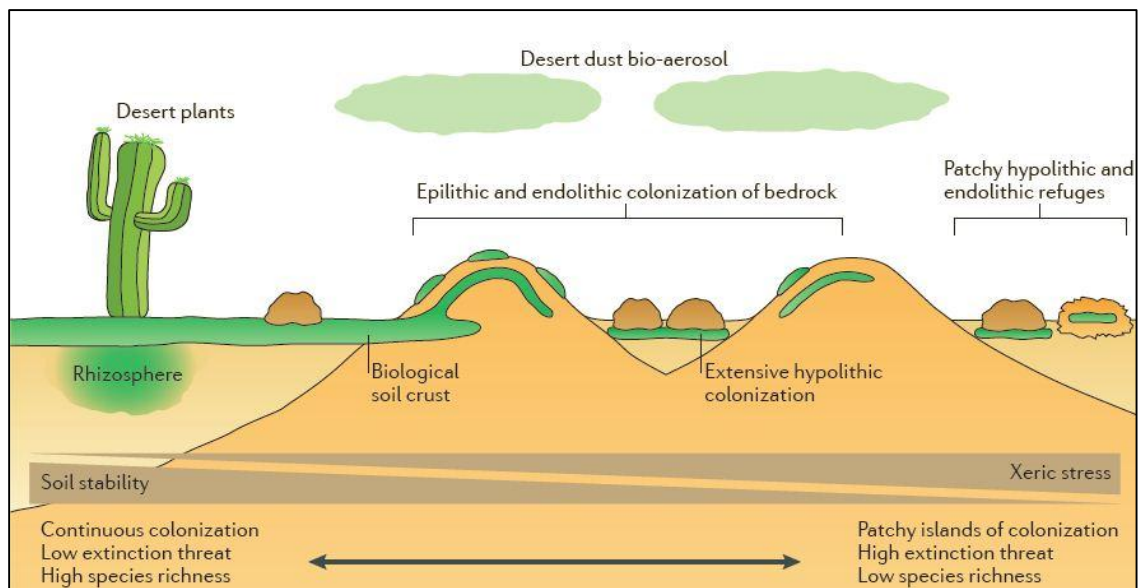


Figure 05 : La Niche Microbienne dans les paysages arides (POINTING *et al.*, 2012)

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 certains 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 dues, 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'en crée 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 (CO₂) et de le rejeter en l'oxygène (O₂). 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 croûtes 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 (**ROSENRETER *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

1. Situation Géographique :

La région du Souf est une partie de la wilaya d'El-Oued, située dans le Sud-Est Algérien (33° à 34° N ; 6° à 8° E). 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 (**BEGGAS, 1992**).

La wilaya d'El Oued (Figure 06) occupe une superficie de 44585 km² avec une population de 990000 habitants donnant ainsi une densité de 12 hab/km². La zone concernée par l'étude s'étend sur 18 communes, soit une superficie d'environ 14518.33 km² (**ONS, 2013**).

Le "Souf" vient du nom berbère désignant rivière ou Oued. A l'origine la principale activité des habitants de la région était l'agriculture. Chaque palmeraie a vu le jour à la suite d'efforts considérables tant sur le plan physique que financier (**DSA, 2005**).

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

Pour ce qui est des limites naturelles, la région du Souf est limitée :

- ✚ Au Nord par la zone des Chotts (Melghir et Merouane) ;
- ✚ Au Sud par l'extension de l'Erg oriental ;
- ✚ A l'Ouest la vallée d'oued Righ ;
- ✚ A l'Est : Chott tunisien El-Djerid (**VOISIN, 2004**).

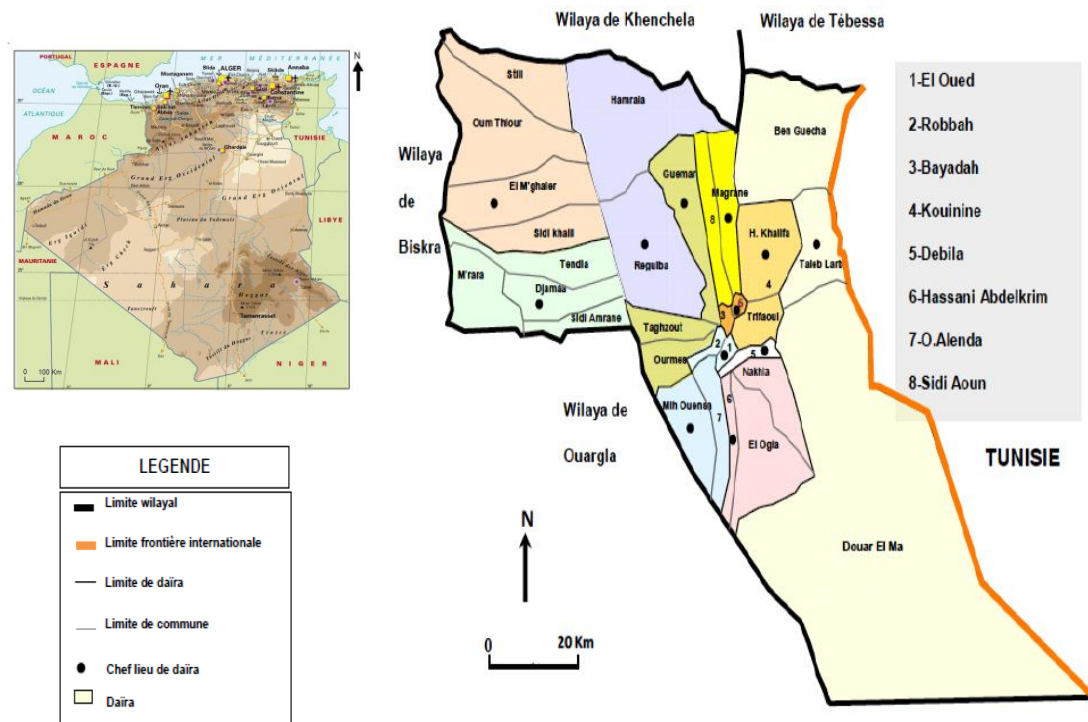


Figure 06 : Situation géographique de la wilaya d'El Oued.

2. Contexte écologique de la région d'étude

2.1. Géomorphologie

NADJEH (1971), signale que la région du Souf est une région sablonneuse avec des dunes qui peuvent atteindre les 100 mètres de hauteur. Ce relief est assez accentué et se présente sous un double aspect. L'un est un Erg c'est-à-dire région où le sable s'accumule en dunes et c'est la plus importante. Cette dernière occupe 3/4 de la surface totale de la région. L'autre est le Sahane ou région plate et déprimée, formant des dépressions fermées, entourées par les dunes, souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par des vieilles formations d'encroûtements gypseux du quaternaire.

2.2. Topographie

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres accuse une diminution notable du Sud au Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara (ANRH, 2005).

2.3. Pédologie

Les sols de la région du Souf sont généralement peu évolués. Les couches arables sont constituées d'un sol sablonneux de forte profondeur et ne constituent pas des couches rocheuses. Par ailleurs, ces sols se caractérisent par une faible teneur en matière organique, par une structure particulière à forte perméabilité et par une texture sableuse. Le sable du Souf se compose de Silice, Gypse, de Calcaire (**VOISIN, 2004**). Au Nord de la région, on rencontre le gypse sous forme des blocs rocheux profonds et tellement solides. A l'Ouest, la pierre gypseuse s'allonge vers la région de Hobba (**HLISSE, 2007**).

2.4. Hydrogéologie

La région de Souf possède des ressources hydriques souterraines essentielles, elle est caractérisée par les nappes suivantes :

2.4.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique présent dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire, elle peut être rencontrée à des profondeurs variant de 10 et 83 mètres. Vu son importance, cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels.

La profondeur du toit de cette nappe dépasse parfois 20 mètres. La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région du d'El-Oued particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté dans région des Chotts la nappe phréatique est présente sur toute la zone d'étude.

2.4.2. Nappe du Complexe Terminal (C.T)

La zone de production de cette nappe se situe entre 200 et 500 m, le débit moyen par forage varie entre 25 et 35 l/s avec une qualité chimique de 2 à 3 g/l de résidu sec. Le niveau hydrostatique de la nappe oscille entre 10 et 60 mètres selon les zones (**DHW, 2007**).

2.4.3. Nappe du Continental Intercalaire (C.I) :

La nappe du Continental Intercalaire est captée à une profondeur moyenne de 1900 m, l'eau de cette nappe se distingue par sa température très élevée atteignant plus de 60 °C, et un résidu sec de 2 à 3 g/l (DHW, 2007).

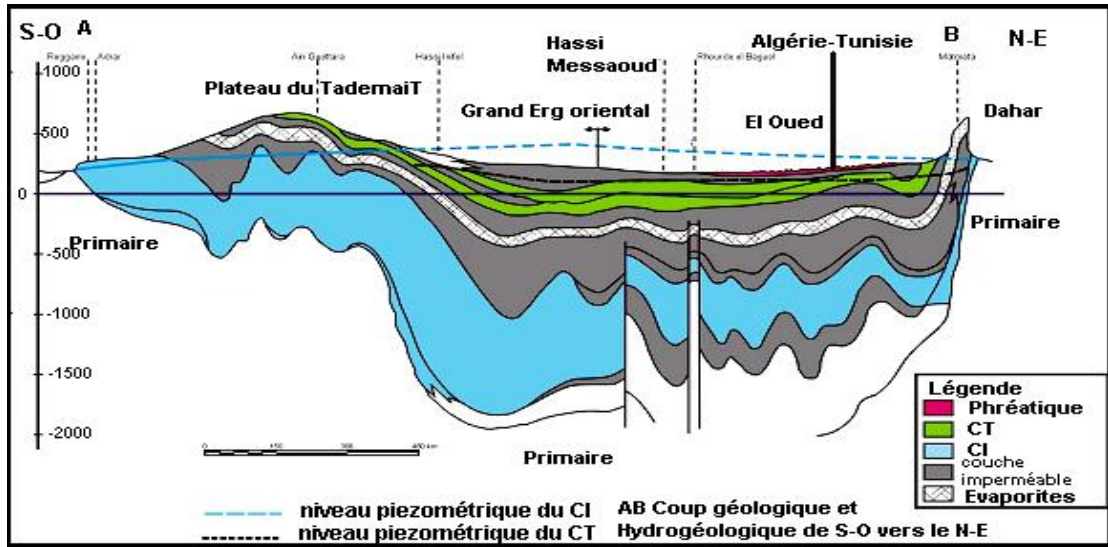


Figure 07 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" et "CI" (UNESCO, 1972).

3. Etude des paramètres climatiques

3.1. Température

3.1.1. Température moyenne mensuelle interannuelle

Le Souf présente de forts maxima de température en été, alors qu'en hiver elles peuvent être très basses (VOISIN, 2004). Les valeurs de températures mensuelles maximales (M) et minimales (m) et leurs moyennes mensuelles enregistrées pour le Souf durant l'année 2016, sont détaillées dans le tableau 03 :

Tableau 03 : Températures dans la région d'étude durant l'année 2016.

Température	Mois												cumul
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
M	20	20	24.2	30.5	34.6	39.1	40.7	39.5	35.4	32.2	23.6	18.9	29.9
m	5.8	5	9.3	15.7	19.7	24	26.1	26.2	23.3	19.4	10.6	8.6	16.2
(M+m)/2	12.9	12.5	16.7	23.1	27.1	31.5	33.4	32.8	31.8	29.3	17.1	13.7	23.5

(Tutiempo, 2017)

La période qui s'étale du mois de Novembre au mois de Mars correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de Janvier de (12.9 °C), alors que la période chaude commence à partir du mois de Juin et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de Juillet (33.4 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 23.5 °C.

3.1.2. Températures moyennes annuelles

Le tableau 04 présente la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 10 ans (2007 à 2016). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre. L'année la plus chaude est 2014 et 2016 avec une température moyenne égale 23.3°C et l'année la plus froide est l'année 2007 et 2009 avec une moyenne de température égale à 22.3 °C.

Tableau 04 : Moyenne annuelle des températures de l'air dans la région d'étude (2007-2016).

Années	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T(C°)	22.3	22.6	22.3	23.1	22.5	22.9	22.7	23.3	22.5	23.3

(Tutiempo, 2017)

3.2. Pluviométrie

L'origine des précipitations dans les régions sahariennes est différente selon les saisons. Durant l'été elles sont dues aux dépressions de mousson, en hiver elles sont dues aux dépressions accompagnant la migration vers le Sud des fronts polaires. Pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions soudano sahariennes traversant le Sahara du Sud vers le Nord (**DUBIEF, 1963**).

3.2.1. Répartition moyennes mensuelles des pluies

Les précipitations de la région du Souf sont saisonnières est extrêmement variables, arrivent à leur maximum en automne, qu'autre période pluviale d'hiver (**VOISIN, 2004**). Les valeurs de précipitations mensuelles du Souf durant l'année 2016 sont illustrées dans le tableau 05.

Tableau 05 : Précipitations mensuelles dans la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*P (mm)	0	0	4.82	2.03	0	1.02	0	0	24.89	1.02	0.76	0.76	35.3

(Tutiempo, 2017)

*P (mm) : Précipitation mensuelle en mm

La région du Souf a connue durant l'année 2016 un cumul de précipitation égal à 35.3 mm (Tableau 05). Le mois le plus pluvieux durant cette année est Septembre avec une pluviométrie de l'ordre de 24.89 mm. Par contre les mois les plus secs sont (Janvier, Février, Mais, Juillet, Août) où aucune pluviométrie n'a été enregistrée (0 mm).

3.2.2. Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de dix ans (2007-2016), les précipitations observées montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de 2009 avec 193.55 mm/an et l'année la plus sèche est telle de 2012 avec 23.62 mm/an (Tableau 06).

Tableau 06 : Précipitations moyennes annuelles dans la région d'étude entre 2007 et 2015.

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2015
P (mm)	56.90	32.01	193.55	50.28	30.37	23.62	32.27	26.67	50.04	35.3

(Tutiempo, 2017)

3.3. Humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Elle dépend de plusieurs facteurs à savoir : la quantité d'eau tombée, le nombre de jours de pluie, la température, les vents et de la morphologie de la station considérée (FAURIE et al., 1980). Les taux d'humidité relative pour l'année 2016 sont présentés dans le tableau 07.

Tableau 07 : Humidité relative moyenne mensuelle de la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*HR.	53.7	41	37.6	38.7	31.4	30.5	27	30.6	46.8	47.3	54.6	68.4	42.3

(Tutiempo, 2017)

*HR. (%) : Humidité relative

Dans la région d'Oued Souf l'humidité de l'air est faible et la moyenne annuelle est de 42.3 %. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 27 % pendant le mois de Juillet, et ceci sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 68.4 % au mois de Décembre.

3.4. Le vent

Les vents sont fréquents et cycliques dans la région d'étude (NADJAH, 1971). Ils sont caractérisés par des directions dominantes variables en fonction des saisons. Les vents dominants sont qui sont de direction Est-Nord provenant des méditerranées charges d'humidité appelés El-bahri, soufflent au printemps. Tandis ce que les vents du Siroco ou Chihili apparaissent pendant la période estivale venant de Sud ou Sud-Ouest (HLISS, 2007).

Les valeurs de vitesse mensuelle du vent du Souf durant l'année 2016 sont annoncées dans le tableau 08.

Tableau 08 : Vitesse moyenne mensuelle dans la région d'étude durant l'année 2016.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Cumul
*V (m/s)	6.9	9.1	9.4	13	12.4	11.5	9.9	9.8	8.9	6.9	5.8	8.2	9.31

(Tutiempo, 2017)

*V (m/s) : Moyenne de vitesse de vent en mètre par seconde

Selon le Tableau 08, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant le mois d'Avril avec un maximum de 13 m.s⁻¹.

4. Synthèse climatique

4.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Les températures et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée. Les périodes humides et sèches sont mises en évidence grâce au diagramme Ombrothermique de Gausson (Figure 08).

Selon FAURIE et *al.* (1980), le diagramme ombrothermique (Ombro=pluie, thermo=température) est construit en portant en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations "P" sur un axe et les températures "T" sur le second en prenant soin de doubler l'échelle par rapport à celle des précipitations "P = 2T". Les périodes d'aridité sont celles où la courbe pluviométrique est au-dessous de la courbe thermique (RAMADE, 2003).

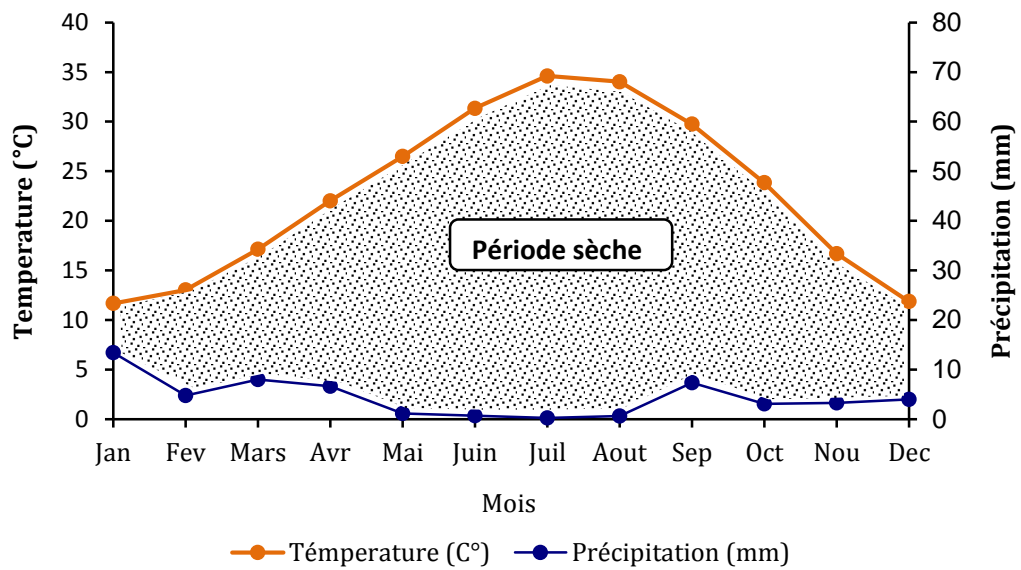


Figure 08 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région du Souf (2007-2016).

Le climat de la région du Souf est, à certain points, analogue à celui du reste du Sahara c'est-à-dire un climat des contrées désertiques, si l'on considère sa pauvreté en végétation, la sécheresse de l'air, le manque d'eau en surface et l'irrégularité des précipitations (NAJAH, 1971). La région du Souf est caractérisée par deux périodes (période sèche et période humide). Il est signalé que la période sèche persiste sur toute l'année pendant très longtemps et notamment durant les dix dernières années (2007 à 2016) (Figure 08).

4.2. 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 (1933) (LE HOUEROU, 1995). Nous ont utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3.43 \frac{p}{(M-m)}$$

- 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'El Oued dans l'étage bioclimatique Saharien, à hiver doux avec des quotients pluviothermique (Q_2) de 3.14 (Figure 09).

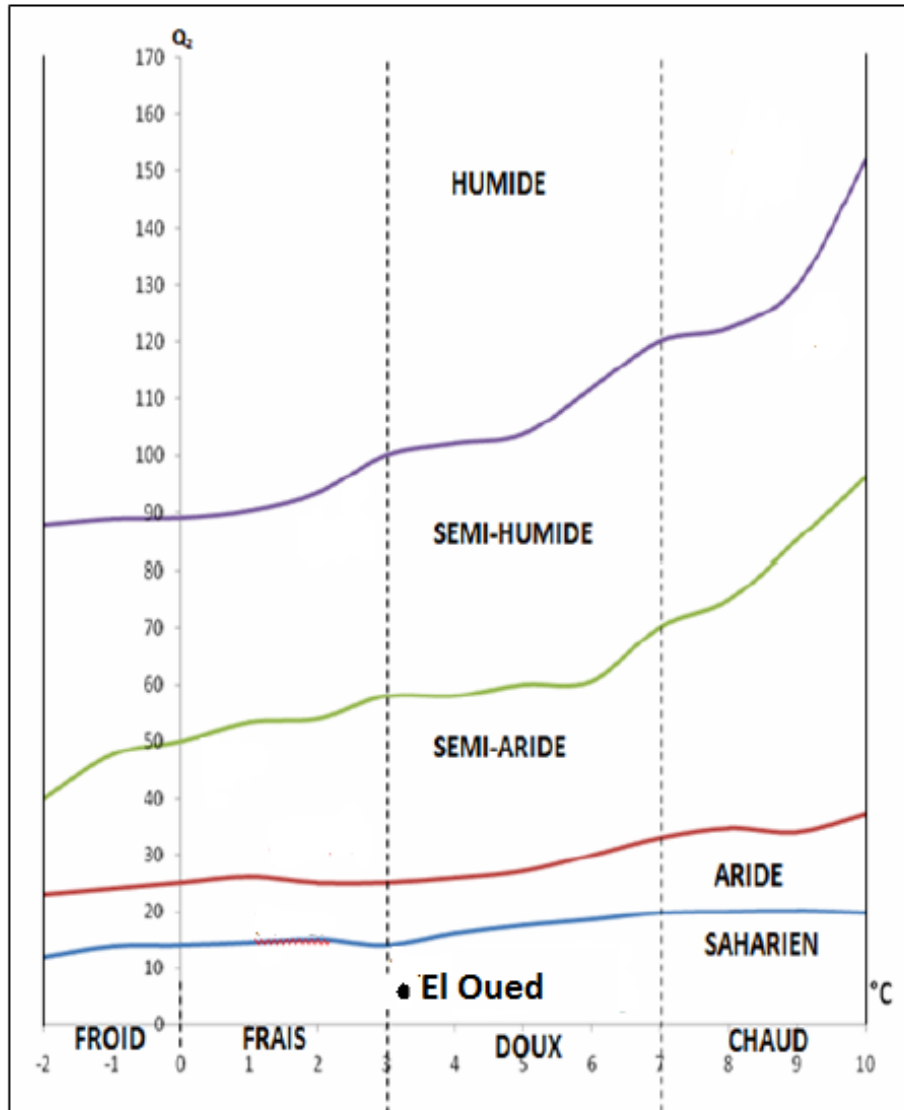


Figure 09 : Etage bioclimatique d'El'Oued selon le Climagramme D'EMBERGER

A travers ces données, on peut dire que notre région d'étude est caractérisée par un climat Saharien. La faiblesse de précipitations devant un pouvoir évaporant élevé font que le déficit hydrique est quasi permanent ce qui se répercute 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 21/01/2017, et nous avons prélevé des échantillons dans les trois stations suivantes (Figure 10) :

- Station de Taleb Larbi (33.739375 N 7.316255 E)
- Station de Chott Kralla (34.070880 N 7.516749 E)
- Station de Ben Guecha (34.066773 N 7.513077 E)

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

- Situées en milieu désertique.
- Sols non perturbé.

La description et la caractérisation analytique des sols des stations d'étude sont présentées dans l'annexe I.






-  Station de Taleb Larbi (33.739375 N 7.316255 E)
-  Station de Chott Kralla (34.070880 N 7.516749 E)
-  Station de Ben Guecha (34.066773 N 7.513077 E)

Figure 10 : Localisation des stations d'étude

2. Echantillonnage

Vu l'aspect microbiologique de notre étude, l'échantillonnage a été réalisé dans des conditions d'asepsie rigoureuses. Les déterminations biologiques seront appliquées à des échantillons frais. Les prélèvements (sol ou roche), recueillis dans des boîtes de pétries ou en sachets plastique stériles et transportés au laboratoire dans une glacière à une température de 4 C° car un stress hydrique peut perturber les mesures biologiques.

3. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore

L'estimation de la densité de la microflore dans le sol ou roche 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.

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 solide (bactéries et champignons), et en milieu liquide (microflore algale)

3. 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^{-5})

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.

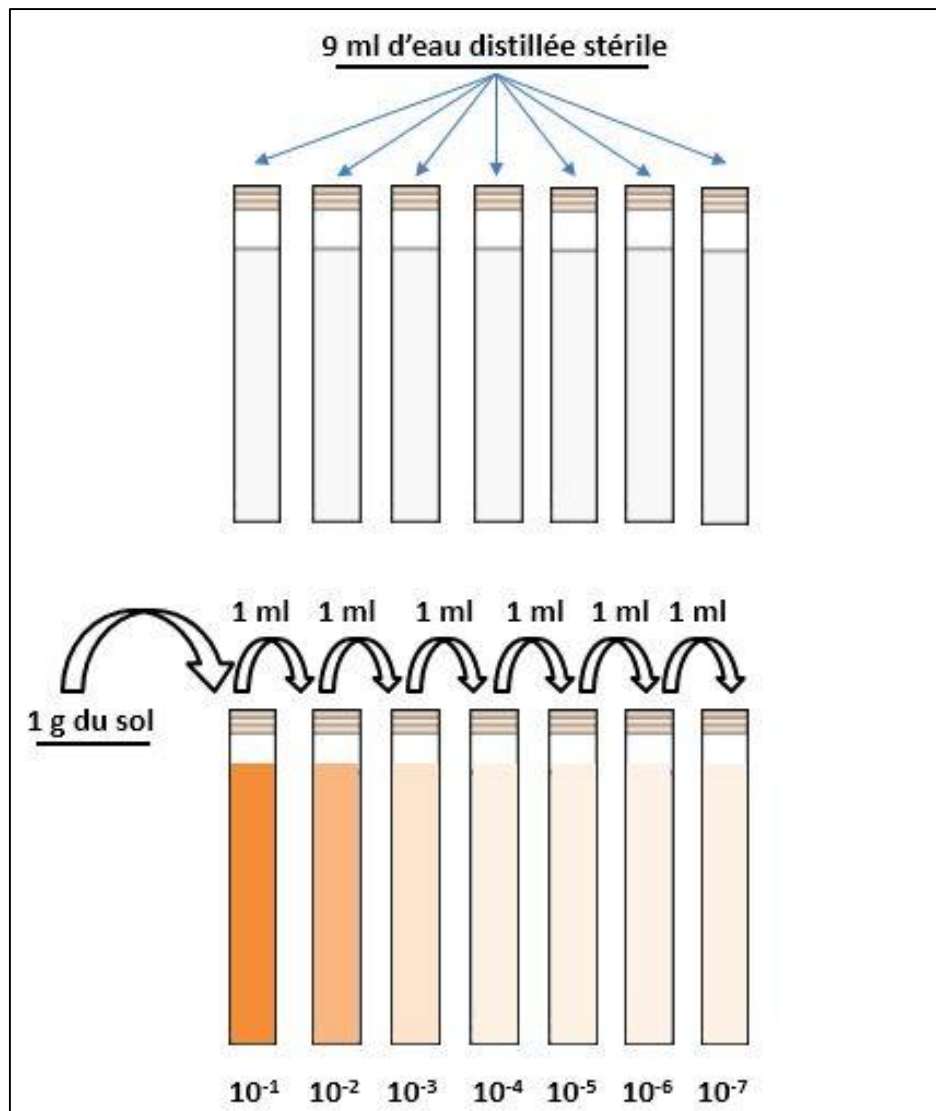


Figure 11 : Préparation des suspensions dilutions du sol

3. 2. Ensemencement

Pour la microflore bactérienne et les champignons on procède à l'ensemencement des milieux solides 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 II.

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

3. 3. Incubation

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

Tableau 09 : Conditions de culture des différents groupes de microorganismes étudiés

	Durée d'incubation	Température de l'incubation	Milieu de culture
Bactéries	De 28 heures	Température de 35°C	Gélose nutritive
Champignons	De 5 jours	Température de 28°C	Oxytétracycline Glucose Agar
Algues	5 semaines	Température ambiante	Bold's Basal Medium

3. 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 à 48 heures pour les bactéries à 5 jours pour les champignons on observe le développement des microorganismes viables sous forme de colonies visibles.

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.

3. 5. Préparation microscopique

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. Les préparations ont été examinées sous microscope optique à différents grossissements.

Pour faciliter l'observation et la classification des champignons, la coloration par le bleu de méthylène a été réalisée, et pour les algues l'observation se fait après leur fixation par la solution de lugol.

La coloration de gram a été réalisée pour les bactéries. C'est la technique le plus utilisée dans l'étude et la classification des bactéries. Il le classer en deux grands groupes : Gram positif et à Gram négatif, elle se réalise en 2 étapes :

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.
- Fixer le frottis à la chaleur de bec benzine

b) Coloration

1. Déposer quelques gouttes de solution de violet de gentiane sur le frottis fixé (1 min)
2. Rejeté le violet de gentiane et déposer quelques gouttes de lugol sur le frottis, qui facilite la fixation du colorant. (Laisser agir 1 minute)
3. Rincer très brièvement en faisant couler de l'H₂O sur la lame au-dessus du frottis
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 à l'immersion (**DENIS et al., 2012**)

3. 6. Identification

L'identification a été effectuée seulement pour la microflore fongique et la microflore algale. Après 5 jours d'incubation à 28 °C, les cultures des champignons purifiés sur milieu OGA 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 5 semaines 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 ($\times 40$) et en utilisant le grossissement d'immersion dans l'huile ($\times 100$).

Partie III

Résultats Discussion

1. Description des stations d'étude

1.1. Station 01 : Talab Larbi

Descripteurs : Mehda Smail , Souadkia Chaima et Souadkia Hana

Date de Description : 21/01/2017



Photo 01 : Etat de surface de la station 01

Coordonnées

- Longitude : 7, 316255 E
- Latitude : 33, 739375 N

Caractéristiques physico-chimiques :

C'est une roche de couleur blanchâtre, l'analyse physico-chimique montre que cette roche est extrêmement gypseuse avec une teneur en gypse de 24,94%, un taux faible d'humidité et de calcaire (1,47 % pour l'humidité et 2.73 % pour le calcaire). En ce qui concerne le pH, la valeur enregistrée est d'ordre 7,26. Pour la conductivité électrique la valeur enregistrée est de l'ordre de 1,94 mS/cm. Cette valeur nous conduit à classer ce sol parmi les sols salés d'après l'échelle de la salinité d'AUBERT (1978).

1.2. Station 02 : Chott Kralla

Descripteurs : Mehda Smail, Souadkia Chaima et Souadkia Hana

Date de Description : 21/01/2017



Photo 02 : Etat de surface de la station 02

Coordonnées :

- Longitude : 7, 516749 E
- Latitude : 34, 070880 N

Caractéristiques physico-chimiques :

C'est une roche dure, l'analyse physico-chimique montre qu'elle est extrêmement gypseuse avec une teneur en gypse de 22,29%. La valeur de la conductivité électrique et pH enregistré est de l'ordre 2,11 mS/cm et 7,12 respectivement. Ce sol aussi classé parmi les sols salés d'après l'échelle de la salinité d'AUBERT (1978). Le taux d'humidité et de calcaire enregistré est faible.

1.3. Station 03 : Ben Guecha

Descripteurs : Mehda Smail, Souadkia Chaima et Souadkia Hana

Date de Description : 21/01/2017



Photo 03 : Etat de surface de la station 03

Coordonnées :

- Longitude : 7, 513077 E
- Latitude : 34, 066773 N

Caractéristiques physico-chimiques :

C'est un sol de texture sableux limoneux, le taux d'humidité enregistré dans cette station est relativement élevé par rapporte à l'autre station, il est de l'ordre de 12,54 %. Le taux de calcaire est aussi relativement élevé il est de l'ordre de 9,81 %. Concernant la teneur en gypse, la valeur enregistrée est de l'ordre de 7,82 %. Le résultat de mesure de la conductivité électrique montre ce sol aussi classé parmi les sols salés d'après l'échelle de la salinité d'AUBERT (1978).

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol des trois stations étudiées sont présentés dans l'annexe I.

2. Résultats des analyses microbiologiques des trois stations étudiées

2.1. Résultats de dénombrement de la densité microbienne totale

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**).

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 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 trois grands groupes de la microbiologie du sol.

En fait, les résultats des analyses microbiologiques laissent apparaître des variations entre les trois échantillons en nombre de germes avec des valeurs maximales pour la station de Chott Kralla (S2) secondée par station de Talab Larbi (S1) et en dernier lieu la station de Ben Guecha (S3).

Le tableau 10 montre les résultats de dénombrement des différents groupes microbiens présents dans les trois échantillons.

Tableau 10 : Résultats de dénombrement de la densité microbienne dans les trois stations étudiées

Densité microbienne (UFC g ⁻¹ de sol sec)	Station de Talab Larbi (S1)	Station de Chott Kralla (S2)	Station de Ben Guecha (S3)
Bactéries	0,8 × 10 ⁴	17 × 10 ⁴	3 × 10 ⁴
Champignons	20 × 10 ³	10 × 10 ³	1,5 × 10 ³
Algues	1,50 × 10 ²	1,1 × 10 ²	0,9 × 10 ²

2.2. Résultats de dénombrement de la microflore bactérienne

En examinant les valeurs relatives à la densité bactérienne dans les trois échantillons, il ressort que cette densité est faible, elle est de l'ordre de $0,8 \times 10^4$ UFC g^{-1} de sol sec, 17×10^4 UFC g^{-1} de sol sec et 3×10^4 UFC g^{-1} de sol sec respectivement pour la station de Talab Larbi (S1), station de Chott Kralla (S2), et en dernier lieu la station de Ben Guecha (S3)(Fig.12).

La figure 12 montre que les bactéries sont 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.

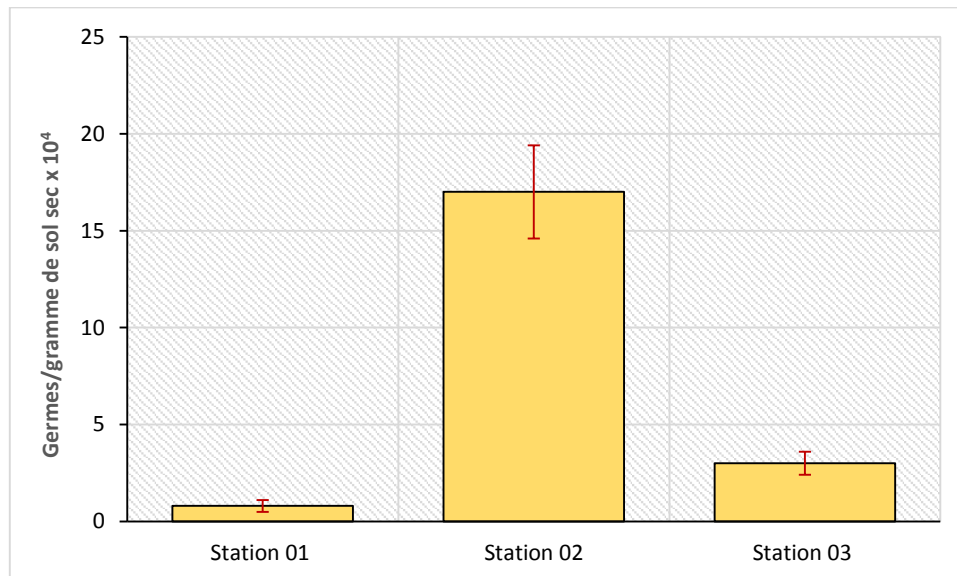


Figure 12 : Variation de la densité de microflore bactérienne dans les trois stations d'étude

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

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 Chott Kralla (S2) peut être expliqué en dehors des conditions climatiques moins agressives par rapport aux autres stations (la teneur relativement élevée en humidité caractérisant le sol de cette station).

En revanche, la salinité et le faible taux d'humidité caractérisant les stations (1) et (3), ont fortement entravé la multiplication du nombre de microorganismes au niveau de cette station.

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 (2010)** et **KABOUL (2016)** 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.

Sur le plan des aspects culturels et micro-morphologiques, nous avons obtenu des colonies 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 bactérienne isolés sur la gélose nutritive.

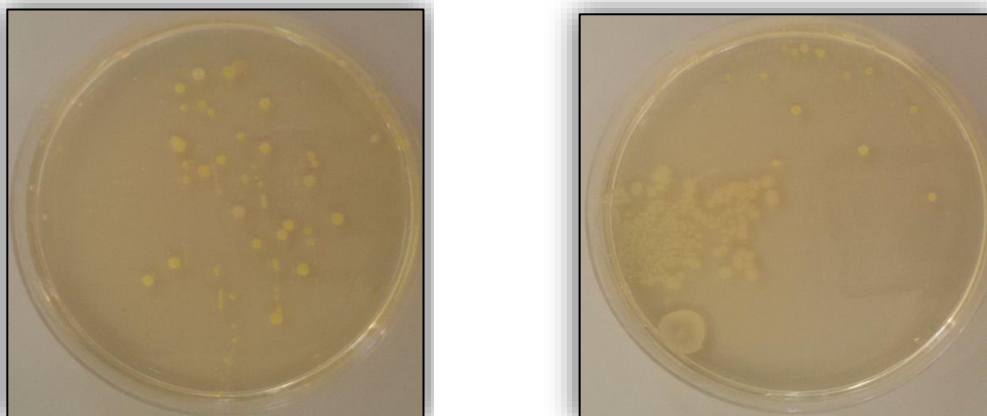
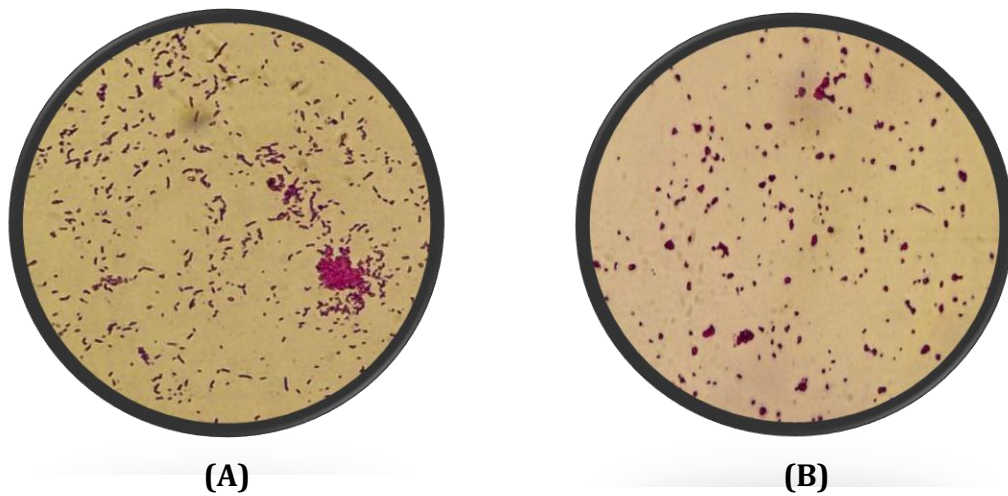


Photo 04 : Aspects macroscopique des colonies bactériennes



Photos 05 : Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques des bactéries après coloration de gram : **(A)** : Gram⁺ forme Bacille ($G \times 100$), **(B)** Aspect microscopique des bactéries Gram⁺ forme Cocci ($G \times 100$).

2.3. Résultats de dénombrement de la 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 20×10^3 , 10×10^3 et $1,5 \times 10^3$ UFC g^{-1} de sol sec respectivement pour la station de Talab Larbi (S1), station de Chott Kralla (S2), et station de Ben Guecha (S3) (Fig. 13).

La faible teneur en matière organique de nos échantillons 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).

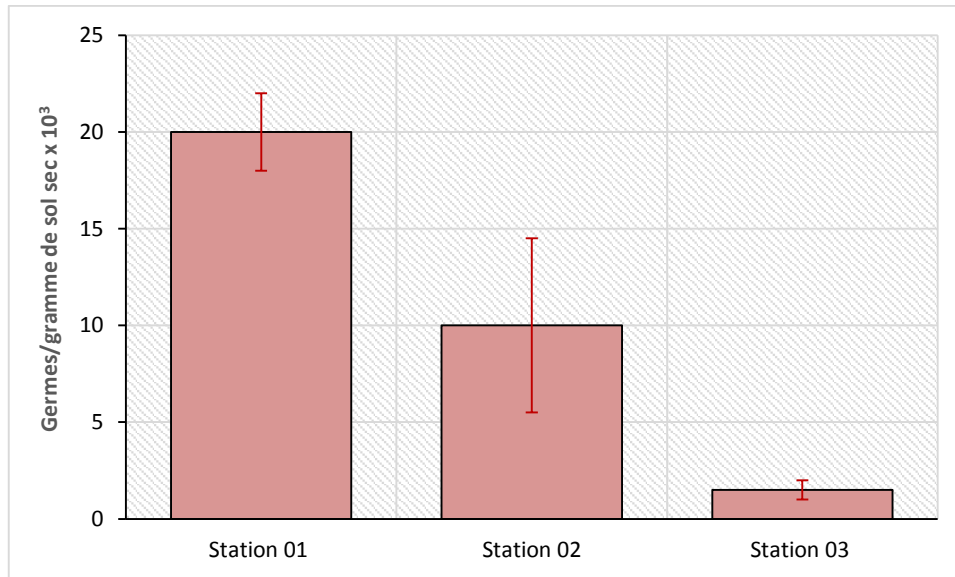


Figure 13 : Variation de la densité de la microflore fongique dans les trois stations d'étude

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**).

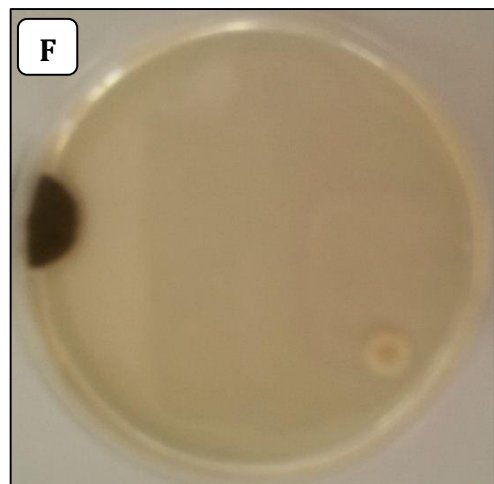
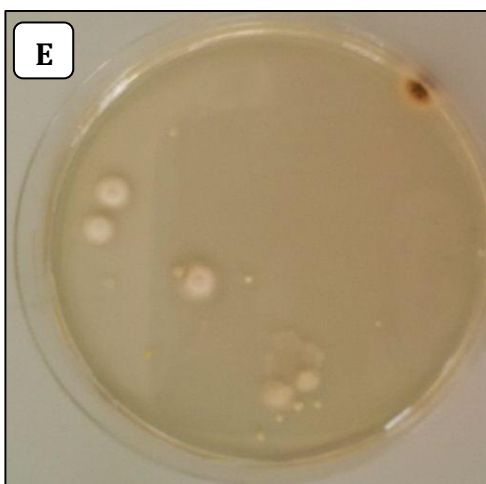
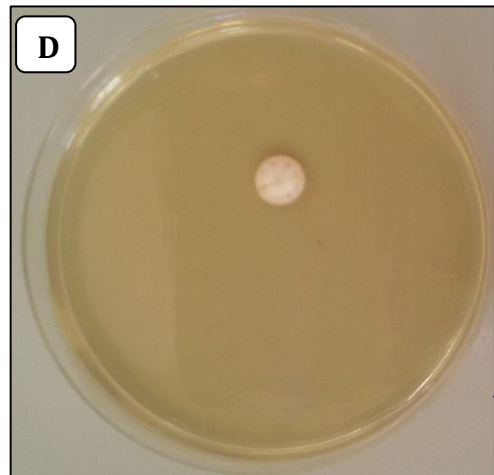
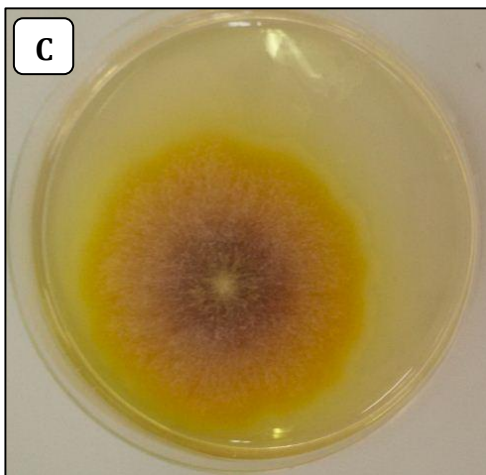
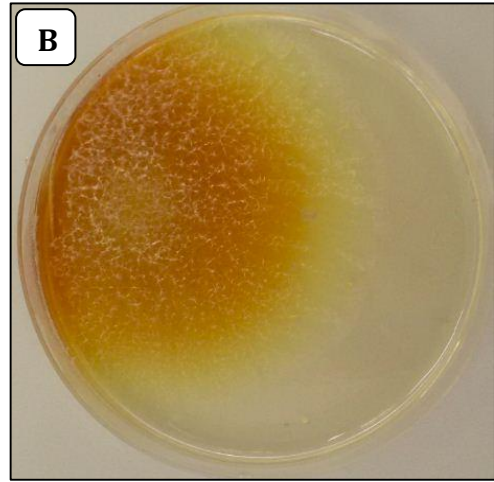
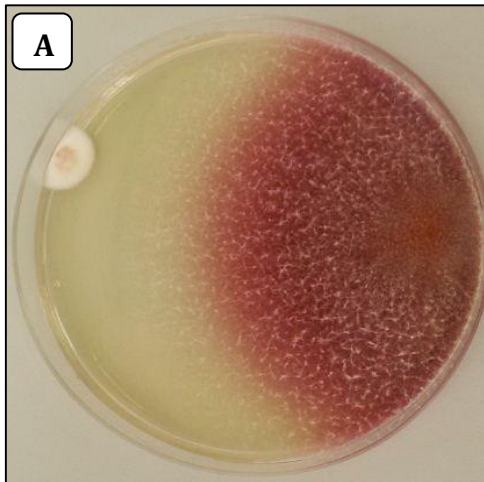
A la catégorie des microorganismes les plus xérophiles ; c'est à dire capables de se développer à des teneurs en eau très faibles appartiennent à des genres *d'Aspergillus*, *Penicillium*. Les *Aspergillus* sont d'ailleurs caractéristiques des climats chauds arides (**DOMMERGUES et MANGENOT, 1970**).

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

Les genres fongiques isolés par la présente étude sont semblables à celles isolés par **BAZZINE (2009)** et **KABOUL (2016)** du sol de 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.

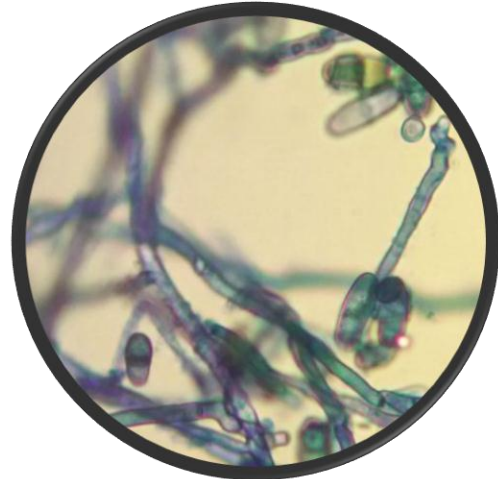
Les Photos 06 et 07 montrent l'aspect macroscopique et microscopique de certains genres représentants de la flore fongique isolés sur le milieu OGA.



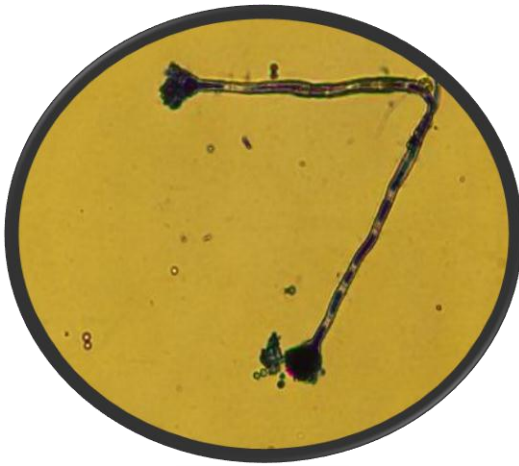
Photos 06 : Aspects macroscopique des champignons



(A)



(B)



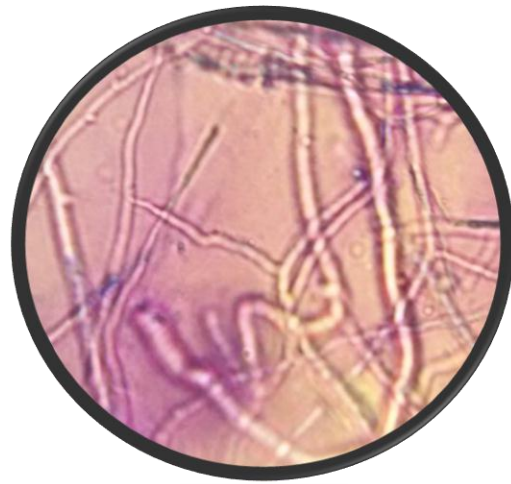
(C)



(D)



(E)



(F)

Photos 07: Microphotographies (observées au microscope optique) des Champignons :

A et B : *Alternaria* sp C: *Penicillium* D, E et F: Filament de champignons.

2.4. Résultats de dénombrement de la microflore algale

Les résultats relatifs à la microflore algale montrent que les algues sont faiblement présentées par rapport aux autres groupes. Les densités enregistrées sont de $1,5 \times 10^2$; $1,1 \times 10^2$ et $0,9 \times 10^2$ UFC g^{-1} de sol sec respectivement pour la station de Talab Larbi (S1), station de Chott Kralla (S2), et la station de Ben Guecha (S3) (Fig. 14).

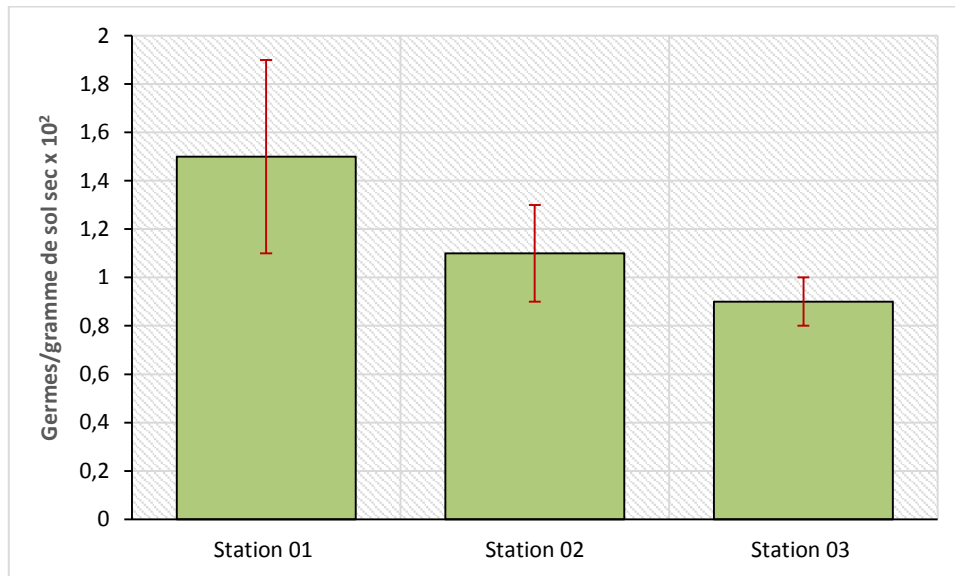


Figure 14 : Variation de la densité de la microflore algale dans les trois stations d'étude

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 a permis une présence d'une microflore algale assez importante.

La forte densité de la microflore algale au niveau de la station de Talab Larbi peut être dû à 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 N₂ à se produire dans la roche (**HAILIANG et al., 2007**).

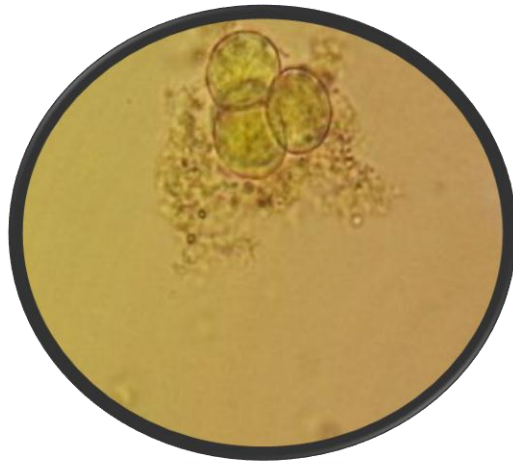
La capacité des algues photosynthétiques à résister à la dessiccation dans des environnements arides est due en partie au fait qu'ils colonisent la face inférieure des roches translucides. Le dessous de ces roches fournit assez d'humidité condensée pour la croissance des algues, tandis que la nature 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 microbiologiques du plateau du Colorado aux États-Unis.

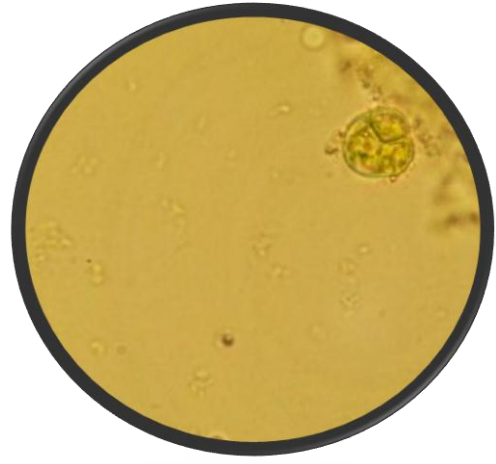
Selon **KILLIAN et FEHER (1939)**, les spores des algues du sol peuvent passer à l'état de vie latente, pendant des années et elles reprennent leur activité, dès les premières pluies.

La faible densité de la microflore algale enregistrée par notre étude confirme les travaux précédents de **BAZZINE (2009)** et **KABOUL (2016)** 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 08 montre quelques aspects microscopiques de la prolifération des algues au niveau des trois stations d'étude.



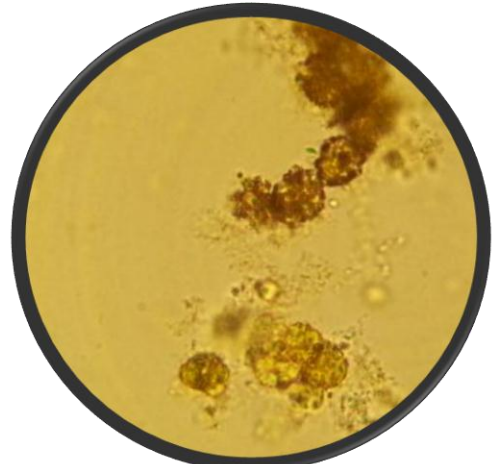
(A)



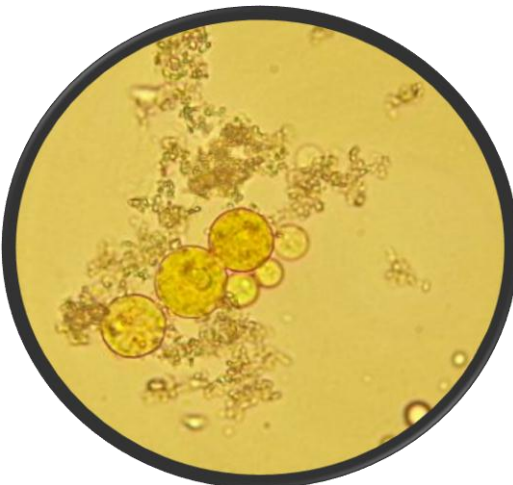
(A)



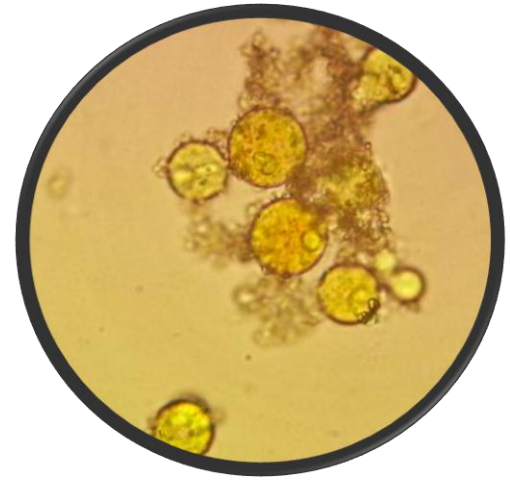
(B)



(B)



(C)



(C)

Photo 08 : Microphotographies (observées au microscope optique) présentant les aspects microscopiques de la microflore algale ($G \times 100$)

A : Station 01 B : Station 02 C: Station 03

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 des régions sahariennes)

La caractérisation 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 Ben Guecha (12,54 %).
- Le taux de calcaire au niveau des trois stations est faible.
- Le pH de ces sols est neutre à légèrement alcalin.
- La salinité est élevée dans le sol des trois stations.

Les résultats de dénombrement microbien montrent que les trois échantillons étudiés sont peuplés par une microflore diversifiée et adaptée aux conditions difficiles du milieu saharien et laissent apparaître des légères variations entre les trois échantillons en nombre de germes.

Le dénombrement des germes montre que les bactéries sont les micro-organismes les plus abondants dans les trois stations à cause de leur grand pouvoir de multiplication suivie par les champignons. Tandis que les algues sont les moins abondantes.

Sur le plan qualitatif, on a enregistré la présence des champignons de genre *Alternaria sp* et *Penicillium sp*. Des bactéries forme Cocci isolés et de forme bacilles 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 à 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 télédétection par satellite ou par la cartographie de ces croûtes.

Références Bibliographiques

1. **ACEA M.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 Biol Biochem* .35: 513-524.
2. **ALEXANDR M., 1982:** Introduction to soil microbiology, 2^{ème} Edit. J.Wily and sons INC, 467 p.
3. **ANGEL R., Z. PASTERNAK., M.INES ., M.SOARES., R.CONRAD & O.GILLOR.2013:** Active and total prokaryotic communities in dryland soils. *FEMS Microbiol Ecol* ,86 :130–138.
4. **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.
5. **AUBERT G., 1978 :** Méthodes D'analyses Des Sols. Edit : C.R.D.P., Marseille, 191p.
6. **BAISE D., 2000 :** Guide Des Analyses En Pédologie. INRA, Edit : Paris, 257 P.
7. **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.
8. **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.
9. **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.
10. **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
11. **BELNAP J., 2005:** Encyclopedia of Soils in the Environment. D. Hillel, editor. London, Elsevier, Crusts Biological, pp: 339-346.
12. **BELNAP J., 2006:** The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes* 20, 3159-3178.
13. **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.

14. **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.
15. **BELNAP J., LANGE, O., 2001:** Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management, Ecological Studies Series. Springer-Verlag, Berlin. 150 p.
16. **BERGERON. O., 2007 :** Dynamique des échanges de dioxyde de carbone. Collec. Mémoires et thèses électroniques univ Laval.
17. **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.
18. **BOULLARD B., MOREAU .J . 1962 :** Sol, Microflore Et Végétation. Edit ; Masson ; Paris, 289p.
19. **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.
20. **BRADY N.C., & R.R.WEIL, 2002.** Nitrogen and sulfur economy of soils. *The nature and properties of soils*, 524-575
21. **BROCK T.D., E.D MICHAEL., T. MADIGAN.2007:** Biologie des micro-organismes. Paris : Pearson éducation France. 1047 P
22. **BROSTOFF W.N., RASOUL SHARIFI. M., RUNDEL .P.W .2005:** Photosynthesis 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
23. **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.
24. **CALVET R.,2013 :**edit France agricole.678p.
25. **CATIER O., ROUX .,D . 2007 :***Botanique, pharmacognosie, phytothérapie, homéopathie*. Wolters Kluwer France, Paris : Porphyre, 141 p.
26. **DAOUD Y., et HALITIM. A, 1994 :** Irrigation Et Salinisation Au Sahara Algérien. *Sécheresse* .pp : 151-160.
27. **DAVET P., 1996 :** *Vie Microbienne Du Sol Et Production végétale*. Paris : INRA Éditions.127 p.
28. **DENIS F., BINGEN E., MARTIN C., PLOY M.C., QUENTIN R.2012:** *Bactériologie médicale*; Ed Masson.594 p.

29. **DOMMERGUES Y., et MANGENOT F., 1970** : Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie Editeurs, Paris, 796 p.
30. **EMBERGER L., 1955** : une classification biogéographique des climats. Trav. Ins. Bot. Montpellier. 7, pp : 3- 43.
31. **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.
32. **FOGG G.E., STEWART W.D.P., FAY P. ET WALSBY A.E. 1973**: The Blue-green Algae. Academic Press, London and New York. 459 P.
33. **GARCIA PICHEL F., J.BELNAP. 1996** : Microenvironments and microscale productivity of cyanobacterial desert crusts. *Journal of Phycology* 32: 774-177;782
34. **GARCIA PICHEL 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
35. **GOBAT J., ARANGO M., MATHEY W. 2003** :Le Sol Vivant, Base De Pédologie, Biologie Des Sols, 568 P.
36. **GORBUSHINA A.A .,2007**: Life on the rocks. *Environmental Microbiology*, 9,1613–1631.
37. **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 .
38. **HALILAT. M., TESSIER.T.2006** : Amélioration de la rétention en eau de matériau sableux par ajout de bentonite. *Cahiers Agricultures*.vol 15 : 347-53
39. **HALITIM A., 1988**: Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger,384 p
40. **HALITIM A., 2011** : Aridoculture et le développement durable. *Algerian journal of arid environment* 3 vol. 1, : 3-9.
41. **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 fedoroff et all (Ed): *soil micromorphology*. Afes, pp: 179 – 186.
42. **HOPKINS W.G., 2003** : Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles .pp : 61-476.
43. **HUBER. G et SCHAUB. C, 2011** : La fertilité des sols : L'importance de la matière organique ,46P.
44. **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. 128 p.
45. **KARABI M., B.HAMDIAISSA., S.ZENKHRI., A.KEMASSI.,N.BOURAS.2015**: seasonal variations affect microbiocenose arid soils in the ouargla basin (Algerian sahara).Ciência e Técnica Vitivinícola . 30:0254-0223
46. **KILLIAN C., FEHER D., 1939** :Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. Paul le Chevalier Editeurs, Paris, 110p.
47. **LE HOUEROU H.N.1975**: deterioration of the écologia équilibre in the aride zone of North Africa. FAO, Rome, pp: 45- 57.
48. **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. Montpellier, 397 p.
49. **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.
50. **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.
51. **MAQUBELA M.P., P.N.S MNKENI., O.MALAM ISSA., M.T.PARDO., L.P. D'ACQUI .2009**: Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant Soil* 315:79#177;92
52. **MAROUF A., 2000**. Dictionnaire de botanique, les phanérogames. Masson science Dunod, Paris. P32-33.
53. **NEDJRAOUI D., 2003** : country pasture , forage ressource profils . ed. FAO. Grassland and pasture crops Algérie, pp: 1-29.
54. **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
55. **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.
56. **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.
57. **POCHON J., 1954** : Manuel Technique D'analyse Microbiologique Du Sol. Edit, Masson, Paris .123 p.
58. **POINTING S.B., BELNAP.J.2012**: Microbial colonization and controls in dryland systems, *Nature Rev. Microbiol.* 10, 551–562.
59. **RAMADE F., 2003** : élément d'écologie. 3 eme édition. Dunod, 690 p.
60. **RAMEAU J.C., MANSION .D., DUME.G. 2008** : Flore forestière : montagnes.paris institut pour le développement forestier ; 2405 p.
61. **RAVEN. .P.H., EVERT. R. F., EICHHORN.S.E.2000**: Biologie vegetal. Edit de boeck universite, 944p .
62. **ROBERT M., 1996**. Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Dunod Masson, paris. 240 p.
63. **ROGET P., GARCIA J.L. 2001** : Introduction à la microbiologie du sol. Marseille : Université de Provence. Pp : 193.
64. **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.110 p.
65. **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.
66. **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.
67. **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.
68. **VAISHAMPAYAN A., .R.P.SINHA., D.P.HADER., T.DEY., .A.K.GUPTA, U. BHAN, A.L.RAO .2001**: Cyanobacterial Biofertilizers in Rice Agriculture. *The Botanical Review* 67(4): 453-516.
69. **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.

70. **WIERZCHOS J., B.CAMARA., A.DE LOS RIOS ., F.A.DAVILA ., M.SANHAZ 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.
71. **WRI ., 2002:** World resources institute.drylands,people,and ecosystem goods and services :aweb-based geospatial analysis.
72. **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.
73. **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 Gurbantungut Desert of northwestern China. *Geoderma* 132: 441-177; 449.
74. **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 : Caractéristiques physico-chimiques du sol des trois stations d'étude

Paramètres	Station 01 Talab Larbi	Station 02 Chott Kralla	Station 03 Ben Guecha
pH	7,26	7,12	7,44
CE à 25°C (mS/cm)	1,943	2,109	1,781
Humidité (%)	1,47	1,86	12,54
Calcaire total (%)	2.73	0.75	9.81
Gypse (%)	24,94	22,29	7,82

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 : Classe des sols gypseux (BARZANJI, 1973)

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

Tableau 04 : 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 05 : Calcaire total (BAISE, 2000)

CaCO₃ 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

Annexe II :

Milieux de culture**A- Milieu de culture pour les bactéries : Gélose nutritive à 2% (GN)**

- Gélose nutritive 20 g
- Eau distillé.....1000ml

B- Milieu pour les champignons : Oxytetracycline Glucose Agar (OGA)

- OGA 36 g
- Eau distillé.....1000ml

C- Milieu de culture des algues : (BBM) d'après Bischoff et Bold (1963)

For 1000 mL final culture medium add the following quantities (Volume) of stock solutions (SL) prepared at the given concentrations to 850 mL dd-H₂O. Add **one component after the other until each one has completely mixed** and finally fill up to 1000 mL.

All stock solutions can be stored unsterilised at 4 °C. Store sterile-filtered vitamin mix (SL 12) at -20 °C.

Stock Solution (SL)	Volume	Component	Concentration in SL	Conc. in final Medium
SL 1	10 mL	NaNO ₃	2.50 g · 100 mL ⁻¹	2.94 · 10 ⁻³ M
SL 2	10 mL	MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.75 g · 100 mL ⁻¹	3.04 · 10 ⁻⁴ M
SL 3	10 mL	NaCl	0.25 g · 100 mL ⁻¹	4.28 · 10 ⁻⁴ M
SL 4	10 mL	K ₂ HPO ₄	0.75 g · 100 mL ⁻¹	4.31 · 10 ⁻⁴ M
SL 5	10 mL	KH ₂ PO ₄	1.75 g · 100 mL ⁻¹	1.29 · 10 ⁻³ M
SL 6	10 mL	CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.25 g · 100 mL ⁻¹	1.70 · 10 ⁻⁴ M

For **3N-BBM** add triple quantity of NaNO₃, i.e. 30 mL of SL 1.

SL 7	1 mL	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	8.82 g · L ⁻¹	3.07 · 10 ⁻⁵ M
Trace elements solution		MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.44 g · L ⁻¹	7.28 · 10 ⁻⁶ M
		MoO ₃	0.71 g · L ⁻¹	4.93 · 10 ⁻⁶ M
		CuSO ₄ · 5H ₂ O	1.57 g · L ⁻¹	6.29 · 10 ⁻⁶ M
		Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.49 g · L ⁻¹	1.68 · 10 ⁻⁶ M

Combine all trace elements in one SL. Dissolve each component completely one after the other. It may need autoclaving to dissolve. Trace elements solution should **not** be stored in glass containers, but instead in teflon or polycarbonate containers to prevent adsorption of metals to container surface.

SL 8	1 mL	H ₃ BO ₃	1.14 g · 100 mL ⁻¹	1.85 · 10 ⁻⁴ M
SL 9 EDTA-KOH solution	1 mL	EDTA · Na ₂	5.0 g · 100 mL ⁻¹	1.71 · 10 ⁻⁴ M
		KOH	3.1 g · 100 mL ⁻¹	5.53 · 10 ⁻⁴ M
SL 10 Ferric solution	1 mL	FeSO ₄ · 7H ₂ O	4.98 g · 1 L ⁻¹	1.79 · 10 ⁻⁵ M
		H ₂ SO ₄ conc.	1 mL (to acidify)	

This results in the original Bold's Basal Medium (BBM) according to Bischoff & Bold (1963). The pH-value will be about 6.4 to 6.8 at a conductivity of 1.4 mS cm⁻¹.

Résumé

Le présent travail a été entrepris dans le but d'évaluer la qualité et la quantité microbiologique des croûtes biologiques de trois stations représentatives de la région aride. Il s'agit de la station de Taleb Larbi et stations Chott Kralla et Ben Guicha (Région d'El-Oued) situées au Sud Est de l'Algérie. La biomasse microbienne a été quantifiée par la méthode de dénombrement des principaux groupes microbiens (Bactéries, Champignons, Algues). 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. Les résultats relatifs à la détermination de la biomasse microbienne semblent varier d'une station à l'autre, toutefois les meilleurs résultats ont été enregistrés au niveau de la station de Chott Kralla. 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, El Oued.

ملخص

أجريت هذه الدراسة بهدف تقييم النوعية والكمية الميكروبيولوجية لقشور بيولوجية لثلاث محطات ممثلة للمنطقة القاحلة يتعلق الأمر بمحطة الطالب العربي ومحطات شط الكرلا و بن قشة (منطقة الوادي) الواقعة جنوب شرق الجزائر. تم قياس الكتلة الحيوية الميكروبيولوجية باستخدام طريقة عد المجموعات الرئيسية الميكروبية (البكتيريا، الفطريات، الطحالب). أظهرت النتائج الإجمالية لتعداد الجماعات الميكروبيولوجية في المحطات الثلاث سيادة البكتيرية تليها الفطريات وأخيرا الطحالب. النتائج المتعلقة بتحديد الكتلة الحيوية الميكروبيولوجية تختلف من محطة إلى أخرى، ومع ذلك، سجلت أفضل النتائج في محطة شط الكرلا. 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، الواد

Abstract

The present work was undertaken to evaluate the microbiological quality and quantity of biological crusts of three stations representative of the arid region. These stations are Talab Larbi, Chott Kralla stations and Ben Guicha (Region of El-Oued) located in south east of Algeria. The microbial biomass was quantified by the method of enumeration of major microbial groups (bacteria, fungi, algae). 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. The results for the determination of microbial biomass seems to vary from one station to another, however, the best results were recorded at the Chott Kralla station. 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, El Oued.