

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



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention d'un

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie Végétale et Environnement

Présenté par :

NAAM Souhila

FERHAT Selma

Thème

**Contribution à l'étude de la biomasse bactérienne et fongique
tellurique de quelques biotopes dans la région de Ouargla**

Soutenu publiquement le :

06/07/2019

Devant le Jury :

KHELLAF Sakina	MCB	Présidente	U.K.M.Ouargla
KHEMGANI Mohammed Abdelmalek	MAA	Examineur	U.K.M.Ouargla
BOUDERHEM Amel	MCB	Examinatrice	U.K.M.Ouargla
KARABI Mokhtar	MCB	Encadreur	U.K.M.Ouargla
ZENKHRI Salah	MCA	Co-encadreur	U.K.M.Ouargla

Année Universitaire : 2018/2019

Liste des abréviations

ITAS	Institut Technologique d'Agronomie Saharienne
SK	Sidi Khouiled
AB	Ain El Beida
M.O	Matière organique
M.O.F	Matière organique fraiche
CE	Conductivité électrique
OGA	Oxytétracycline gélose agar
GN	Gélose nutritive
UFC.g.s.s⁻¹	Unité Formant Colonie par gramme de sol sec
V	Vent
P	Précipitation
EVA	Evaporation
INS	Insolation
H	Humidité
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
DAR	Développement Agricole et Rural
ITAB	Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
Figure 01	Schémas illustrant les ramifications des hyphes des champignons	08
Figure 02	Décomposition des M.O.F	19
Figure 03	Formation d'un agrégat (< 0,25mm)	21
Figure 04	Structuration d'un macro-agrégat selon le modèle hiérarchique	22
Figure 05	Situation géographique de la région d'étude	25
Figure 06	Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla (2008-2017).	27
Figure 07	Carte satellitaire de trois biotopes de la région de Ouargla	28
Figure 08	Carte satellitaire présentons les différents sites s'étude (Google earth, 2019)	32
Figure 09	Méthode de préparation des suspensions dilutions	35
Figure 10	Préparation des suspensions dilutions	35
Figure 11	Ensemencement des microflores telluriques	36
Figure 12	Représentation graphique de la biomasse fongique dans les sols étudiés exprimée en UFC.g.s.s ⁻¹	44
Figure 13	Les différents aspects coloniaux obtenus (a) aspect lisse, (b) arrondie, (c) rugueux et irrégulière	52
Figure 14	Purification de certaines colonies bactériennes ; a-b-c-d : Colonies à purifier / A-B-C-D : Résultats de la purification	54
Figure 15	Différents formes de bacille	57
Figure 16	Les différents couleurs des espèces fongiques obtenues ; (a) verte, (b) noire, (c) orange	59
Figure 17	Identification d' <i>Aspergillus niger</i> ; A-B : Recto verso/ C-D: G X 40/G X 100	62
Figure 18	Clés d'identifications <i>Aspergillus niger</i> (Botton, 1990)	62
Figure 19	Identification d' <i>Aspergillus awamori</i> ; E-F : Recto verso / G-H : G X 40/G X100	61
Figure 20	Clés d'identifications d' <i>Aspergillus awamori</i> (Botton, 1990)	63
Figure 21	Identification de <i>Rhizopus oryzae</i> ; I-J : Recto verso / K-L : G X 40/G X100	63
Figure 22	Clés d'identifications de <i>Rhizopus oryzae</i> (Botton, 1990)	64
Figure 23	Identification du <i>Fusarium sp.</i> ; M-N : Recto verso / O-P : G X 40/G X100	65
Figure 24	Identification de <i>Penicillium sp.</i> ; Q-R : Recto verso / ST: G X 40/G X100	65

Liste des photos

N° photo	Titre	Page
Photo 01	Sol agricole de l'exploitation de l'université	29
Photo 02	Sol salin de chott de Ain Beida	30
Photo 03	Sol dunaire de Sidi Khouiled	30

Liste des tableaux

N° tableau	Titre	Page
Tableau 01	Données climatiques de la région de Ouargla (2008-2017)	26
Tableau 02	Analyses physico-chimiques des sols des échantillons de trois biotopes	40
Tableau 03	Résultats de dénombrement des microorganismes telluriques	44
Tableau 04	Caractères morphologiques des colonies Bactéries	51
Tableau 05	Résultats de la coloration Gram de certaines souches bactériennes	56
Tableau 06	Caractères morphologiques des champignons	58
Tableau 07	Résultats de la purification de certaines souches fongiques	61

TABLE DES MATIERES

Introduction	01
Première partie. Synthèse bibliographique	
Chapitre I. Microorganismes du sol	
I.1 Diversité des microorganismes du sol	04
I.2. Actinomycète	04
I.3. Les algues	04
I.4. Virus	04
I.5. Bactéries	05
I.6. Champignons	06
I.7. Importance des microorganismes tellurique dans les sols	07
I.8. Distribution des microorganismes	10
I.9. Densité et biodiversité	10
I.9.1. Densité	10
I.9.2. Biodiversité	10
Chapitre II. Facteurs influençant les microorganismes de sol	
II.1. Facteurs physiques	12
II.1.1. Texture du sol	12
II.1.2. Structure du sol	12
II.2. Facteurs climatiques	12
II.2.1. Température	12
II.2.2. Humidité	13
II.3. Facteurs chimiques	13
II.3.1. pH du sol	13

II.3.2. Pouvoir d'oxydation	13
II.3.3. Salure	14
II.4. Facteurs biologiques	14
II.4.1. Végétation	14
II.4.2. Interactions entre les microorganismes dans le sol	14
II.4.2.1. Interactions indirects	15
II.4.2.1.1. Association	15
II.4.2.1.2. Symbiose	15
II.4.2.1.3. Compétition	16
II.5. Effet des techniques de travail du sol sur la biomasse microbienne du sol	16
Chapitre III. Effet des microorganismes sur le sol	
III.1. Biodégradation de la matière organique	17
III.1.1. Minéralisation	17
III.1.1.1. Minéralisation primaire	18
III.1.1.2. Minéralisation secondaire	18
III.1.2. Humification	18
III.2. Rôle des microorganismes dans la structure du sol	19
III.2.1. Microorganismes responsables de l'agrégation	20
III.3. Les cycles biogéochimiques	22
III.3.1. Cycle de carbone	22
III.3.2. Cycle d'azote	23
Deuxième partie. Etude expérimentale	
Chapitre I. Présentation de la région d'étude	
I.1. Localisation géographique	25

I.2. climatologie	26
I.3. pédologie	27
I.4. Choix du site expérimentale	28

Chapitre II. Matériel et méthodes

II.1. Technique d'échantillonnage	31
II.1.1. Date de prélèvement	31
II.1.2. Horizon de prélèvement des échantillons	31
II.1.3. Prélèvements des échantillons du sol	31
II.1.4. Conservation et transport des échantillons	32
II.2. Analyses physico-chimiques	32
II.2.1. Humidité	33
II.2.2. pH	33
II.2.3. Conductivité électrique	33
II.2.4. Calcaire total	33
II.2.5. Dosage de carbone organique	34
II.3. Analyses microbiologiques	34
II.3.1. Microflore telluriques	34
II.3.2. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore tellurique	34
II.3.4. Préparation de la suspension dilution	35
II.4. Microorganismes recherchés	36
a. Bactéries mésophiles aérobies total	36
b. Champignons	36
II.5. Purification et pré-identification	37
II.6. Conservation des souches	37
II.7. Caractères morphologiques	37

II.7.1. Observation macroscopique	37
II.7.2. Observation microscopique	38
II.7.2.1. Coloration Gram	38
II.7.2.2. Préparation des lames	38
Chapitre III. Résultats et Discussion	39
III.1. Résultats et discussion des analyses physico-chimiques	40
III.2. Résultats et discussion des analyses microbiologiques	44
Conclusion	65
Références bibliographiques	68
Annexes	

Introduction

Introduction

Les sols, les couverts végétaux, les systèmes aquatiques continentaux et océaniques et l'air sont en interactions multiples par des échanges de matières et d'énergie (Calvet et *al.*, 2015)

Dès 1935, Tansley *in* Ramade (2003), a décrit un écosystème comme étant l'association d'un environnement physico-chimique spécifique avec une communauté vivante. Le sol donc est un système dynamique complexe caractérisé par une grande diversité d'organismes (notamment les microorganismes) de composés chimiques et une structure physique complexe (Wild, 1993). Il est responsable de nombreuses fonctions naturelles en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère (DAR, 2008).

C'est un compartiment extrêmement hétérogène. Ses caractéristiques varient à plus grande échelle, en fonction de la roche mère, du climat et de la couverture végétale (Hooper et *al.*, 2000 ; Ettema et Wardle, 2002), mais aussi à petite échelle, selon la répartition des pores, des agrégats, des racines, des nutriments et de l'eau (Young et Crawford, 2004). De la même manière, les caractéristiques du sol peuvent changer dans l'heure ou dans la journée, d'une saison à l'autre, et évoluent au cours des successions (Bardgett et *al.*, 2005). C'est donc un compartiment diversifié et dynamique ; en 4 dimensions : surface, profondeur et temps. De par sa complexité, il constitue une réelle « boîte noire » des sciences environnementales (Zinger, 2009).

Le sol est donc un véritable carrefour multifonctionnel (Gobat et *al.*, 2003). Et occupe une place centrale dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Représentant près d'un tiers de la surface de la planète, les services rendus par le sol s'appliquent non seulement aux milieux naturels, mais aussi aux systèmes anthropiques en regard de l'agriculture ou la gestion des déchets (Costanza et *al.*, 1997).

Les changements dans la forme et la composition des constituants de la pédosphère, en conséquence leur mobilité et leur recyclage, sont sous la dépendance d'interactions complexes entre les minéraux, la matière organique et les microorganismes du sol (Bollag, 1992). Ce dernier qui est sans doute le plus complexe de tous les habitats microbiens (Stotzky, 1986).

L'existence des sols nécessite la présence d'une activité biologique qui constitue un facteur majeur de leur évolution et influe sur un certain nombre de leurs propriétés. En retour, les propriétés des sols interagissent également sur les conditions de l'activité biologique qui s'y développe. Un équilibre s'instaure alors, pour des conditions énergétiques données (température, précipitations), entre les constituants des sols, qu'ils soient minéraux ou organiques (biotope), et

les organismes vivants qu'on y trouve (biocénose). La couverture pédologique constitue donc un écosystème. Ces organismes vivants, nombreux et très divers, trouvent dans les sols une grande diversité de biotopes permettant leur développement, adaptés à leurs tailles et à leur besoins. (Girard et *al.*, 2011).

Les micro-organismes occupent donc une place centrale dans le vivant par leur abondance, leur diversité, et leur implication dans les processus environnementaux (Zinger, 2009). Ils ont colonisé la quasi-totalité de la surface planétaire et surtout dans les sols (Foissner, 2006).

L'étude d'une communauté microbienne peut se faire à travers différents indicateurs. Une communauté microbienne se définit par sa biomasse, sa richesse, sa diversité, sa structure et sa composition en espèces, ses fonctions dans l'écosystème et la diversité de ces fonctions. La biomasse microbienne est sensible aux changements environnementaux tels que le pH, la couverture végétale ou la fertilité du milieu, ce qui en fait un bon indicateur de la qualité biologique et du fonctionnement des écosystèmes (Zinger, 2009)

La population microbienne dans le sol désertique peut varier autant que n'importe quelle autre zone climatique. Certains déserts arides sévères ont de faibles populations de microorganismes. Ces faibles densités sont associées à la pluviométrie extrêmement faible et irrégulière et l'absence de vie végétale supérieure. La population microbienne dans les sols sablonneux du désert Saharien est minime par rapport à la plupart des déserts (Killian, 1943).

Les microorganismes du sol dépendent d'une part, du pourcentage utilisable de sa capacité en eau, de l'autre, de la tension de vapeur relative de l'atmosphère du sol (Maier et *al.* 2011). Malgré la teneur minimum en eau des sols désertiques et les températures extrêmement élevées auxquelles ils sont exposés, ils renferment toujours des microorganismes à l'état de vie active et dégagent un taux appréciable de CO₂ (Killian, 1943). Il existe un rapport net entre la capacité en air, la teneur en eau du sol, et le nombre des bactéries (Cable and Huxman, 2004). Killian et Ferrer (1943), sont arrivés à isoler 98 espèces de Bactéries du sol du Sahara.

Les microorganismes peuvent avoir peu ou pas d'influence sur le processus de formation des sols dans les déserts extrêmement arides (Brown, 2013).

La répartition horizontale des microorganismes est en fonction du type de végétation (Bouillard et *al.* 1962). Le nombre de microorganismes dans le sol du désert semble être associé à l'abondance de nutriments carbonés disponibles dans le sol pour la synthèse et la dégradation.

L'Azote est un facteur tout aussi important pour l'accroissement des populations bactériennes dans le sol désertique (Killian, 1943)

De point de vue de leur distribution verticale on remarque que les microorganismes se trouvent en majorité dans la couche superficielle du sol, mieux aérée et plus riche en substances nutritives, et que leur nombre diminue progressivement avec la profondeur (Bouafia, 2015)

Le sol du Sahara contient tous les groupes biologiquement importants de bactéries tel que : les fixateurs d'azote, les nitrificateurs, les cellulolytiques et les uréolytiques (Killian, 1943).

Il existe des algues et des champignons dans le désert du Sahara en toute saison même pendant la sécheresse estivale, sous forme active où enkystée. Ils passent l'été sous forme de spores et renaissent à la vie aux époques relativement plus humides. La teneur hydrique en été constitué un facteur limitant par excellence. En même temps, ils peuvent supporter un maximum de lumière (Maier *et al.* 2011).

De même, la composition et la diversité des communautés microbiennes sont fonction des conditions environnementales et peuvent renseigner sur l'état et le fonctionnement de l'écosystème. Enfin, les micro-organismes agissent sur l'environnement à travers un panel diversifié de voies métaboliques dont la caractérisation peut donner des indications sur les processus environnementaux qui s'y déroulent (Hurst, 2002).

La qualité d'un sol a été définie comme "la capacité d'un certain type de sol à fonctionner, dans les limites d'un écosystème naturel ou anthropisé, pour favoriser la productivité des plantes et des animaux, maintenir ou augmenter la qualité de l'air ou de l'eau, et améliorer la santé et l'habitat de l'homme" (Karlen *et al.*, 1997).

La qualité physique, chimique et biologique des sols sahariens posent à la fois des problèmes d'ordre agronomiques (aptitude culturale faible) et environnementaux (érosion et ruissellement de surface) (Koull, 2005).

Les études menées dans les différents sols dans la région d'Ouargla nous ont permis de constater que ces sols sont loin d'être stériles et qu'il y a une vie et une diversité microbienne considérable. C'est dans ce contexte qui s'inscrit la présente étude qui vient confirmer ces résultats en étudiant d'autres sols d'environnement édaphiques différents.

L'objectif général de cette étude est d'étudier les caractéristiques microbiologiques des sols des principaux biotopes sahariens dans la région de Ouargla très peu étudié à ce jour. La présente étude vient comblée ce manque en matière d'écologie microbienne dans les sols sahariens

Première partie
Synthèse bibliographique

Chapitre I

Microorganismes du sol

Chapitre I. Microorganismes du sol

I.1. Diversité des microorganismes du sol

La notion biomasse microbienne, appelée aussi microorganismes ou microflore tellurique du sol constitués de 5 principaux groupes : les virus, les bactéries, les actinobactéries, les champignons et les algues (Jenkinson et Powlson, 1976). Mais les bactéries, les actinobactéries et les champignons représentent l'essentiel de la biomasse microbienne du sol (Lavelle et Spain, 2001).

L'activité biologique du sol est étroitement liée à la biomasse, c'est-à-dire à la quantité de matière vivante présente dans le sol (Davet 1996).

Ils jouent un rôle prépondérant dans le sol, ils synthétisent et décomposent la matière organique (Bodoharisoa *et al.*, 2007).

1.2. Actinobactéries

Les actinobactéries soient des microorganismes procaryotes, leur morphologie ressemble fortement à celle des micro-organismes eucaryotes comme les champignons filamenteux. Les actinobactéries présentent des similitudes avec les eubactéries et les champignons. Il existe des formes de transition, mycéliennes typiques et unicellulaires, présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié (Mincer *et al.*, 2002).

I.3. Les algues

N'existent qu'en surface de sol, car elle besoin le soleil pour leur photosynthèse, leur activité est limitée pendant la période où le sol est humide. Malgré leur faible nombre (cent mille gramme par de sol), elles ont un rôle important comme source de matière organique et comme fixatrice d'azote en symbiose avec des algues blues (Hamdi Aissa *et al.*, 2013).

I.4. Virus

Les virus ne peuvent être considérés comme des habitants normaux du sol puisque ce sont des parasites intracellulaires stricts. Ce sont d'une part les Bactériophages, Actinophages et Cyanophages, virus parasitant les bactéries, les actinomycètes et les cyanophycées, donc

intervenant dans l'équilibre biologique des sols et d'autre part les virus des végétaux et animaux auxquels le sol peut offrir des conditions de conservations favorables. (Dommergues, 1977)

I.5. Bactéries

Les bactéries sont ubiquistes (Hawksworth et Mound, 1991). Ce sont des procaryotes unicellulaires de formes très diverses (Djigal, 2003). Ce sont les plus nombreux et les plus petits, d'une taille proche du micromètre, les cellules bactériennes sont en moyenne 10 fois (en dimension linéaire) ou 1 000 fois (en volume) plus petites que celles des eucaryotes. En revanche, le rapport entre la surface cellulaire active et le volume y est beaucoup plus élevé, conduisant à une activité métabolique potentielle presque inimaginable (Gobat et *al.*, 2003).

Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en N, et peu acides ; elles sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses), au sein de la rhizosphère (Duchaufour, 2001). Elles sont très modestes quant à leur expression morphologique : la plupart ont la forme de bâtonnets ou de petites sphères, certains d'entre elles sont incurvées ou spiralées, d'autres ramifiées (Gobat et *al.*, 2003).

Leur classification était habituellement basée sur des caractères phénotypiques incluant par exemple la morphologie des cellules (cocci, bacilles...) la structure de la paroi cellulaire (gram positif, gram négatif) la présence d'endospores, la mobilité des cellules et la position des flagelles (Berthelin et Toutain, 1979 ; Lavelle et Spain, 2001), et aussi sur des groupes nutritionnels (hétérotrophes et autotrophes).

Les bactéries hétérotrophes constituent les types dominants dans le sol. De par leurs consommation et minéralisation des matériels organiques, elles représentent la plupart des flux d'énergie à travers le sol (Bakken, 1997 ; Focht et Martin, 1979, Berthelin et Toutain, 1979). Les bactéries interviennent dans un grand nombre de processus, et d'interactions mutualistes ou antagonistes avec les autres organismes du sol. Elles jouent un rôle fondamental dans les cycles biogéochimiques et dans le recyclage des déchets et des polluants comme les pesticides (Toop et *al.*, 1997; leung et *al.*, 1997). Elles interviennent également dans le maintien de la structure du sol, par la formation d'agrégats.

Certaines bactéries plus spécialisées, jouent un rôle particulier ; les autotrophes tirent leur énergie de l'oxydation de certains composés (S, NH₃, NO₂, Fe²⁺, Mn²⁺) et assimilent le carbone du

CO₂ ; les bactéries nitrifiantes, pour la plupart, les bactéries qui oxydent le fer et le soufre appartiennent à cette catégorie (Maameri, 2007).

I.6. Champignons

Ce sont des organismes hétérotrophes, eucaryotes à digestion extracellulaire, résistent mieux que les bactéries à la sécheresse et à l'acidité, et constituent la microflore quasi exclusive de certains sols secs et acides. Mais à la différence des bactéries, ils sont toujours aérobies, et ne prolifèrent pas dans les milieux mal aérés (Duchaufour, 2001).

Les champignons sont des organismes filamenteux (ou hyphes) et immobiles. Les hyphes sont des tuyaux plus ou moins larges (2 à 15 microns) formant un réseau mycélien dans le sol. On peut dénombrer jusqu'à 1 000 m d'hyphes par gramme de sol (Davet, 1996).

Ces hyphes, dont le diamètre ne dépasse normalement pas quelques microns, sont appelés des filaments, mais un seul hyphe peut mesurer plusieurs mètres de long (Riz, 2008).

Les champignons sont des microorganismes vivants dotés d'une structure filamenteuse végétative appelée mycélium. La plupart sont des Eumycètes, ils ont une membrane chitineuse, et leur organe reproducteur est dépourvu de flagelles. Les Eumycètes sont constitués de quatre principaux groupes qui diffèrent par la structure de leur mycélium et de leur organe reproducteur survivant dans le sol : les Zygomycètes, les Ascomycètes, les Basidiomycètes et les Deutéromycètes (Lavelle et Spain, 2001). La majorité des grands groupes taxonomiques de champignons sont tous hébergés dans le sol (Thorn, 1997). Elles présentent une grande diversité, des études récentes estiment le nombre d'espèces à 1,5 millions approximativement

(Hawksworth et Mound, 1991).

Leurs spores, particulièrement abondantes mais le plus souvent dormantes dans les sols, germant facilement et donnent des mycéliums sur la plupart des milieux de culture usuels (Gobat *et al.*, 2003).

Les champignons sont souvent dominants dans les sols naturels en termes de biomasse ; Dans certains sols, leur biomasse qui constitue une portion importante du pool de nutriment, peut-être plus importante que celle de tous les autres microorganismes, plantes et animaux réunis (Anderson *et al.*, 1978; Nannipieri *et al.*, 1978).

I.7. Importance des microorganismes tellurique dans les sols

La population microbienne du sol constitue le maillon final de la chaîne trophique du sol par laquelle transite le carbone et les éléments nutritifs des matières organiques avant de redevenir disponibles pour les plantes ; elle remplit donc une fonction essentielle et obligatoire dans le « recyclage » des matières organiques retournées au sol (Chantiny, 2005).

La vie dans les sols est responsable de la dégradation des composés organiques qui y sont apportés : litière feuillue et herbacée, bois, racines, microflore morte et cadavres animaux. 20 % environ de l'apport énergétique est utilisé par la faune du sol, 80 % par la microflore (Chantiny, 2005). La mort cellulaire des différents organismes est suivie par des réactions de dégradations chimiques et biologiques des tissus et une forte activité de synthèse microbienne, les débris organiques sont consommés par différents organismes décomposeurs du sol (arthropodes, champignons, bactéries) qui permettent leur fragmentation, leur digestion et leur incorporation au sol (Djigal, 2003).

Les microorganismes du sol sont largement hétérotrophes, ce qui veut dire qu'ils dépendent d'une source de matières organiques pour en tirer leur énergie et se multiplier ; on parle aussi de microorganismes décomposeurs (Chantiny, 2005).

La population microbienne du sol contient une certaine quantité d'éléments nutritifs dans sa biomasse qui est souvent perçue comme une réserve à court terme pour les plantes (Chantiny, 2005).

En moyenne, la biomasse microbienne renferme 2 à 4 % du carbone et 4 à 8 % de l'azote total d'un sol. On peut donc considérer la microflore des sols comme étant à la fois un transformateur et un compartiment traversé par des flux d'énergie et d'éléments minéraux (Nicolardot, 2010).

Un mycélium par sa taille et sa structure, est à même de transporter activement des quantités importantes d'eau et de substances d'un endroit à l'autre du sol. La translocation des sels minéraux prend toute sa signification chez les mycorhizes, associations symbiotiques entre un champignon et les racines d'un végétal (Gobat et al., 2003) (figure 01).

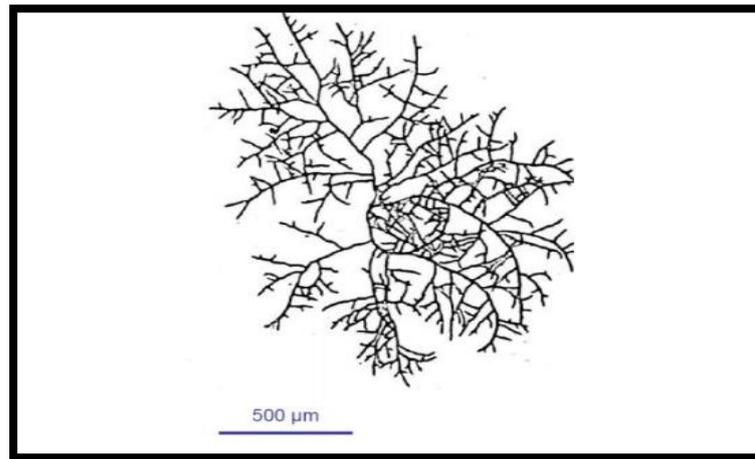


Figure 01. Schémas illustrant la ramification des hyphes des champignons (Ritz, 2008)

La plupart des besoins des végétaux en éléments minéraux proviennent de la décomposition de la matière organique des sols (Swift *et al.*, 1979). Les principales transformations biochimiques du matériel mort sont assurées par l'activité des micro-organismes (Killham, 1994). Ces derniers peuvent à la fois agir comme source (phénomène de minéralisation) et comme réservoir (phénomène d'immobilisation) des nutriments nécessaires à la croissance et au développement des végétaux (Diaz-Raviña *et al.*, 1993; Bauhus et Khanna, 1999).

Selon leur nature et leur action, les êtres vivants ont une influence plus ou moins marquée sur la morphologie des sols, leurs qualités physiques, leurs caractéristiques chimiques, leur dynamique et leur fertilité (Bachelier, 1973).

L'activité biologique des sols joue un rôle fondamental dans la transformation, l'accumulation et le transfert de nombreux composés. Les champignons, bactéries décomposent la matière organique. Les microorganismes contrôlent aussi les échanges de gaz carbonique avec l'atmosphère et participent à la séquestration du carbone dans le sol. Certains micro-organismes peuvent décontaminer un sol pollué, en particulier par des hydrocarbures, car ils ont la capacité de dégrader des polluants organiques (ex : les bactéries *Pseudomonas* ou les champignons *Penicillium*).

Les champignons participent à la synthèse des acides humiques (cas des *Aspergillus niger* et *Penicillium*). En second lieu, ils interviennent dans les stades initiaux de condensation dans l'humification pour la formation des complexes humiques (Bodoharisoa *et al.*, 2007).

Les Bactéries, contribuent dans plusieurs formes de dégradations comme la protéolyse, la cellulolyse, l'hémicellulolyse,... Ils participent aussi dans la synthèse cellulaire et dans la fixation d'azote. Ils interviennent également dans la libération des composés azotés (protéines, acides aminés, ammoniac) et des composés carbonés comme les glucides provenant de la dégradation des lignines et celluloses (Bodoharisoa et al, 2007).

Les microorganismes du sol influencent différemment la stabilité de la structure d'un sol en fonction de leur type, de leur activité et de leurs produits de synthèse. La stabilité des agrégats est corrélée positivement à la biomasse microbienne totale du sol (Jastrow et Miller 1991 ; Sparling et al, 1992). Mais, les microorganismes présentent entre eux des différences d'efficacité en ce qui concerne leur aptitude à induire l'agrégation et à la maintenir (Annabi, 2005).

Certains microorganismes, principalement des bactéries *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Serratia*) (Gray et Smith, 2005) et *Streptomyces* spp. (Tokala et al., 2002) sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires. Elles influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance (voie directe) et/ou en la protégeant contre les infections par des agents phytopathogènes (voie indirecte), ces bactéries de la rhizosphère sont alors reprises sous le terme PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*).

Directement ou non, les bactéries agissent sur l'ensemble de la biocénose ; certaines bactéries exercent un contrôle, positif ou négatif, sur d'autres organismes. Mais c'est avant tout par leurs fonctions biogéochimiques, telles la minéralisation de la matière organique, l'oxydation des composés inorganiques réduits, la réduction anaérobie de composés inorganiques oxydés, la solubilisation ou la précipitation de minéraux, sans oublier la transformation de certains composants organiques en humus, que les bactéries jouent un rôle essentiel dans la formation et l'évolution de sol (Gobat et al., 2003).

Les micro-organismes influencent la pédogenèse en agissant sur la matière organique, considérée comme facteur intégrateur de l'ensemble des facteurs du milieu. Cette influence est en étroite relation avec l'état et la nature de la matière organique disponible qui à son tour, et par ses caractères physico-chimiques, sélectionne les différents groupements microbiens ainsi que leurs successions au niveau du sol (Angers, 2007).

I.8. Distribution des microorganismes

Les microorganismes ne sont pas distribués de façon homogène dans le sol, mais se retrouvent plutôt sous forme de micro colonies, pour la plupart dans un état de dormance (Foster et coll., 1983).

I.9. Densité et biodiversité

I.9.1. Densité

La densité bactérienne est le groupe le plus nombreux et le plus varié, puisque leur densité peut s'élever de dix millions à un milliard par gramme de sol (Claude et al., 2008).

Dans les sols, la biomasse bactérienne est estimée à 10^9 germes vivants par gramme de sol soit 500 $\mu\text{g/g}$ pour une surface active de 50cm^2 (Gobet et al. 2003).

La densité totale des bactéries dans le sol (exprimée en nombre de cellules bactériennes par gramme du sol) est relativement difficile à évaluer. Il existe des différences considérables dans les résultats, suivant que l'on utilise des méthodes de comptage directes (par observation microscopique de suspensions diluées du sol) ou des méthodes de culture (sur des milieux solides ou liquides ensemencés avec des suspensions diluées), ces derniers donnant des valeurs nettement inférieures. Quoiqu'il en soit on admet que la densité de la microflore bactérienne totale est en générale comprise entre 10^6 et 10^9 , dans des conditions exceptionnellement favorables (sol forestier à humus type mull au printemps) nous avons dénombré, par la méthode de culture, jusqu'à 10^{11} bactéries par gramme du sol (Maameri, 2007).

I.9.2. Biodiversité

En ce qui concerne la biodiversité de la microflore désertique, Killian et Feher, 1939, sont arrivés à isoler 98 espèces de Bactéries, 28 espèces de Champignons et 84 espèces d'Algues dans les régions désertiques.

Il existe 10 000 espèces connues de bactéries mais il y en a certainement beaucoup plus car ces organismes sont difficiles à cultiver, à isoler et à identifier à l'aide des méthodes traditionnelles. Selon une estimation, il pourrait y avoir 500 000 espèces de bactéries dans 30 grammes de sol, ce qui ferait de ces organismes le groupe d'êtres vivants le plus riche en espèces.

On en connaît environ 70 000 espèces presque toutes terrestres. La difficulté de leur recherche (pour les espèces de petite taille) et de leur identification permet de penser qu'il en existe peut-être 1,5 million d'espèces (Dajoz, 2008).

Chapitre II

Facteurs influençant la biomasse microbienne du sol

Chapitre II. Facteurs influençant la biomasse microbienne du sol

II.1. Facteurs physiques

II.1.1. Texture du sol

La texture du sol a un rôle réglementaire dans les processus biologiques du sol et donc affecte la structure de la communauté microbienne du sol (Sessitsch et *al.*, 2001). La texture du sol est une propriété essentielle qui affecte la facilité d'utilisation de la matière organique par les microorganismes. Elle détermine de façon significative l'humidité du sol et la disponibilité des nutriments. (Veen et Kuikman, 1990).

Dans un sol sableux suffisamment humide, la continuité du film liquide autour des particules assure une propagation rapide de l'activité microbienne. Cette propagation est ralentie par la présence d'argile, l'action directe des particules argileuses tient en premier lieu à leur effet protecteur des substances organiques par formation de complexes organominéraux moins accessibles à l'activité microbienne (Morel, 1989).

II.1.2. Structure du sol

La microflore tellurique intervient activement dans la genèse, la stabilisation et la dégradation de la structure du sol. Inversement, la structure influe considérablement sur l'activité de la microflore ; elle joue le rôle d'un véritable régulateur vis-à-vis des processus biologiques et biochimiques qui se déroule dans le sol (Dommergues et Mangenot, 1970).

II.2. Facteurs climatiques

II.2.1. Température

La température du sol représente dans les zones arides un facteur écologique très important qui régit la multiplication des microorganismes dans ces régions (Sasson, 1967).

Le facteur température exerçant une influence primordiale sur le comportement de tous les organismes vivants, on conçoit que ce facteur agisse sur la composition et l'activité de la microflore du sol. Aux faibles températures (de l'ordre de 5°C) se manifeste une nette tendance à l'accumulation d'azote ammoniacal car la microflore nitrifiante, relativement plus exigeante sur le plan thermique, est presque à l'état de repos. Les températures basses (inférieures à 0°C) exercent

une action létale sur un certain facteur de la microflore du sol ; mais cette action est beaucoup moins marquée que celle de la dessiccation (Dommergues, 1977).

L'action de la température se reflète sur l'activité respiratoire du sol ; le dégagement du CO₂ présente généralement deux maxima : l'un entre 25 et 50°C le second compris entre 45 et 65°C (microorganismes thermophiles) (Morel, 1989).

II.2.2. Humidité

L'humidité est nécessaire à la vie des microorganismes et aussi à leurs déplacements ; la vie sans air est possible puisqu'il existe des êtres vivants anaérobies mais la vie sans eau ne l'est pas sauf pour la migration. Le développement optimum varie avec l'espèce du microbe considéré et avec la nature des sols (Gausher et Erikson, 1986).

Selon Boullard et Moreau (1962), l'excès d'eau entraîne une aération déficiente et détermine une sélection des germes. Un manque chronique d'eau entraîne également une sélection, mais la microflore inhibée est évidemment différente de la précédente.

II.3. Facteurs chimiques

II.3.1. pH du sol

Plus le sol est acide, moins la biomasse microbienne est importante. Des auteurs ont constaté par exemple que sous prairie pâturée composées de ray-grass anglais, une diminution du pH de 5,4 à 4,7, survenue suite à l'interruption pendant deux ans de toute fertilisation et de chaulage, conduisait à une baisse de 18 % de la biomasse microbienne (Bardgett et Leemans, 1995). En revanche, l'apport de chaux en sol acide peut conduire à une augmentation de la biomasse microbienne. Le pH du sol influence également le type de populations microbiennes, ainsi dans les sols acides, on trouve plus de champignons (ITAB, 2002).

II.3.2. Pouvoir d'oxydoréduction

La nature et l'intensité de l'activité microbienne du sol relèvent largement de la valeur de son pouvoir oxydoréduction à une conséquence directe sur les processus de dégradation des substances organiques : de bonnes conditions d'aérobiose induisent une oxydation aisée des substances organiques (Morel, 1989).

II.3.3. Salure

Le taux de salinité a une grande influence sur l'évolution de la microflore du sol, l'augmentation de la quantité fait diminuer le nombre de microorganismes (Eshkweer et al, 1976), de tous les processus biologiques, la nitrification est la plus touchée, ainsi que le dégagement de CO₂ (Dellal et al, 1992).

L'inhibition de l'activité biologique par les sels se traduit par une forte teneur en composés hydrosolubles très mobiles au détriment des composés plus poly condensés (Maameri, 2007).

II.4. Facteurs biologiques

II.4.1. Végétation

L'activité biologique souterraine est aussi au cœur de la relation sol/plante. La rhizosphère, définie comme le volume de sol soumis à l'influence de racine, est une zone d'intense activité microbienne. En effet, la plante, via les exsudats racinaires, met à disposition de la microflore des substrats, sucres et acides aminés, qui favorisent le développement des microorganismes. Les interactions complexes entre ces populations microbiennes et le sol déterminent la santé du sol. Parmi les microorganismes, il y a les champignons mycorhiziens, qui entretiennent des relations très intimes avec la plante. Ils apportent à la plante des éléments nutritifs, essentiellement le phosphore, utiles à sa croissance, et d'autre part ils renforcent ses défenses naturelles vis-à-vis de stress d'origine biotique et abiotique (Bodoharisoa, 2007).

D'autres microorganismes, en particulier les bactéries du genre *Bacillus* or *Pseudomonas* qualifiées de PGPR, sont également capables de stimuler la croissance des plantes et de s'opposer à l'activité d'agent pathogène (Bodoharisoa, 2007).

Chez les plantes âgées, cette substance constitue la fraction la plus importante en poids de la matière sèche totale : 15 à 30 % des organes verts, 30 à 50% des pailles et des bois selon les estimations courantes (Bodoharisoa, 2007)

II.4.2. Interactions entre les microorganismes dans le sol

«La notion de fonctionnement biologique du sol correspond à un système d'interactions entre différents compartiments de la couverture pédologique qui font intervenir un acteur biologique (faune ou micro-organismes ou racine), ces interactions induisant un certain nombre

de fonctions écologiques, agronomiques ou environnementales de la couverture pédologique (Cluzeau et *al.*, 2005).

Les micro-organismes sont aussi des agents de l'altération efficace des minéraux (Berthelin, 1988) et assurent soit en étant étroitement associés aux racines (milieux rhizosphériques) ou indépendamment du système racinaire, la libération d'autres nutriments à partir des minéraux et constituants organo-minéraux des sols (K, Mg, Fe, Mn. . .) (Leyval et Berthelin, 1991).

II.4.2.1. Interactions indirectes

Dans ce type d'interactions les microorganismes réagissent le plus souvent les uns sur les autres par l'intermédiaire de leurs besoins alimentaires. Elles peuvent présenter le caractère d'association, de symbiose vraie ou de compétition (Maameri, 2007).

II.4.2.1.1. Association

Un des germes utilise les produits de métabolisme de l'autre. (Pochon et Yao Tseng, 1948) ; Association : cellulolytiques-fixateurs d'azote. Les fixateurs aérobies oxydent la cellulose et dans ces produits d'oxydation, d'ailleurs mal définis, les azotobacters trouvent les substances énergétiques nécessaires à la fixation de l'azote atmosphérique.

II.4.2.1.2. Symbiose

Le terme de symbiose sous-entend bien souvent une association à bénéfice mutuel ; la grande majorité des symbioses mutualistes rencontrées dans le sol interviennent entre un organisme photosynthétique (bactérie, algue...) et un organisme chimiohétérotrophe. Le premier sert de relais énergétique entre la lumière et le second, lui fournissant de l'énergie convertie sous la forme de molécules carbonées organiques dont une partie est assimilée (Gobet et *al.* 2003). On peut ici rappeler les symbioses des Azotobacters et Algues ; les secondes fixent, grâce à leur pigment chlorophyllien, le carbone atmosphérique ; celui-ci est utilisé comme aliment énergétique par les azotobacters qui fixent l'azote atmosphérique indispensable aux algues (pour certains auteurs le carbone fixé par les algues ne serait utilisable par les azotobacters qu'après la mort de celles-ci) (Maameri, 2007).

II.4.2.1.3. Compétition

La compétition exerce une influence négative sur tous les partenaires en présence. Ce n'est que s'ils partagent la même niche écologique que l'un va éliminer l'autre... et que la compétition s'arrête (Gobet et *al.* 2003). La résistance des espèces, leur vitesse de prolifération et même leur mobilité est ici des facteurs importants. Il suffira de rappeler ce qui se passe lorsqu'on ensemence un milieu liquide pauvre en aliments avec une flore mixte, un grain de terre par exemple ; les espèces à grande vitesse de prolifération l'emportant rapidement sur les espèces lentes, jusqu'à inhiber quelques fois complètement leur développement (Maameri, 2007). On peut en observer deux types

- la compétition intraspécifique, entre les individus d'une même espèce, qui dépend de la densité des populations. Les conséquences en sont la malnutrition et ses répercussions (mortalité juvénile, cannibalisme) (DAR, 2008).

- La compétition interspécifique, met en concurrence (directe ou non) deux espèces différentes, pour l'utilisation d'une ressource (alimentaire ou refuge) (Dar, 2008).

II.5. Effet des techniques de travail du sol sur la biomasse microbienne du sol

le sol présente une grande hétérogénéité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'aération et d'activités biologiques (Boizard et *al.*, 2004). Ainsi, la structure d'un sol labouré est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes décimétriques (compactées ou non), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (Roger-Estrade et *al.*, 2004).

La structure d'un sol non labouré est caractérisée par une structure plus homogène et les résidus de culture sont concentrés dans les premiers centimètres du sol. Ces structurations différentes influencent les caractéristiques biologiques du sol et notamment la répartition et l'activité de la biomasse microbienne du sol (Andrade et *al.*, 2003) ainsi que la structure des communautés (Drijber et *al.*, 2000; Cookson et *al.*, 2008). Le système de non travail du sol a permis un stockage de 3,36 Mg.ha⁻¹ de carbone organique de plus que le système conventionnel (Mrabet et *al.* 2001).

Chapitre III

Effets de la biomasse microbienne sur le sol

Chapitre III. Effets de la biomasse microbienne sur le sol

III.1. Biodégradation de la matière organique

Les modalités de la décomposition de la matière organique du sol reposent sur deux processus complémentaires, plus ou moins simultanés (Duchaufour, 1991) : la minéralisation et l'humification.

III.1.1. Minéralisation

C'est un processus catabolique par lequel les matériels organiques morts sont transformés en des éléments inorganiques, avec une libération simultanée d'énergie (Lavelle et Spain, 2001). Ces formes inorganiques sont directement assimilables par les plantes et les microorganismes. La majorité de ce matériel organique provient des plantes supérieures (Atlas et Bartha, 1993). Les composants rejetés par ces dernières dans le sol (litière des feuilles, des résidus de culture, exsudats racinaires, débris racinaires) comprennent des substances simples (lipides, pectines, protéines, amidon) facilement dégradés par les microorganismes et complexes, difficilement dégradables. Ces derniers sont constitués de polysaccharides (cellulose, d'hémicellulose) de lignine, d'acide humique (Stotzky, 1997). Ceci fait que le taux de décomposition dépend de la qualité chimique de ces ressources organiques (Aerts, 1997).

Les molécules organiques sont transformées en éléments simples : gaz carbonique (CO₂), azote minéral et éléments minéraux. Ce sont surtout les microorganismes qui effectuent ces transformations. Beaucoup de facteurs interviennent dans ce processus : la nature de la matière organique, les facteurs physico-chimiques et biologiques du sol, les cultures et les pratiques agricoles.

Dans les écosystèmes naturels, la minéralisation de la matière organique est la source majeure des nutriments pour la croissance des plantes, et il y a un équilibre rationnel entre minéralisation et besoins en nutriments des plantes (Bloem *et al.*, 1997).

Ce processus se déroule en plusieurs étapes :

III.1.1.1. Minéralisation primaire M1

Est un processus assez rapide. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisations successives des matières organiques. Parmi ces substances, on trouve : l'eau, le CO₂, l'azote nitrique, les phosphates et sulfates, etc... Cette phase se déroule essentiellement sous l'action de la faune du sol et des microbes (champignons et bactéries) (Elzein *et al.*, 1995).

Ces matières minérales peuvent être assimilées par les plantes, adsorbées sur le complexe argilo-humique, perdues par lessivage ou reprise par certains microbes pour la synthèse de l'humine microbienne (Elzein *et al.*, 1995).

III.1.1.2. Minéralisation secondaire M2

Est au contraire un processus très lent, à raison de 2 – 3 % par an. Elle affecte l'humus formé depuis de nombreuses années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes (Duchaufour, 1984).

III.1.2. Humification

L'humification exprime des processus à la fois très différents, interdépendants et forts complexes, échappant encore à une compréhension claire (Gobat *et al.*, 1998). Néanmoins elle peut être globalement assimilée à un processus d'accumulation, de stockage ou de conservation dans le sol, de métabolites microbiens et/ou de molécules organiques (acides humiques, acides fulviques, humines, protides, glucides, lignine, tanin, etc.) ayant résistées à la minéralisation (Bernier, 1997) (figure 02).

Le processus d'humification repose sur des mécanismes complexes de dégradation de la matière organique par les microorganismes. Il conduit à la formation de substances brunes par des réactions de polycondensation oxydative, avant la minéralisation totale (Tissaux, 1996).

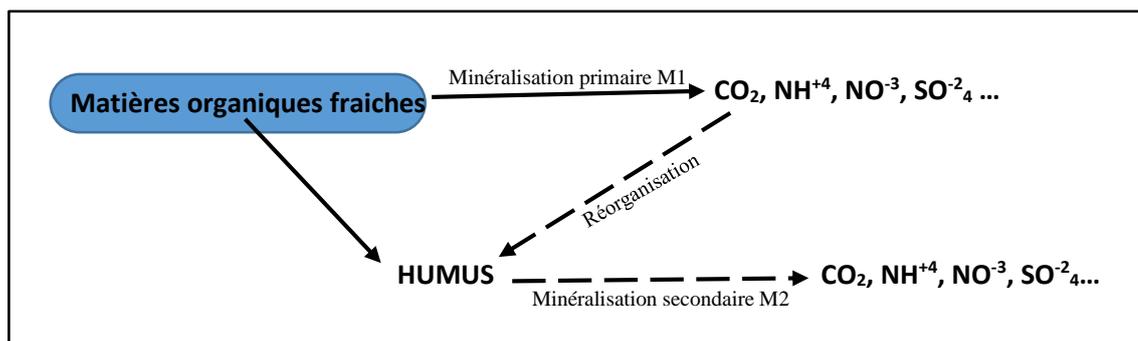


Figure 02. Décomposition des M.O.F (Duchaufour, 1984)

III.2. Rôle des microorganismes dans la structure du sol

En Pédologie le retour à une conception plus écologique du sol considéré comme un écosystème au sein duquel les facteurs biotiques et les facteurs abiotiques se conditionnent mutuellement (Bachelier, 1973).

L'importance des mécanismes biologiques dans la stabilisation de la structure dépend de la texture du sol : cette importance est grande dans le cas des sols sableux, maximale dans les sols limoneux et minimale dans les sols argileux (Oades, 1993). L'efficacité des organismes vivants dans la stabilisation de la structure sera modulée par les conditions du milieu régulant l'activité de ces organismes (température, aération, humidité, disponibilité des substrats...) (Oades, 1988).

L'action des microorganismes dépend de la texture du sol. Dans les sols sableux, l'agrégation est faiblement reliée à la biomasse microbienne et à leurs produits de synthèse (Degens et Sparling, 1996) ; seuls les hyphes fongiques peuvent agréger ce type de sol. Par contre, dans les sols argileux, les champignons et les bactéries ainsi que leurs substances de synthèse jouent un rôle dans l'agrégation.

L'intérêt de connaître l'activité biologique globale des sols se justifie par le rôle de la vie dans la définition et le maintien des équilibres pédologiques, et plus particulièrement le maintien de leurs caractéristiques physico-chimiques (Bachelier, 1973).

Les différents groupes biologiques qui vivent dans le sol (végétaux, animaux et microorganismes) contribuent à l'établissement d'une structure stable surtout dans les sols pauvres en agents d'agrégation de nature physico-chimique (Oades, 1993).

La stabilité structurale est liée à l'activité biologique globale de la décomposition (décomposition quantitative), mais aussi à l'évolution dans le sol de groupe de molécules et de micro-organismes particuliers (décomposition qualitative). D'autre part, l'effet de chaque facteur est difficile à individualiser, puisque les facteurs sont liés entre eux (Par exemple les champignons sécrètent des polysaccharides et relient les particules entre elles par maillage) (Abiven, 2004).

L'efficacité des organismes vivants dans la stabilisation de la structure sera modulée par les conditions du milieu régulant l'activité de ces organismes (température, aération, humidité, disponibilité des substrats...) (Oades, 1988).

III.2.1. Microorganismes responsables de l'agrégation

Les microorganismes présentent entre eux des différences considérables en ce qui concerne leur aptitude à induire l'agrégation à partir d'un même substrat organique (Bodoharisoa et al., 2007).

a) Les Bactéries

Les bactéries interviennent plutôt dans la stabilisation des particules de la taille des argiles et des limons (Tisdall, 1994). Elles synthétisent des substances gluantes telles que la sécrétion de mucilages (composés de glucides et de protéines) peuvent constituer le centre de formation de microagrégats (Robert et Chenu, 1992).

Parmi les groupes les plus efficaces, citons : *Bacillus polymyxa*, *Bacillus mycoïdes*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cirulans*, *Rhizobium japonicum*, *Rhizobium léguminosarium*, *Beijerinckia indica*, *Pseudomonas* divers, *Chromobactérium* (Bodoharisoa et al., 2007)

L'action des bactéries et des actinomycètes dans le processus d'agrégation et la stabilisation des agrégats est nettement moins importante que celle des champignons (Berthlenfalvay et al, 1999) (figure 03).

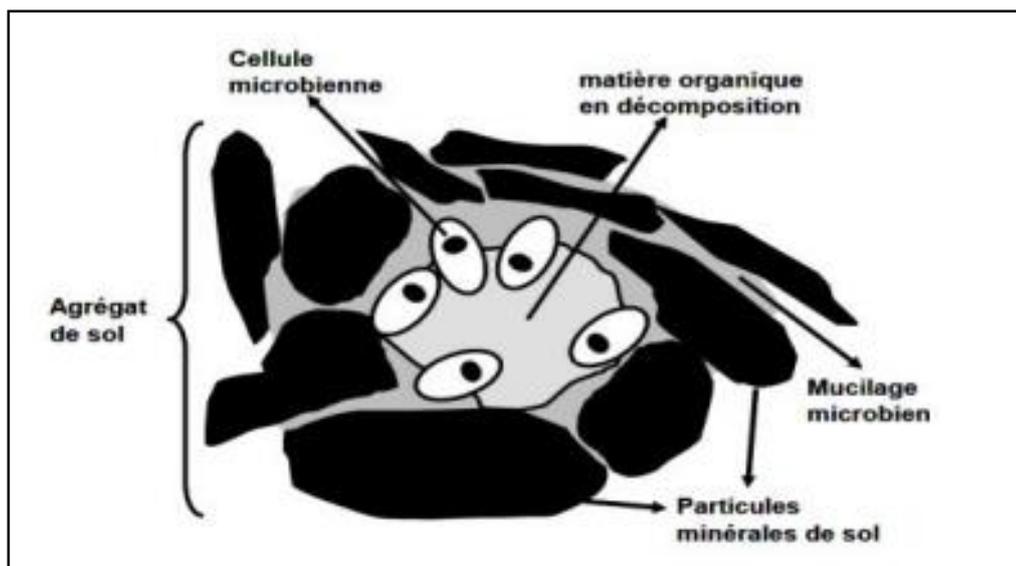


Figure 03. Formation d'un agrégat (<math><0,25\text{mm}</math>)
(CRAAQ, 2005)

b) Champignons

De nombreux champignons secrètent des substances agrégeantes à fort pouvoir collant comme les polysaccharides et les gommes (Molope *et al*, 1987) consolidant ainsi les agrégats. Les mycéliums des champignons consolident également directement la structure du sol par enchevêtrement mécanique des particules minérales entre les hyphes et/ou par la résistance mécanique des filaments fongiques aux contraintes physiques (Degens, 1997).

L'efficacité des champignons dans l'agrégation du sol varie avec l'espèce fongique (Caesar-TonThat *et al*, 2001).

L'aptitude à l'agrégation est très répandue chez les Champignons, où l'on signale plus particulièrement certaines espèces parmi les genres suivant : *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Sclerotium*, diverses levures notamment *lipomyces starkeyi*, et des basidiomycètes (Bodoharisoa *et al.*, 2007).

Leurs hyphes sont un facteur agrégeant à part entière, car ils peuvent relier entre eux un grand nombre de particules dans de larges structures arborescentes (figure 04).

Dans le cas de ces champignons à mycélium, on peut penser que l'effet mécanique des hyphes persiste même lorsque les organismes sont morts. Les champignons peuvent aussi modifier le comportement du sol vis à vis de l'eau (Monnier, 1965).

Les Champignons exerceraient une influence stabilisatrice plus marquée sur les gros agrégats (diamètre > 2mm).

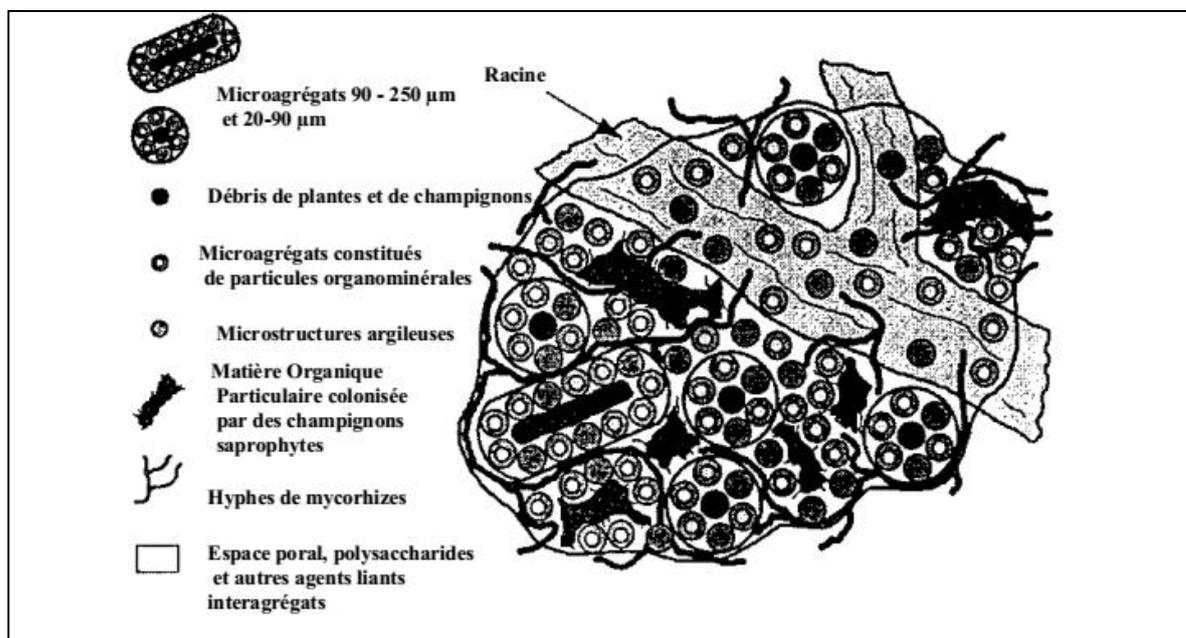


Figure 04. Structuration d'un macro-agrégat selon le modèle hiérarchique (adapté de Jastrow et Miller, 1997)

III.3. Cycles biogéochimiques

Le sol est un milieu oligotrophe, la plus part des microorganismes telluriques (algues, protozoaires, champignons, bactéries) sont impliqués dans de nombreux processus biogéochimiques, la communauté microbienne tellurique, qui joue un rôle primordial dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et d'autres éléments, exercent également des effets bénéfiques ou délétères sur la croissance et la santé des plantes (Hamdi Aissa et *al.*, 2013).

III.3.1. Cycle de carbone :

Selon Bodoharisoa et *al.*, (2007) en enchaînant photosynthèse, alimentation, digestion, fermentation ..., on constate que dans la biosphère, l'élément carbone est constamment recyclé.

En effet, le cycle du Carbone est le passage continu Carbone organique – Carbone minéral au cours duquel, il y a phénomène de dégradation, de minéralisation et d'humification.

Le cycle peut comporter 4 grandes étapes :

1^{ère} étape : Organisation du carbone

C'est la transformation du carbone minéral (CO₂ atmosphérique) à l'état de substances organiques complexes pendant la photosynthèse des autotrophes.

2^{ème} étape : Consommation

La masse végétale est utilisée par les consommateurs primaires, les herbivores, des mammifères aux insectes et aux gastéropodes, puis ces derniers sont eux même attaqués par des consommateurs secondaires, carnivores. C'est une étape qui consiste en une très faible minéralisation du carbone par la respiration.

3^{ème} étape : Décomposition

Une partie de la biomasse végétale fait directement retour au sol à l'état de débris auxquels viennent s'ajouter déjections et cadavres d'animaux. L'ensemble de ces matières organiques inertes sont alors progressivement minéralisés par l'intervention des microorganismes décomposeurs.

4^{ème} étape : Réserves

C'est l'accumulation, dans des débris de tissus encore organisés, des substances plus ou moins polymérisées issues de la transformation de certaines fractions de débris végétaux et certains produits de métabolismes microbiens. Les micro-organismes jouent alors un rôle majeur dans le cycle du carbone surtout au niveau de l'étape de la décomposition des matières organiques inertes. C'est dans cette étape que s'intègrent les différents types de dégradations que nous avons vu en haut.

III.3.2. Cycle d'azote

Une partie de l'azote du sol prélevé annuellement du sol par les plantes ou les organismes vivants lui est restituée sous forme organique par la litière ou la mort des organismes. Ainsi l'azote est transféré d'une composante à l'autre du système sol-plante. Au cours de ces transferts, l'azote subit des modifications qui constituent le cycle de l'azote.

La minéralisation de l'azote organique, quasi non assimilable par les plantes, en azote inorganique, assimilable par les plantes, se fait en deux étapes : la première appelée ammonification, qui transforme l'azote organique en ammonium, et la nitrification, qui transforme l'ammonium en nitrates.

L'ammonium est donc la principale, pour ne pas dire, la seule forme d'azote disponible pour la nutrition végétale. Jackson *et al.* (1989) ont par ailleurs montré que la source d'azote privilégiée par les micro-organismes est également l'ammonium, qui est donc très sensible au phénomène d'immobilisation.

Deuxième partie
Etude expérimentale

Chapitre I
Présentation de la région
d'étude

I.1. Localisation géographique

Notre étude expérimentale concerne la région de Ouargla. Elle est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle est située au Sud-est du pays (DPAT, 2006), à 790 Km de la capitale Alger par la route, et à 575 Km à vol d'oiseau. Ces coordonnées géographiques sont :

- Altitude : 157 m
- Latitude : 31°58' nord.
- Longitude : 5°20' est.

D'une superficie d'environ 163.230 Km², la wilaya d'Ouargla se trouve limitée au Nord-est par les wilayates d'El-Oued et de Djelfa; à l'Est par les frontières tunisiennes et la wilaya d'El-Oued; à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa et au Sud-est par la wilaya de Tamanrasset (figure 05).

La cuvette de Ouargla s'étend sur environ 30 km de long et 12 à 18 km de large, à une altitude variant de 103 à 150 m. Elle est bordée à l'Ouest par un plateau de 200 à 230 m d'altitude et à l'Est par un plateau à moins de 160 m d'altitude (Rouvillois - Brigol, 1975).

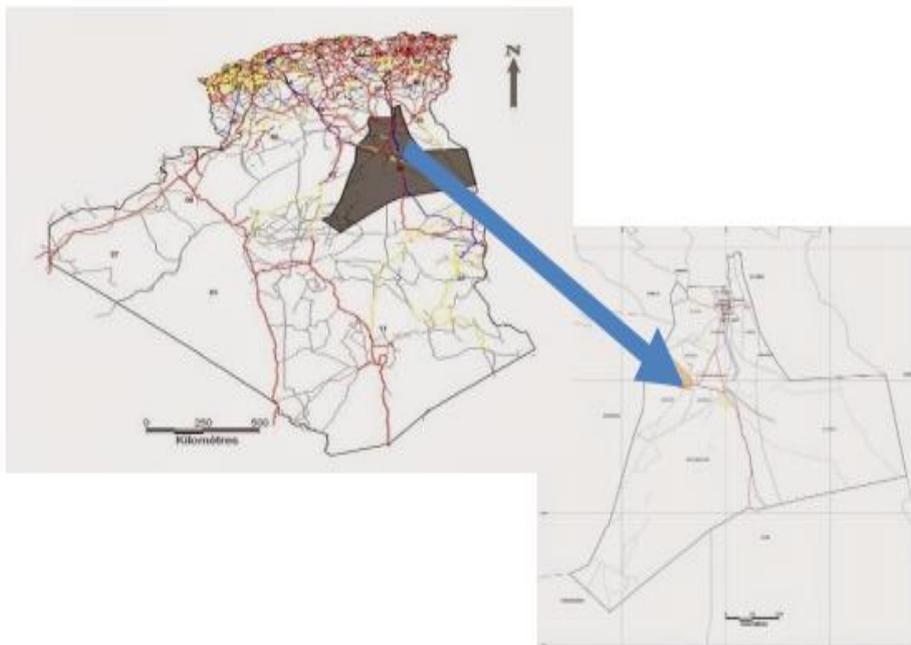


Figure 05. Situation géographique de la région d'étude (Arour, 2014)

I.2. Climatologie

Elle se caractérise par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une luminosité intense et une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème (DPAT, 2006).

Le tableau 01 présente les données climatiques de la région d'étude.

Tableau 1. Données climatiques de la région de Ouargla (2008-2017) (O.N.M, 2018).

Mois	T (°C)			V (m/s)	P (mm)	EVA (mm)	INS (Heure)	H (%)
	T min	T max	T moy					
Janvier	4,6	18,95	11,77	9,4	3,84	113,94	254,51	57,48
Février	6,77	21,08	13,92	10,82	3,28	149,62	247,32	48,48
Mars	10,78	25,49	18,13	11,79	3,82	222,58	274,53	43,71
Avril	15,85	30,95	23,39	13,5	4,43	299,67	294,59	38,03
Mai	20,35	35,18	27,76	13,43	1,93	385,45	323,85	32,82
Juin	24,85	40,24	32,54	12,58	0,58	439,46	343,84	28,65
Juillet	27,75	43,42	35,58	10,87	0,09	496,6	368,96	25,5
Aout	27,25	42,35	34,79	11,43	0,16	464,88	348,76	27,74
Septembre	23,86	38,33	31,09	11,8	6,1	351,62	282,04	35,78
Octobre	17,81	31,68	24,74	10,32	4,67	250,76	280,57	45,54
Novembre	10,5	24,21	17,35	9,76	2,51	173,8	254,29	52,92
Décembre	6,02	19,27	12,64	9,27	4,49	101,26	238,27	60,3

Les analyses des données sont faites à partir d'une synthèse climatique de 10ans, entre 2008-2017, à partir des données (O.N.M, 2008) de l'Office National de Météorologie.

➤ Diagramme pluviothermique de GAUSSEN

Selon la définition de GAUSSEN, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois. Ce diagramme montre que pour la région de Ouargla, la période sèche s'étale sur toute l'année (Figure 06).

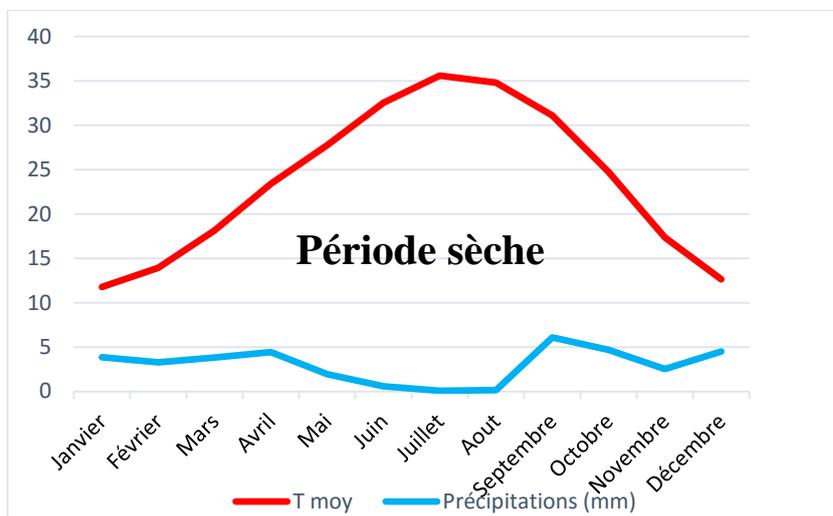


Figure 06. Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla (2008-2017).

I.3. Pédologie

Hamdi Aissa (2001), avance que les sols de la région d'Ouargla sont constitués de sable quartzeux. Dans l'ensemble, le squelette sableux est très abondant et constitué en quasitotalité par de quartz. L'épaisseur de la pellicule diminue dans les sols en aval et en particulier dans les dunes. Sur les sols de la dépression, la masse basale est argileuse et présente un aspect poussiéreux. Elle est constituée d'un mélange de micrite détritique et de quelques paillettes de mica.

Selon Halilat (1993) ; Kafi et *al.* (1977) cités par Hannachi et Khitri (1991), les sols de Ouargla sont légers à prédominance sableux et à structure particulaire, Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une faible activité biologique, une forte salinité et une bonne aération, On distingue dans la région trois types de sol :

- Sols sal sodiques
- Sols hydromorphes
- Sols minéraux bruts

La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique très faible et ne permet pas une bonne agrégation. Ses sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, environ 8% en volume d'eau disponible (Daoud et *al*, 1994).

I.4. Choix du site expérimental

Pour des raisons pratiques nous avons réalisé notre expérimentation au niveau de trois biotopes de la région de Ouargla dans une position géomorphologique différente (figure 07).

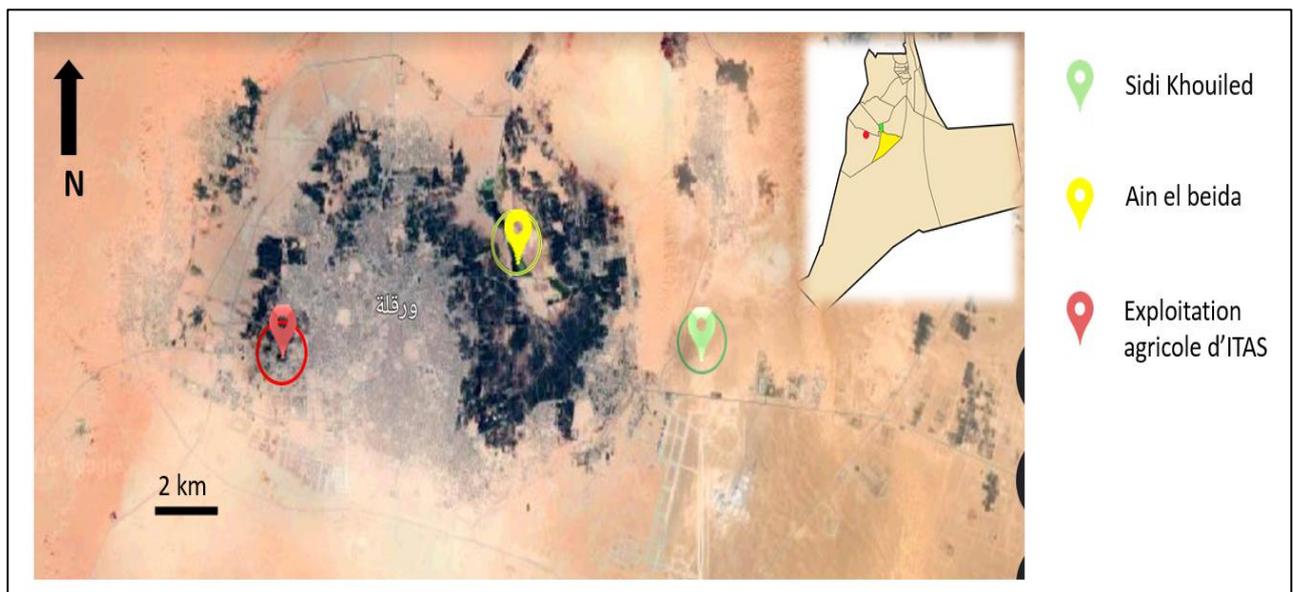


Figure 07. Carte satellitaire de trois biotopes de la région de Ouargla (Google earth, 2019)

a. Premier biotope

Au niveau de l'exploitation agricole du département d'agronomie de l'université d'Ouargla (ex. ITAS), située au sud-ouest de la ville d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Ses coordonnées sont les suivantes ($31^{\circ} 57'$ de latitude Nord et $5^{\circ} 24'$ de longitude Est et Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m) (UKMO, 2013).

L'exploitation se présente sous la forme d'un glacis d'une grande homogénéité topographique. Le sol composé est à dominance texturale sableuse et sableu-limoneuse, avec une structure particulière (Daoud et *al*, 1994).

Le périmètre couvre une superficie de 11 hectares, dont les 9 hectares sont aménagées répartis en quatre secteurs à savoir : secteur **A**, secteur **B**, secteur **C** et secteur

D. Le réseau de drainage est constitué de drains à ciel ouvert, débouchant sur un collecteur principal (photo 01).



Photo 01. Sol agricole de l'exploitation de l'université (Photo prise par Samsung Galaxy J7 pro)

b. Deuxième biotope

Au niveau de chott de Ain Beida est une dépression salée qui s'étend sur une surface de 1000 hectares avec une longueur de 5,3 kms sur 1,5 km de large. Il se situe entre la palmeraie de Ouargla à l'Ouest et au Sud et la palmeraie de Ain Beida à l'Est. Il s'ouvre sur des formations dunaires sur la côte Nord (Idder et *al.*, 2006). Ses coordonnées sont les suivantes (31° 57' de latitude Nord et 5° 22' de longitude Est et Les altitudes sont comprises entre 138 et 140 m).

Le chott représente un biotope humide, il est parcouru par un réseau de drains qui canalisent les eaux excédentaires de la nappe phréatique de la palmeraie de Ouargla ainsi que celles usées de la ville. Le site se distingue par la présence de 4 habitats distincts, l'aquatique représenté par la sebkha ; c'est un lac naturel, excessivement salin, temporaire et dépourvu de végétation. Il s'inonde en période pluvieuse et s'assèche en été formant des croutes blanchâtres de sel et le chott qui sont des milieux ouverts et pauvres en végétation ; la palmeraie, partie anthropisée constituée par des agglomérations humaines et des zones agricoles autour du chott. (Sujet à la convention RAMSAR)



Photo 02. Sol salin de chott de Ain Beida (Photo prise par Samsung Galaxy J7 Pro)

c. Troisième biotope

Au niveau de la région de Sidi Khouiled, c'est une commune de la wilaya d'Ouargla. Elle est située à 7,5 km du chef lieux de la wilaya. Les coordonnées moyennes sont les suivantes ($31^{\circ} 58'$ de latitude Nord et $5^{\circ} 24'$ de longitude Est et les altitudes sont comprises entre 140 et 163 m). D'une superficie de 131,00 Km². Le nombre d'habitant est de 8803 habitants. C'est une zone de couverture dunaire où le sable est abondant et non fixé par la végétation



Photo 03. Sol dunaire de Sidi Khouiled (Photo prise par Samsung Galaxy J7 pro)

Chapitre II

Matériel et méthodes

II.1. Technique d'échantillonnage

II.1.1. Date de prélèvement : Le prélèvement a été effectué en février 2019.

II.1.2. Horizons de prélèvement

L'horizon 0-15 cm est habituellement utilisé. Cependant, en sol agricole limoneux ce qui est notre cas, la biomasse fongique est sensible jusqu'à 30cm (Legras, SD). L'activité biologique est maximale dans l'horizon de surface et décroît plus ou moins avec la profondeur (Kombate, 2013).

II.1.3. Prélèvements des échantillons du sol

Le point difficile et en même temps essentiel pour la valeur des résultats de l'analyse est celui du choix des échantillons représentatifs de l'état microbiologique régnant dans le sol étudié. Avant de commencer l'échantillonnage nous devons examiner le terrain du point de vue de son uniformité (p.ex. l'uniformité de son niveau, genre de sol, de végétation, amendements appliqués, etc.).

La plupart des études sont basées sur un échantillonnage dit « composite », dans lequel on mélange plusieurs prélèvements ponctuels effectués au sein de la zone d'étude, ce qui ne permet pas de mettre en évidence des zones au fonctionnement microbien a priori particulier (zones compactées, profondeur d'accumulation de la matière organique...) (Vian et *al.*, 2009). En prélevant plusieurs échantillons pour obtenir un échantillon moyen, il faut naturellement choisir des sols aussi uniformes que possible. Il faut les prélever dans les mêmes conditions physiques (T°, humidité) et toujours le même jour (Simonart, 1957).

L'échantillonnage du sol a été effectué à l'aide d'une spatule dans les conditions de stérilité. Pour chaque biotope, nous avons pris un échantillon du sol (0-30cm). Les cinq premiers centimètres de la couche superficielle du sol sont écartés. Les gros débris écartés (pierres racines, etc.) sont également et environ 100-150 g sont placés dans des flacons stériles et on les ferme rapidement. (Pochon et Tardieux, 1962).

Afin d'avoir des échantillons moyen représentatifs de l'état microbiologique régnant dans le sol pour chaque point, nous avons prélevés de chaque station cinq échantillons (figure 08).

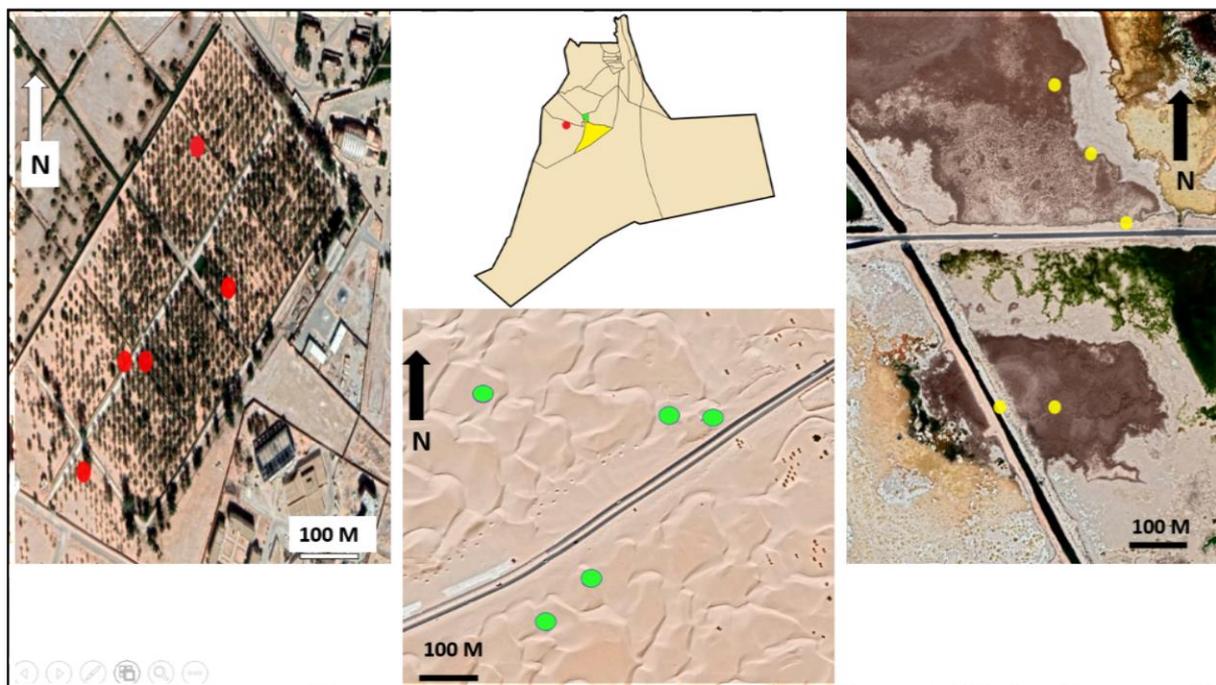


Figure 08. Carte satellitaire présentons les différents sites s'étude (Google earth, 2019)

II.1.4. Conservation et transport des échantillons

Chaque analyse nécessite un contact préalable avec le laboratoire pour bien réaliser la prise d'échantillon qui convient à l'analyse en question (ITAB, 2002).

Pour la caractérisation microbiologique, elle s'applique obligatoirement à des échantillons transportés avec soin dans des délais rapides (-12 h) au laboratoire. L'idéal est de travailler sur sol frais ou conservé au réfrigérateur (4°C).

Pour les analyses physico-chimiques, les échantillons des sols seront séchés aux températures ambiantes du laboratoire. Ensuite tamisés à 2mm pour éliminer les éléments grossiers et les débris organiques.

II.2. Analyses physico-chimiques :

Les caractéristiques physico-chimiques influencent fortement les propriétés biologiques des sols. Des relations étroites ont d'ailleurs été mises en évidence entre les caractéristiques physico-chimiques et biologiques, et ceci aussi bien pour la microflore.

II.2.1. Humidité

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

$$\% \text{ Humidité du sol} = (\text{masse humide} - \text{masse sec}) / \text{masse sec} \times 100$$

II.2.2. pH

Sur une suspension de terre fine de rapport terre / eau de **2.5/5**, est mesurée à l'aide d'un pH mètre (Soltner, 2005).

II.2.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Mesurée par un conductimètre sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5, le plus souvent utilisé à une température de 25°C (Clement et Françoise, 2009)

II.2.4. Calcaire total

Le calcaire total a été déterminé par la méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard (Mathieu et Pieltain, 2009). L'échantillon est attaqué par l'HCl (6 N), on mesure le volume de CO₂ dégagé ; une mol de CO₂ correspondant à un mol de CaCO₃.



Le volume du CO₂ dégagé est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé :

$$\text{Taux de CaCO}_3 \text{ en } \% = (P'.v) / (P.V) \times 100$$

P : poids de l'échantillon (en gramme).

P' : poids de CaCO₃.

V : volume de CO₂ dégagé par l'échantillon.

v : volume de CO₂ dégagé par CaCO₃

II.2.5. Dosage du carbone organique

Le carbone organique a été dosé par la méthode (Anne), qui consiste à oxyder la matière par un oxydant puissant (le bichromate de potassium) en milieu sulfurique, le bichromate doit être en excès. La quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphenylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert, 1978).

Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique total, on utilise le coefficient de multiplication 1,72 (Baise, 2000).

$$\text{Matière organique} = \text{carbone organique} \times 1.72$$

II.3. Analyses microbiologiques

Il est à noter que toutes les manipulations microbiologiques sont effectuées dans des conditions stériles c'est-à-dire autour de la flamme du bec Bunsen et sous hotte à flux laminaire.

II.3.1. Microflore tellurique

II.3.2. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore tellurique

Parmi les méthodes de dénombrement indirectes, les deux méthodes les plus utilisées sont la méthode standard de culture sur boîte de pétri et la technique de dénombrement dite « technique du nombre le plus probable » (MPN) (Josephson et al. 2000 in Dassonville et Renault, 2005). Cette dernière est très utilisée car elle permet l'estimation des populations bactériennes ayant des fonctionnalités données comme la dénitrification (Cannavo et al, 2002 in Dassonville et Renault, 2005).

La technique utilisée pour la numération des germes telluriques comprend plusieurs étapes allant de la préparation de la suspension diluée jusqu'à l'interprétation des résultats (Davet, 1996).

La mesure des densités microbiennes par la technique des suspensions dilutions de sol est un bon indicateur général. Cette mesure est facile à réaliser, économique, et elle donne des résultats fiables et reproductibles (Hamlaoui, 2016).

II.3.3. Préparation des suspensions dilutions

Les préparations des suspensions dilutions consistent à disposer sur un portoir une série de 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, et contenant chacun 9ml d'eau distillée. Peser 1g du sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans le tube 1, agiter vigoureusement, c'est la suspension dilution 10^{-1} , puis transférer 0.1 ml dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution 10^{-2} agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} (figure 09 et 10).

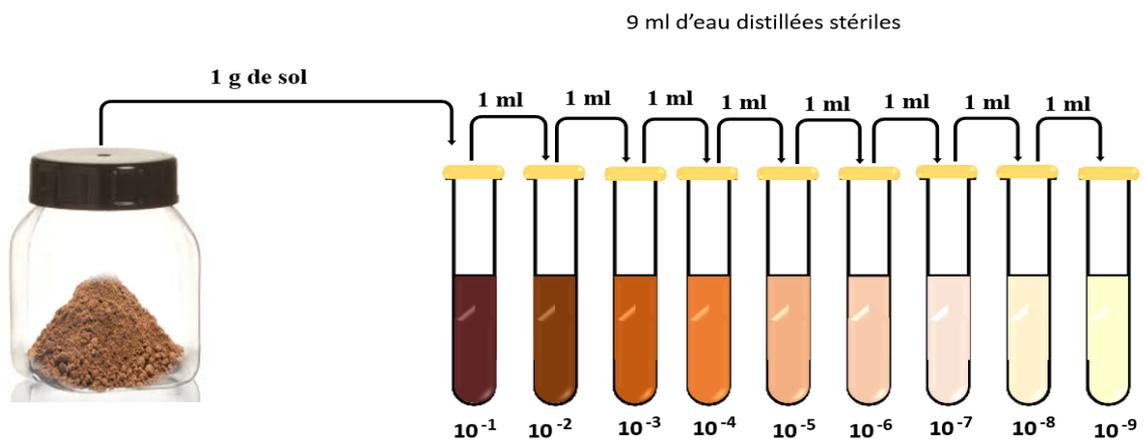


Figure 09. Méthode de préparation des suspensions dilutions



Figure 10. Préparation des suspensions dilutions

Les dilutions ainsi préparées doivent être utilisées immédiatement pour les ensemencements, ceux peuvent être faits sur milieux favorables soit solides ou liquides qu'ils doivent satisfaire les exigences nutritives du microorganisme étudié (bactéries, champignons).

Remarque : La valeur analysée dépend en grande partie, du soin apporté et à la condition de stérilisation et il faut les homogénéiser avant le prélèvement.

II.4. Microorganismes recherchés

Cette analyse est effectuée pour la recherche de la flore bactérienne et fongique présente dans les trois biotopes

A. Bactéries mésophiles aérobies totales

Les colonies bactériennes sont dénombrées après 48 heures d'incubation à 37°C dans un milieu de nutritive sélective « la gélose nutritive ». Les bactéries sont ensemencées avec des suspensions dilutions du sol, allant de 10^{-2} jusqu'à 10^{-9} . Pour chaque niveau de dilution, trois boîtes pétri sont préparées pour l'ensemencement (figure 11).

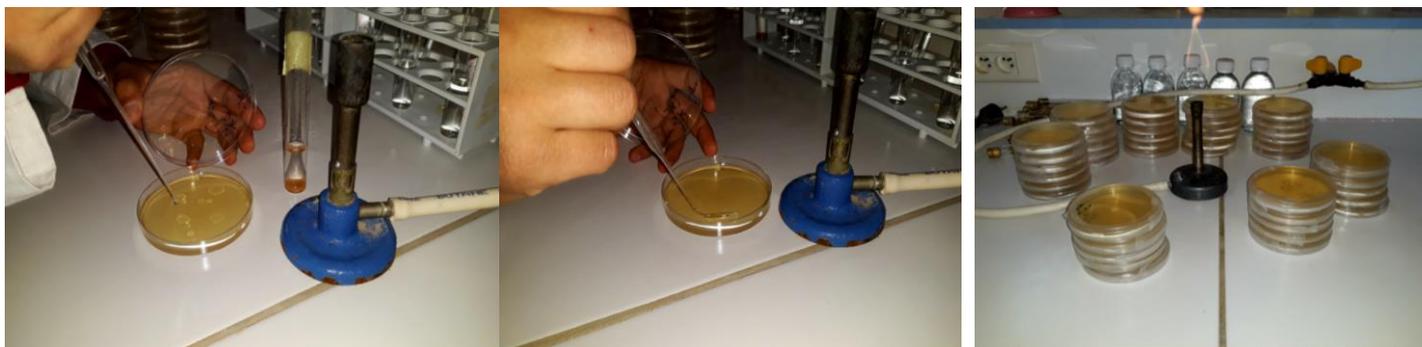


Figure 11. Ensemencement des échantillons telluriques (Photo prise par Samsung Galaxy J7 pro)

B. Champignons

Le milieu de culture utilisé pour la quantification des champignons est le milieu. (OGA).L'ensemencement avec des suspensions dilutions de sol préparées selon la technique habituelle ; On inoculera 3 boîtes pétri pour chaque dilution. Les dilutions vont de 10^{-3} à 10^{-9} . L'incubation se fait à 28°C en position retournée. La lecture des résultats se fait à compter de sept jours d'incubation, le nombre de colonies des champignons développées sur chaque boîte de Pétri.

II.5. Purification et pré-identification

La purification est une étape très importante et très délicate, qui demande beaucoup de temps, puisqu'il s'agit d'un prélèvement qui abrite des milliers de microorganismes, et c'est de la pureté des cultures que va dépendre l'identification des espèces.

Après le premier ensemencement sur boîte de Pétri, différentes colonies sont obtenues.

Chaque colonie d'aspect différent est ensemencée à part dans un milieu solide. Les boîtes ensemencées seront incubées à 24h à 28°C pour les bactéries, et 7 jours pour les champignons.

L'identification a pour but de classer les champignons par genres et espèces selon les critères d'identification (Botton et *al*, 1990).

II.6. Conservation des souches

Les souches sont conservées dans des boîtes contenant des milieux de culture bien fermés à une température de 4°C.

II.7. Caractères morphologiques

II.7.1. Observation macroscopique

L'observation des colonies peut être d'un grand intérêt taxonomique lorsque la culture est faite sur des milieux spécifiques faisant apparaître certains caractères propres aux espèces ex : la production de pigment. Or, ici, c'est une description directe faite sur boîtes d'isolement, permettant au moins une distinction des souches les unes des autres afin de les purifier.

D'après (Rebbouh, 2016), l'examen macroscopique est l'un des critères essentiels d'identification, permettent respectivement la détermination de la colonie elle précède l'étude leur aspect macroscopique des boîtes s'effectue à l'œil nu dans un endroit bien éclairé, en vérifiant que toutes les colonies soient identiques, il faut noter :

- La couleur
- La taille : petite, grande, moyenne.
- L'aspect de la surface : lisse, rugueuse.
- Opacité : opaque ou transparent.

II.7.2. Observation microscopique

a. Bactéries

Nous faisons une observation microscopique des bactéries à l'état frais, pour voir leur mobilité. La taille, la forme et le type de regroupement des cellules bactériennes sont appréciés après coloration.

Pour vérifier la pureté des isolats et s'orienter dans le diagnostic, nous utilisons la coloration de Gram.

- **Coloration de Gram**

La coloration de Gram permet de classer les bactéries en deux grandes catégories (Gram + et Gram -).

Un frottis fixé à la chaleur est coloré pendant une minute au violet de cristal; il est ensuite rincé rapidement à l'eau distillée, traité pendant une minute par une solution de lugol, et de nouveau rincé rapidement à l'eau distillée. On soumet alors le frottis coloré à une étape de décoloration en le traitant avec l'éthanol, pendant 10 secondes puis est rincé à l'eau distillée.

Ensuite le frottis est coloré par la fushine pendant 10 à 30 secondes et après un bref rinçage à l'eau distillée, on sèche le frottis au buvard ou au-dessus de la flamme d'un bec bunsen et on l'examine à l'objectif à immersion. Avec cette coloration double, les bactéries « Gram-positif » apparaissent en violet foncé tandis que les bactéries « Gram-négatif » sont colorées en rose (Delarras, 2007).

b. Champignons

Pour les champignons, l'examen microscopique est basé sur les caractères morphologiques. On note les organes de fructifications, types de spores, aspect du thalle, aspect, taille, couleur et disposition des spores (Bourgeois et Leveau, 1980).

L'observation microscopique est réalisée par la méthode :

- **Préparation des lames**

Dans des conditions d'hygiène et d'asepsie, la préparation du matériel fongique pour l'observation microscopique à l'état frais est réalisée comme suit : Prélever un fragment du thalle de la colonie à l'aide d'une anse de platine, flambée à la flamme du bec Bunsen, puis le déposer dans une goutte d'eau distillée sur une lame stérile.

La préparation à l'aide d'une lamelle et la faire passer légèrement par-dessus la flamme pour éliminer les bulles d'air formées.

A partir d'un microscope binoculaire on observe directement les champignons en grattant de chaque boîtes de pétri une colonie on met le gravis sur une lame contenant une goutte d'eau distillée et on la pose sur une lamelle. Nous avons utilisé cette méthode pour identifier les genres des champignons.

Résultats et Discussion

Chapitre I. Résultats et discussion des analyses physico-chimiques

I.1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols

Les caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle (0-30 cm) des sols de trois biotopes déterminées au laboratoire de l'université, sont représentées dans le tableau 02.

Tableau 02. Analyses physico-chimiques des sols des échantillons de trois biotopes

Biotopes	ITAS	AB	SK
H%	11	16	8
pH (1/5)	7.61	8.16	7.63
CE (dS/m)	2.96	102.94	2.78
Calcaire totale %	3.5	2.02	0.32
MO %	0.89	4.84	0.5

I.1.1. Humidité

La teneur en humidité du sol est très variable, tant point de vue spatial que point de vue temporel, en raison de l'hétérogénéité des propriétés du sol, de la topographie ainsi que la distribution des précipitations et de l'évapotranspiration (Juglea, 2011).

La différence du pourcentage de l'humidité entre les trois échantillons du sol est due principalement au biotope du prélèvement. L'échantillon (ITAS) présente un taux d'humidité avec 11%. L'échantillon (ITAS) est un sol agricole plus riche en matière organique et en eau que l'échantillon (SK) qui présente un taux d'humidité de 8%. Ce résultat pourrait être expliqué par la structure de la dune elle-même. Elle se trouve en permanence sous l'effet du soleil pendant le jour, ceci pourrait expliquer le taux faible d'humidité observé. Par contre l'échantillon (AB) présente un taux d'humidité élevé par rapport aux autres échantillons avec 16%.

Le Sol humide de chott occupe une superficie de 17,71 Km² soit 12.99% de la superficie globale en 1987. Ce dernier a augmenté en 2000 soit à 23.29% mais a diminué dans l'année 2009 à 13.93 % de la superficie globale. Les changements au Sol humide en 2000, et au sol Salé en 2009, est expliqué par le changement du réseau d'évacuation des eaux usées vers la station

d'épuration d'où elles sont transférées vers le point de rejet du chott Ain Beida puis vers sebkhat Oum-Raneb (Bouafia *et al.*, 2013)

On observe que le taux d'humidité est faible pour l'ensemble des sols. Cette faible teneur en eau peut s'expliquer d'une part par : l'aridité du climat (le taux d'évaporation est supérieur à celui des précipitations), d'autre part, la capacité de rétention en eau de ce sol est faible, faute de texture qui contient du sable, celui-ci peut stocker qu'une petite quantité d'eau, le reste s'infiltrerait rapidement vers le sous-sol (Bedjadj, 2011).

En général, les sols qui comptent un pourcentage élevé de sable ont une bonne porosité, mais leur capacité de rétention en eau est faible (Van de casteele, 2003).

I.1.2. pH

L'activité biologique du sol, tout comme la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs dépend du pH (Bertschinger *et al.*, 2003).

En ce qui concerne le pH, les résultats oscillent entre 7,61 et 8,16. Selon Le Clech (2000) nos échantillons des deux sols (ITAS et SK) sont légèrement alcalins et l'échantillon de AB est considéré comme un sol alcalin. Cette alcalinité est due probablement à la précipitation du CaCO_3 qui consomme des ions H^+ et provoque, par voie de conséquence, une alcalinité du milieu (Hatimi, 2007).

I.1.3. Salinité

La salinité est identifiée et qualifiée à partir de la composition ionique du sol. La salinisation est le processus d'accumulation des sels minéraux solubles dans le sol. Ces sels dissous sont constitués d'un mélange de cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) (Tanji, 2002). Un sol est considéré salin lorsque sa conductivité électrique (CE) est variée entre 2,4 à dS/m (Le Clech, 2000).

Les résultats des valeurs de la conductivité électrique varient d'un site à l'autre.

Ainsi nous avons enregistré 2.78 dS/m dans SK et 2.96 dS/m dans ITAS. Selon Le Clech, (2000), ils sont considérés comme sols très salins par rapport au chott AB qui est considéré comme sol à salinité extrême (102.94 dS/m).

Cette extrême salinité dans le chott de AB est expliquée par la qualité et les sources des eaux d'alimentation de ces zones. En effet, les résultats des analyses des eaux de chott de Ain Beida semble présenter une eau avec un apport important des eaux notamment celles de drainage, ayant une valeur de CE très élevée avec 175 dS/m, ce qui indique un taux de salinité excessif, cependant les eaux à faibles profondeurs (chott) sont les plus exposées à l'évaporation et par conséquent à l'augmentation de leur charge en sels (Koull et *al.*, 2016).

Ceci est d'autant plus important que le couvert végétal est faible. Selon Halilat (1998), dans les climats arides, les pluies sont rares et elles ne pénètrent pas suffisamment dans le sol pour provoquer le lessivage des sels vers les profondeurs et aussi à l'absence total de la couverture végétale.

La salinisation est identifiée comme une cause majeure de la dégradation des terres, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (Calvet, 2003). Elle peut être causée soit par des processus naturels, salinisation primaire, ou être induite par des activités humaines, salinisation secondaire (Ghassemi et *al.*, 1995).

L'augmentation de la quantité de sodium dans un sol entraîne la destruction de sa structure. Un excès de sodium favorise la dispersion des colloïdes minéraux et par conséquence la réduction de la structure poreuse du sol.

I.1.4. Calcaire totale

Nous avons enregistré un taux de calcaire total qui varie entre 0.32 et 3.5. Selon (Baise, 2000), les sols qui représentent une teneur en calcaire totale moins de 5% sont considéré comme sols peu calcaire. Ces résultats corroborent ceux de Berkal (2006) qui montre que les sols du Sahara sont majoritairement à faible teneur en calcaire.

I.1.5. Matières organique

En ce qui concerne les caractéristiques biochimiques, le sol de SK enregistre la teneur en MO la plus faible (0,5%). En effet, les sols désertiques, notamment les sables de dunes, sont connus de leur faible teneur en matière organique (Aubert, 1960). cette faible richesse en matière organique des sols des zones arides est due à la faible couverture végétale dans cette zone (Bedjadj, 2011). Avec une forte érosion éolienne au niveau des sommets des dunes diminuant ainsi

dramatiquement les teneurs en matière organique. D'après Duchaufour (1984), la teneur en matière organique dans les zones arides ne dépasse pas 1% .

Par contre l'échantillon de sol de AB, à la base des normes de salinité, ils sont considérés comme un sol riche en MO (Morand, 2001) avec 4.86%. L'alimentation de l'eau du chott se fait à partir de la nappe phréatique dont le niveau varie en fonction de la saison et des activités de l'homme (drainage de la palmeraie, irrigation) et surtout à partir de la divagation des eaux usées déversées dans le chott (Idder et *al.*, 2006). Le chott d'Ain El Beida est caractérisé par des eaux très riches en sels solubles et en matière organique ; les eaux de chott Ain El Beida sont les plus chargées en matières organiques avec 237.74mg/l. Cette richesse des eaux est liée à l'évacuation des eaux usées (très riches en matière organique) et les fèces des oiseaux migrateurs dans ces deux stations (Koull et *al.*, 2016).

Chapitre II. Résultats et discussion des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des trois échantillons de sol sont représentés dans le tableau 03.

Tableau 03. Résultats de dénombrement des microorganismes telluriques

Echantillons de sol	Densité microbienne (UFC g ⁻¹ de sol sec)	
	Bactérie (x10 ⁵)	Champignon (x10 ⁵)
ITAS	53,66	5,33
AB	3,33	0,67
SK	14,33	2,33

UFC g⁻¹ de sol sec : Unité Formant Colonie par gramme de sol sec.

II.1 Dénombrement des microorganismes telluriques

D'après le tableau (03) et la représentation graphique (figure 12), on remarque que la densité des bactéries est plus élevée que celle des champignons. La dominance des bactéries dans les sols étudiés est due à leur grand pouvoir de multiplication comparativement aux champignons.

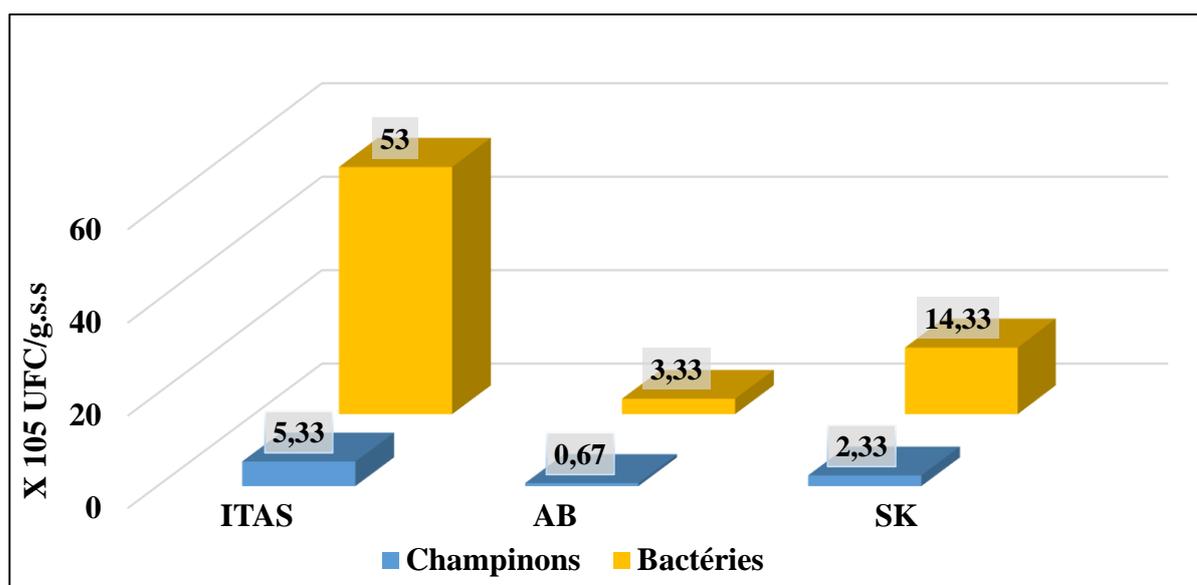


Figure 12. Représentation graphique de la densité des microorganismes telluriques dans les sols étudiés exprimée en UFC.g.s.s⁻¹

Aussi nous remarquons que la densité des microorganismes telluriques est variable entre les trois biotopes. La densité des microorganismes telluriques sous-sol d'ITAS est plus importante que SK, et elle est plus faible en AB.

D'un sol à l'autre, par sa nature chimique et physique complexe, le sol offre des habitats très diversifiés. Il est peuplé par une multitude d'être vivants, organismes unicellulaires ou évolués, végétaux ou animaux, au sein de cette diversité, les bactéries et les champignons prédominant largement puisqu'ils représentent plus de 80 % de la biomasse présente dans la couverture pédologique (Calvet, 2015) qui sont en interaction entre eux. la biomasse représente la fraction vivante des matières organiques dans le sol (Benjamin *et al.*, 2017).

Les microorganismes sont ubiquitaires et sont présentes dans l'ensemble des types de biotopes rencontrés sur terre. La biomasse microbienne est un indicateur de la qualité des sols proposé par Jenkinson en 1966. Elle augmente dans les sols forestiers, les tourbes et les sols des prairies et diminuent légèrement dans les sols désertiques (Brown, 2013). La seule différence, c'est que, dans ce milieu extrême, il y a peu d'individus par espèce. Le Sahara n'étant pas complètement sec car recevant annuellement de 50 à 100mm de pluie, les minima hydriques des sols sont en réalité assez élevés (Killian, 1943). En effet, dans un gramme de sol, on peut trouver plus de 200 mètres d'hyphes de champignons (Curtis *et al.* 2002). et de 700 à 1000 espèces bactériennes, que l'on soit dans le désert ou dans une forêt. Beaucoup de ces bactéries vivent sur la surface de la croûte de quelques millimètres à plusieurs centimètres de profondeur du sol (Heulin, 2010).

D'une manière générale nos échantillons de sol représentent des densités microbiennes faibles. En effet, la biomasse microbienne se diffère d'une région à une autre suivant les changements des paramètres (Bouthier, 2015 ; Benjamin *et al.*, 2017). Il s'agit essentiellement de la température, de l'humidité, de la taille des pores des particules de sol, de la qualité et de la disponibilité des nutriments et les types de stress (Josephson *et al.*, 2000). Les zones arides sont des zones caractérisées par une faible pluviométrie, haute température et forte évaporation (Karabi, 2017). Donc, les sols de ces régions sont des sols fragiles, peu structurés et ayant une teneur réduite en matière organique. Ils sont en exposition aux érosions éoliennes (Berkal, 2006). Ce qui les rend des sols à faible activité microbienne.

II.1.1. Microflore bactérienne

D'après les résultats représentés dans l'histogramme (Figure 12), les valeurs relatives à la densité bactérienne dans les 03 sols étudiés sont dans l'ensemble faibles et varie diversement d'un échantillon à l'autre.

Le maximum a été enregistré dans le sol de l'ITAS avec une densité moyenne de **53.66 x10⁵UFC . g.s.s⁻¹** , et le minimum a été enregistré dans le sol de AB avec une densité de l'ordre de **3.33 x10⁵ UFC g.s.s⁻¹**. Pour l'échantillon de SK la densité bactérienne est estimée à **14.33 x10⁵UFC. g.s.s⁻¹**

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 10⁴ à 10⁵ dans les horizons superficiels, des valeurs qui sont en concordance parfaite avec nos résultats.

Les espèces bactériennes se retrouvent dans les environnements les plus extrêmes de la planète. Les dénominations thermophiles, psychrophiles, halophiles, acidophiles sont autant de termes qui qualifient l'extraordinaire capacité de ces procaryotes à s'adapter aux conditions extrêmes sur terre (Theodorakopoulos, 2013).

Cette variabilité de résultat entre les trois biotopes est liée aux facteurs abiotiques du milieu. Plusieurs facteurs influencent la croissance et l'activité des populations bactériennes dans le sol (Jensen et Nybroe, 1999; Smalla et *al.*, 2001)

En effet, le sol de l'ITAS est un sol cultivé présente une teneur en M.O vivante (végétation) et morte (exsudats racinaires, litière, fumier,... etc). C'est un sol irrigué de manière régulière et de pH légèrement alcalin ce qui crée un microclimat favorable pour la prolifération et permet une bonne croissance bactérienne. En effet, d'après Duchaufour (2001), Les bactéries prolifèrent dans les milieux les plus riches en azote et aérés. Elles sont plus favorisées par des milieux proches de la neutralité (Boullard et Moreau, 1962).

Selon Ali-Haimoud (1980), le sol sous végétation est beaucoup plus riche en microorganismes qu'un sol nu. Divers chercheurs ont signalé que les populations microbiennes ont une densité dix fois plus grande dans la rhizosphère que dans un sol dépourvu de racines. A proximité de la rhizosphère, les microorganismes sont stimulés par la fixation d'azote

atmosphérique et les apports de carbone et d'énergie d'origine végétale et par les composés sécrétés par les racines (Clarck, 1969 in BATRA et *al.*, 1997). Dans le sol, l'activité biologique est concentrée dans les couches superficielles où l'apport de la matière organique et l'eau contribuent aux meilleures conditions d'aération (Mustin, 1987 inBatra et *al.* 1997). De nombreux facteurs limitants contrôlent cette activité (Bonneau et *al.*, 1979). Selon Morel (1996), la microflore du sol a besoin d'un ensemble de substances nutritives soit métabolites, organiques ou éléments chimiques.

Pour le sol de SK la densité bactérienne est d'environ quatre fois plus faible que le sol de l'ITAS ; c'est un sol soumis à des conditions écologiques très dures. Il représente la teneur en eau la plus faible (8 %). En effet l'eau joue un rôle particulièrement important. Selon Alexander (1982) *in* Besra (2006), les bactéries sont plus sensibles au manque d'eau que les autres microorganismes. Lorsque la teneur en eau diminue, le nombre de bactéries diminue aussi très rapidement (Maier, 2011). Ces faibles densités sont associées à la pluviométrie extrêmement faible et irrégulière et l'absence de vie végétale supérieure.

Dans les sols arides, comme les déserts, les Bacteria et les Archaea sont sous l'influence de paramètres environnementaux extrêmes qui se caractérisent par des fluctuations importantes de température, des radiations UV élevées, une faible teneur en nutriment et une faible teneur en eau. L'environnement désertique supposé être hostile à la vie, abrite pourtant une flore microbienne abondante. Parmi les bactéries isolées au niveau de sites extrêmes, certaines présentent des capacités de résistance à la dessiccation et ont développé des mécanismes moléculaires de résistance adéquats, comme certaines bactéries appartenant au phylum des *DeinococcusThermus* (Theodorakopoulos, 2013).

La répartition horizontale des microorganismes est en fonction du type de végétation (Bouillard et *al.*, 1962). Les sols dunaires se caractérisent par une couverture végétale faible et de distributions aléatoires et inorganisées et parfois absentes. L'influence des plantes sur les populations microbiennes est représentée dans les sols du Sahara par la découverte d'un plus grand nombre de bactéries dans la rhizosphère que dans les sols sans racines. *Azotobacter* et *Clostridium* ont été isolés dans le sol près des racines des plantes mais pas dans les zones loin des racines (Hauke-Pacewiczowa et *al.*, 1969). Le sol dunaire de SK est un sol très pauvre en M.O qui ne dépasse pas 1%.

Pour le troisième biotope de AB, la densité bactérienne est la plus faible, Bien que le sol est caractérisée par des facteurs écologiques favorables à la croissance bactérienne notamment la teneur en MO, le taux d'humidité et le pH favorable par rapport aux autres échantillons du sol. Cette variation entre les paramètres s'explique par l'augmentation massive de la salinité du sol (102.94 dS/cm). Les espèces microbienne sont affectée à des degrés variable par la salinité (Dellal et Halitin ,1992). L'exposition des bactéries à des conditions d'hyper osmolarités a comme résultat une diminution de l'activité de l'eau cytoplasmique. La plasmolyse entraîne la dénaturation des enzymes (Yancey *et al*, 1982) et donc l'inhibition de processus physiologiques tels l'accumulation de nutriments (Roth *et al*, 1985) ou la réplication de l'ADN (Meury, 1988).

Les écosystèmes humides des régions arides sont très vulnérables aux effets anthropiques et aux conditions climatiques très rudes, ce qui a des conséquences directes sur la flore et la faune. (Koull *et al.*, 2016). Les eaux de chott Ain El Beida sont très polluées avec un taux très important de matières organiques et extrêmement riches en sels (Koull *et al.*, 2016). Certaines pratiques, comme le drainage sont susceptibles de modifier indirectement les caractéristiques biologiques des sols, à travers une modification des conditions physicochimiques (INRA, 2001). Les analyses physico-chimiques et biologiques indiquent que les eaux du chott de Ain Beida sont fortement polluées et dépassent de loin les normes admises. L'absence de stations de traitement et d'épuration des eaux usées de la cuvette de Ouargla augmente le risque des facteurs de contamination et de pollution qui influe profondément sur la stabilité et l'équilibre écologique de l'écosystème en provoquant des problèmes tels que la dégradation de la palmeraie, la contamination de la nappe phréatique, la détérioration des sols, l'invasion des plantes halophiles, propagation des maladies a transmission hydriques (MTH) et risque de disparition des oiseaux sédentaires et migrateur (Koull *et al.*, 2016).

Dans l'environnement, la dégradation de la matière organique n'est jamais assurée par un seul microorganisme, mais le plus souvent par une communauté microbienne. Cette dernière est constituée d'une collection de différentes populations occupant le même habitat et interagissant positivement ou négativement (Van De Castele, 2008). La salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des bactéries.

En effet, chez les bactéries, le caractère de résistance au sel varie considérablement d'une espèce à l'autre et à l'intérieur d'une même espèce. Parmi les espèces bactériennes susceptibles de croître à des concentrations en chlorure de sodium très élevées (35%), signalons une espèce mise

en évidence par Meklat et *al.* (2013) dans la région de Bamendil à Ouargla (Sud-Est algérien). Il s'agit d'*Actinopolyspora algeriensis sp.*

Toutefois, il faut signaler que les résultats obtenus concernant les effets de la salinité sur les espèces microbiennes, restent limités voire controversés. L'addition au sol de sels solubles a pour effet de diminuer l'activité microbienne, mais les valeurs seuils varient selon les auteurs.

La microflore totale n'est sensible que lorsque la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée à 25 °C atteint 62 – 66 dS/m (Dommergues, 1962). Alors que l'inhibition de l'activité microbienne est constatée à moins de 22 dS/m (Frankenberger et Bingham, 1982), et qu'une diminution de l'activité microbiologique totale du sol est observée à des valeurs de salinité très faibles (moins de 1% de NaCl) (Sindhu et Cornfield, 1967 ; Laura, 1974 *in* Dellal et Halitim, 1992). D'après Sabaou (1980), la salinité n'a pas d'effet sur la flore bactérienne, ce qui laisse supposer que cette dernière soit plus résistante aux sels. L'effet de la salinité ne commence à être évident que pour des valeurs plus élevées (supérieurs à 13 dS/m).

Les bactéries halophiles sont adaptées à la vie dans un environnement hypersalé. Les halobactéries ont développé des mécanismes d'adaptation leur permettant de disposer d'une machinerie cellulaire capable de supporter de fortes concentrations intracellulaires de sel, principalement du KCl (Oren, 1999). En réponse à des teneurs élevées de sel du milieu externe, la cellule bactérienne maintient une osmolarité interne supérieure à celle de l'environnement extracellulaire (Pocard et *al.*, 1994). Elle accumule dans le cytoplasme des molécules osmotiquement actives afin de restaurer une pression de turgescence cellulaire (Kempf et Bremer, 1998). La stratégie d'osmoadaptation chez les bactéries halotolérantes, et modérément halophiles consiste en premier lieu en l'accumulation d'ions K⁺ et de glutamate (Le Rudulier et *al.*, 2002). Ces bactéries peuvent vivre de façon optimale dans des écosystèmes salés et aussi la croissance de nombreuses bactéries halotolérantes (*E. coli*, *Rhizobium*) confrontés à des stress osmotiques (Lamosa et *al.*, 1998).

II.1.2. microflore fongique

D'après les résultats obtenus dans la figure 12, on constate que les espèces fongiques varient diversement d'un biotope à l'autre. ainsi, nous notons que la densité des champignons dans le sol ITAS (5.33 UFC.g.s.s⁻¹) est plus importante que celle du sol SK (2.33 UFC.g.s.s⁻¹) et plus faible en AB (0.67 UFC.g.s.s⁻¹).

On observe que la densité fongique est plus faible que celle des bactéries dans tous les échantillons. Selon Davet (1996), la densité de la microflore fongique, varie de 8×10^3 à 10^6 unités par g de sol. En effet, 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).

Le contexte physicochimique est à prendre en compte notamment la teneur en matière organique, le pH, la texture du sol.

Cette faible densité peut être expliquée par le degré d'alcalinité du milieu ; En effet les champignons préfèrent des milieux acides où ils ne rencontrent pas la concurrence des bactéries (Morel, 1989). Les mycètes ont tendance, donc, à coloniser des environnements acides et par leur activité métabolique acidifient encore plus les milieux, leur croissance optimale se fait à des pH entre 4 et 6 (Nicklin et *al.*, 2000). C'est pourquoi les deux échantillons (ITAS et SK) ont une valeur significative de densité fongique (à pH neutre) par rapport à l'échantillon de AB (à pH alcalin)

Nous avons enregistré une supériorité numérique des champignons dans le sol agricole de ITAS par rapport au sol dunaire de SK. En effet, dans les sols agricoles certains champignons sont associés aux racines des plantes supérieures (en particulier des arbres), en formant les mycorhizes, à vie symbiotique, qui facilitent la croissance et la nutrition des espèces contaminées (Duchaufour, 2001).

En plus le taux de MO est plus élevé dans le sol de l'ITAS par rapport de sol de SK. En effet, les champignons sont des microorganismes hétérotrophes et nécessitent donc de la MO pour se multiplier. Ils sont en effet le plus souvent associés à de la matière organique peu décomposée (Kilbertus et Reisinger, 1975) et disparaissent pour être remplacés par les procaryotes dès que le support nutritif est épuisé (Arpin et *al.*, 1980).

Quant à la sensibilité à la salinité, on admet que les microorganismes les plus sensibles sont les champignons, ce qui est montré par certaines études notamment celles de Ali-Haimoud et *al.* (1980). Ainsi nous avons enregistré la densité fongique la plus faible dans le sol de AB qui présente la conductivité électrique la plus importante.

Une faible teneur en matière organique et une salinité élevée peuvent créer un environnement indésirable pour le développement de la communauté bactérienne et fongique (Yuan et *al.*, 2007),

en revanche, un taux de matière organique élevée et une faible salinité peuvent favoriser la croissance fongique.

II.2. Caractères morphologiques macroscopiques

II.2.1. Caractères morphologiques macroscopiques des colonies Bactériennes

Les caractères macroscopiques morphologiques des isolats des bactéries à partir de différent station des sols étudiés sont représentés dans le tableau 04.

A partir des boîtes de pétri contenant des souches de bactéries différentes, nous avons observé l'aspect, la couleur et la forme des colonies.

Tableau 04. Caractères morphologiques des colonies Bactéries

Caractères Germes	Nombre des souches	Taille	Forme	Aspect de surface	Opacité	Couleur
ITAS	96 colonies	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière Ronde	Lisse Rugueux	Opaque Translucide Transparente	Blanc Jaune Beige Rose orange
AB	10 colonies	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière Ronde	Lisse Rugueux	Opaque Translucide Transparente	Blanc Beige Rose
SK	22 colonies	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière Ronde	Lisse Rugueux	Opaque Translucide Transparente	Blanc Jaune Beige

L'aspect des colonies bactérienne (surface, diamètre, consistance, pigmentation) a été déterminé après croissance sur la gélose nutritive (GN)

D'après les résultats représentés dans le tableau 04 et la figure 15 nous notons que pour tous les sols étudiés, les colonies bactériennes partagent les mêmes caractéristiques morphologiques. Les colonies ont 2 à 5 mm de diamètre ; elles sont d'une forme irrégulière ou ronde et d'un aspect de surface rugueux ou lisse, d'un aspect opaque, translucide et transparent. Cependant la couleur des colonies varient d'un sol à l'autre. Ainsi nous avons observé la couleur

blanche jaune, beige, orange et rose pour le sol de l'ITAS, la couleur blanche, jaune et beige pour le sol de SK, et la couleur blanche, beige et rose pour le sol de AB. Ceci montre une diversité bactérienne dans les trois biotopes.

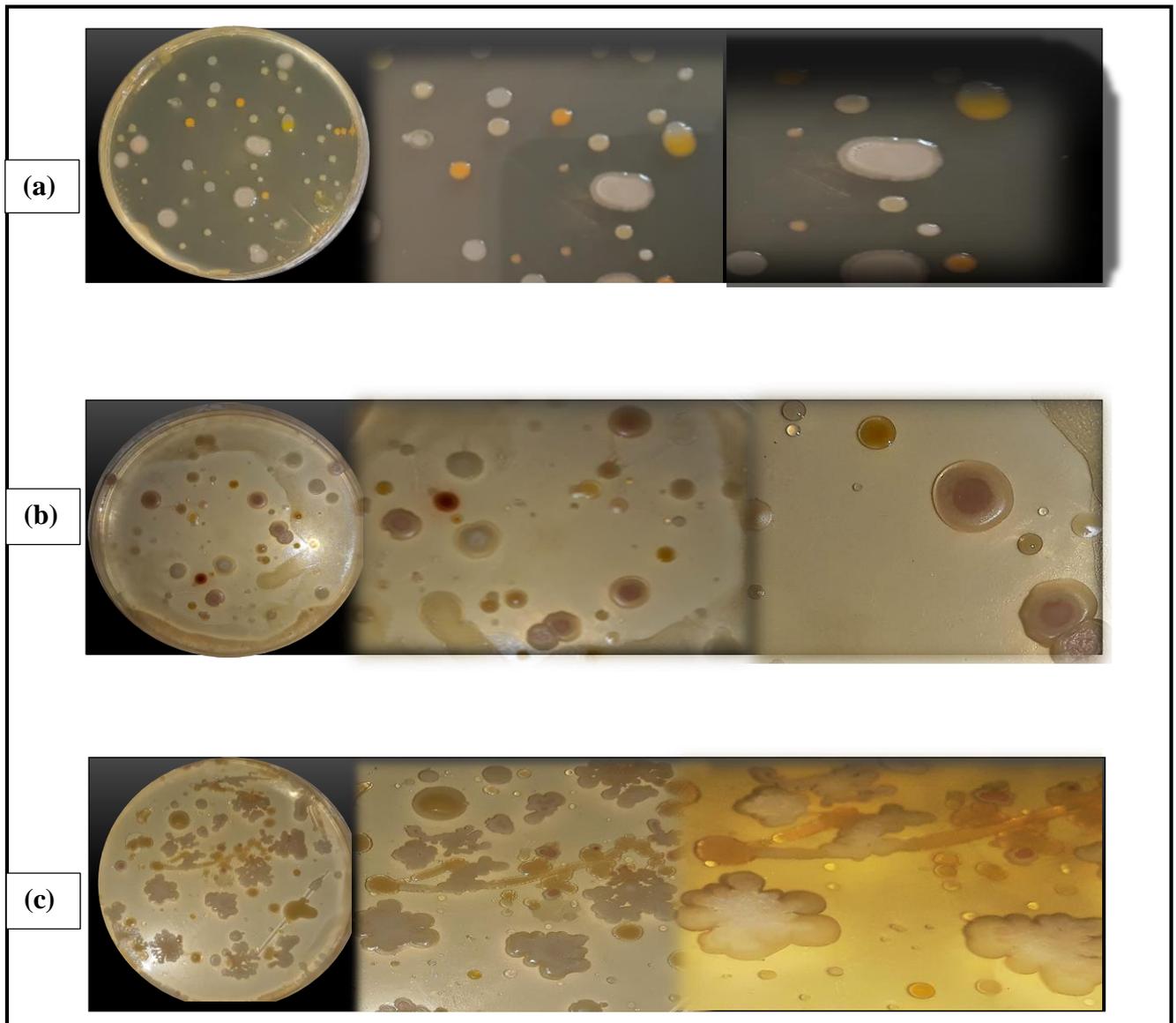


Figure 13. Les différents aspects coloniaux obtenus (a) aspect lisse, (b) arrondie, (c) rugueux et irrégulière (Photo prise par Samsung Galaxy J7 pro)

II.3. Purification

Plusieurs travaux ont été réalisés pour isoler et purifier ainsi que caractériser des microorganismes les plus spécifiques (Faghire et *al.*, 2012). Vu que la plupart des

microorganismes isolées dans cette étude, ressemblent dans leurs caractéristiques morphologiques aux cellules souches, on peut déduire que les espèces existantes sont identiques. Dans les résultats obtenus nous avons trouvé cinq colonies bactériennes pour le sol de l'ITAS, trois colonies bactériennes pour le sol de SK, et trois colonies bactériennes pour le sol de AB.

Cela montre que le sol de l'ITAS présente une biodiversité plus importante que les autres sols du fait qu'il reçoit des amendements organiques de manière régulière.

II.3.1. Bactéries

Pour les trois biotopes, dix colonies typiques à savoir leur apparence macroscopique (couleur, forme...) sont isolées de chaque échantillon à partir des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture (GN). Les résultats (Figure 17) montrent que la majorité des colonies bactériennes purifiées ont les mêmes caractéristiques morphologiques macroscopiques que les colonies sélectionnées.

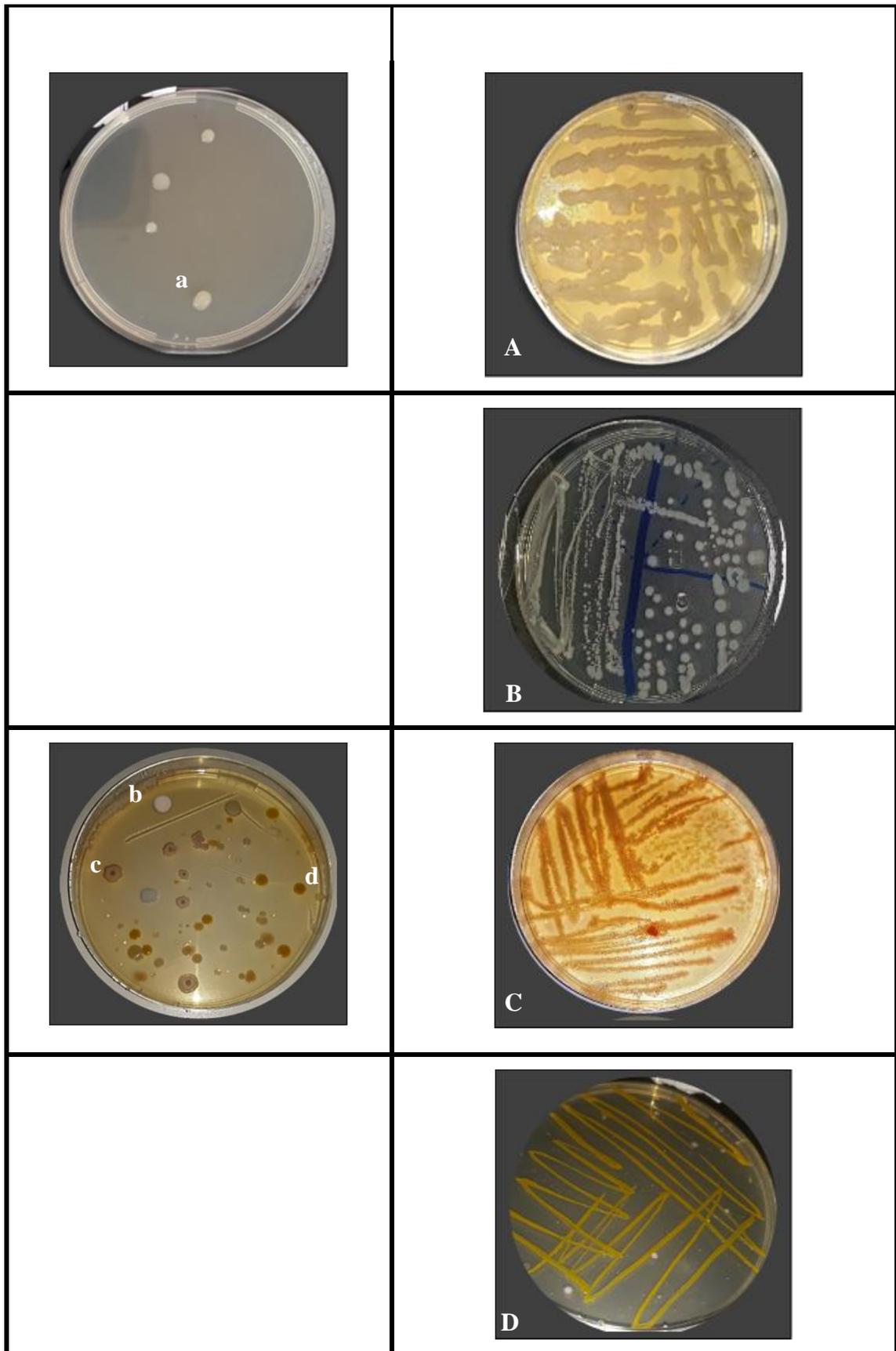


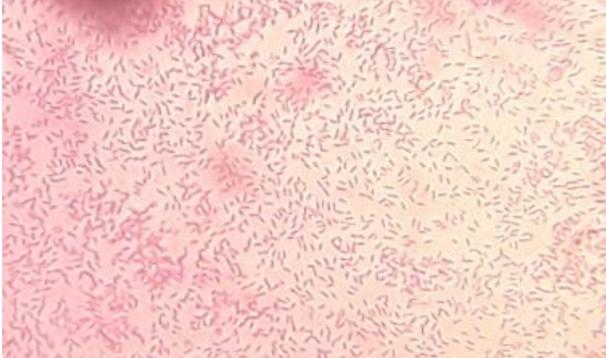
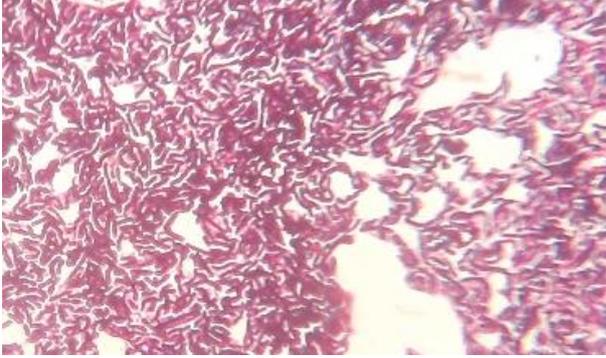
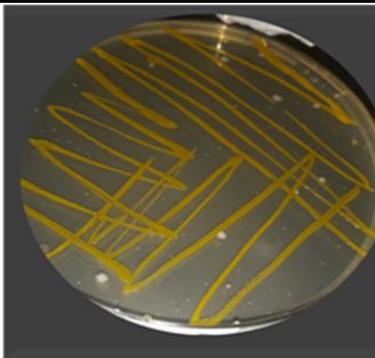
Figure 14. Purification de certaines colonies bactériennes ; **a-b-c-d** : Colonies à purifier / **A-B-C-D** : Résultats de la purification

II.3.1. Coloration Gram

L'observation des frottis colorés sous microscope optique nous a permis de distinguer les formes cellulaires bactériennes de nos isolats. La comparaison inter-sites dans nos échantillons (tableau 07) montre que tous les sols incluent des bactéries de forme bacille, la différence entre eux est en terme de type de bactéries que ce soit Gram positifs ou Gram négatifs.

Pour le sol de l'ITAS nous notons que sur cinq souches observées ; trois colonies (beige, jaune et orange) sont Gram positifs et deux colonies (blanche et rose) sont Gram négatifs. Pour le sol de SK nous avons trois colonies ; deux (blanche et jaune) sont des bacilles à Gram positif et l'autre (beige) à Gram négatif. Et pour le sol de AB il y a trois colonies, deux de type Gram positif (beige et rose) et le troisième c'est des bacilles à Gram négatif (blanc).

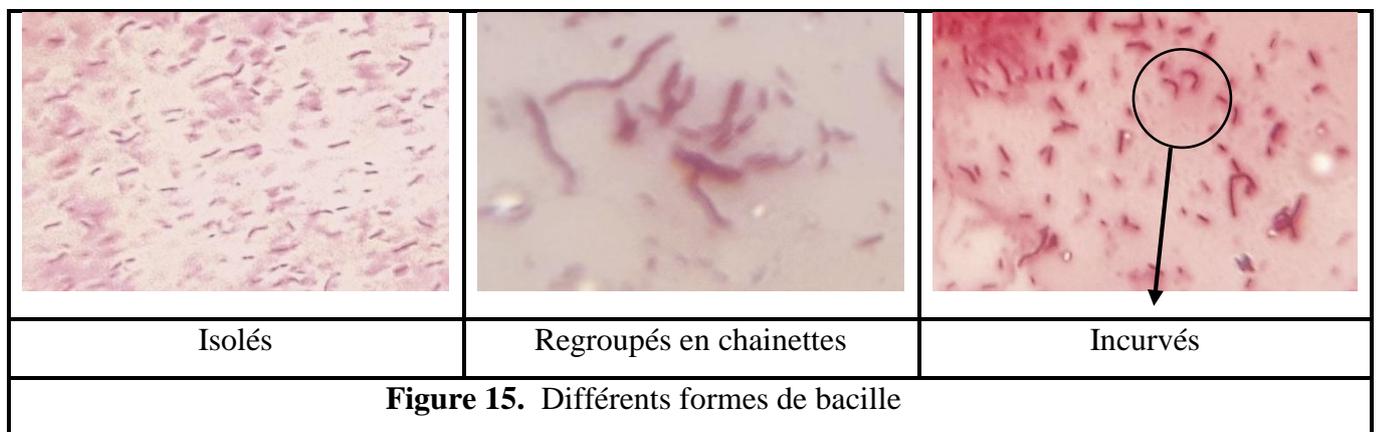
Tableau 05. Résultats de la coloration Gram de certaines souches bactériennes

Les échantillons bactériens	Observations microscopiques (X 40)	Résultats
		<p>Bacilles à Gram négatifs</p> <p>(Echantillon de AB)</p>
		<p>Bacilles à Gram positifs</p> <p>(Echantillon de AB)</p>
		<p>Bacilles à Gram négatifs</p> <p>(Echantillon de l'ITAS)</p>
		<p>Bacilles à Gram positifs</p> <p>(Echantillon de SK)</p>

Nous observons qu'il y a une absence des bactéries de forme cocci, soit Gram négatif ou positif dans tous les échantillons. Nous constatons que certains groupes bactériens n'ont pas la capacité de tolérer des conditions arides du milieu ce qui est probablement dû aux facteurs physico-chimiques du sol étudié précédemment.

Il ressort aussi de nos observations qu'il y a une prédominance des formes gram positif. Ainsi sur onze souches observées, sept sont Gram ⁺.

L'observation microscopique révèle que les bacilles sont très différents, à Gram positif et à Gram négatif isolés, regroupés en chainettes, droits ou légèrement incurvés. (Figure 18)



II.2.2. Caractères morphologiques macroscopiques des champignons

Les caractères macroscopiques morphologiques des champignons à partir de différentes stations des sols étudiés sont représentés dans le tableau 05.

Tableau 06. Caractères morphologiques des champignons

Caractère Germes	nombre des souches	Taille	Forme	Aspect de surface	Opacité	Couleur
ITAS	20 souches	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière ronde	lisse rugueux	Opaque Translucide	Blanc Marron Vert Gris Orange Beige Jaune Rose
AB	06 souches	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière ronde	lisse rugueux	opaque translucide	Noire Beige Vert Orange Rose
SK	08 souches	Petite (2mm) Moyenne (3mm) Grande (>5mm)	Irrégulière ronde	lisse rugueux	opaque translucide	Blanc Beige Jaune Vert Rose

A partir des boîtes de pétri contenant des espèces fongiques différentes, nous avons observé l'aspect, la couleur (figure 16) et la forme des champignons

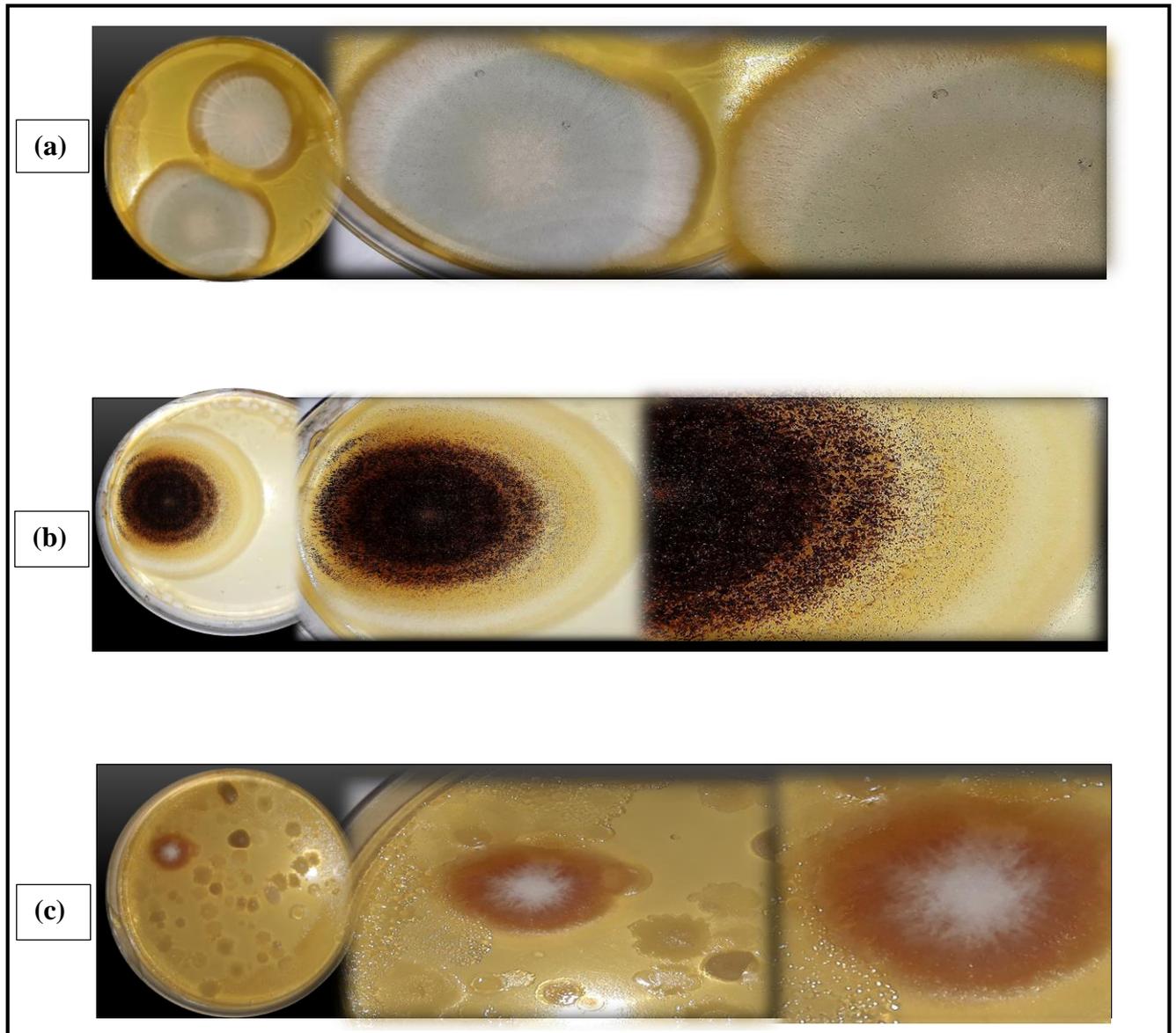


Figure 16. Les différents couleurs des espèces obtenues ; (a) verte, (b) noire, (c) orange

L'aspect des champignons (taille, aspect de surface, opacité, ...) a été déterminé après croissance sur le milieu de culture (OGA)

D'après les résultats représentés dans le tableau 05 et la figure 16 nous observons que pour tous les sols étudiés, les champignons ont des tailles variées entre 2 et 5 mm de diamètre, ils ont des formes différentes soit rondes ou irrégulières et un aspect opaque ou translucide. On remarque aussi que chaque biotope est caractérisé par des champignons de couleurs différentes de l'autre. Pour le sol de l'ITAS nous avons observé des colonies de couleur blanche, marron, verte, grise, orange, jaune, beige et rose. La couleur blanche, jaune, verte, beige et rose pour le sol de SK, et la

couleur noire, beige, verte et rose pour le sol de AB. Cela montre la diversité des espèces fongiques malgré leur faible effectif dans leurs populations microbiennes dans les trois biotopes.

II.3. Purification

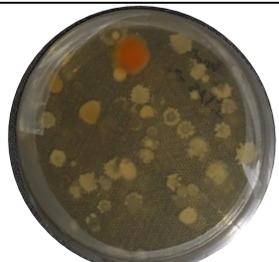
Dans les résultats obtenus nous avons classé les souches microbiennes par genre selon les clés d'identification. Ainsi, nous avons trouvé seize espèces fongiques pour le sol de l'ITAS, six espèces fongiques pour le sol de SK et quatre espèces fongiques pour le sol de AB.

Cela montre que le sol de l'ITAS présente une biodiversité plus importante que les autres sols du fait qu'il reçoit des amendements organiques de manière régulière.

II.3.2. Champignons

Pour assurer la purification des souches, on fait appel à des isolements successifs sur milieu OGA. Les champignons issus des derniers isolements sontensemencés sur des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture (OGA). La vérification de la pureté de la souche s'effectue par plusieurs repiquages sur des boîtes de Pétri en milieu solide. Après incubation, l'observation des caractères culturels permet de désigner la pureté des souches. La purification de ces souches fongiques a donné les résultats représentés dans le tableau 06.

Tableau 07. Résultats de la purification de certaines souches fongiques (par Samsung J7 pro)

Champignons		Purifications	
Recto	Verso	Recto	Verso
			
			
			
			

II.3. Observation microscopique

II.3.2. Pré-identification des champignons

Après l'identification des champignons par l'utilisation des clés spécifiques de détermination de (Botton et *al.*, 1990), les résultats obtenus montre qu'il y a différenciation dans l'aspect microscopique selon la disposition des spores , type de spore, couleur , taille, aspect du thalle..).

Ainsi les souches ont été réparties dans cinq groupes par rapport à la couleur des colonies observée après une semaine de culture sur milieu OGA.

Selon (Botton, 1990), l'examen microscopique d'une colonie fongique se fait après réalisation d'un étalement entre lame puis observation. Elle est réalisée successivement aux différents grossissements jusqu'à l'immersion, parfois on trouve des bulles d'air qui apparaissent au microscope se forme de taches à bords noirs.

1^{ère} groupe

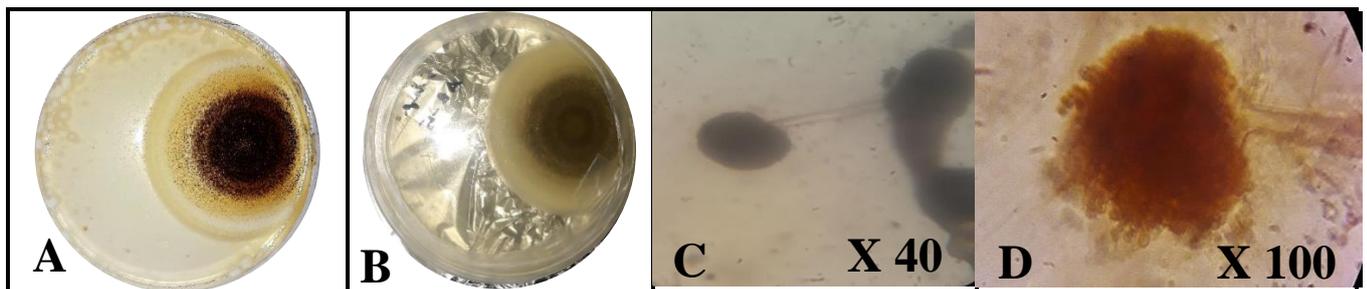


Figure 17. Identification d'*Aspergillus niger*; A-B : Recto verso/ C-D: G X 40/G X 100

L'observation microscopique nous a permis de détecter la présence d'une tête conidiennes, bisériées, radiées, se scindant généralement en plusieurs colonnes, noir brunâtres foncé ou noires. Conidiophores lisses, hyalins ou brunâtre dans leur moitié supérieure. Vésicules globuleuses. Métules brunâtres, variables (figure 19).

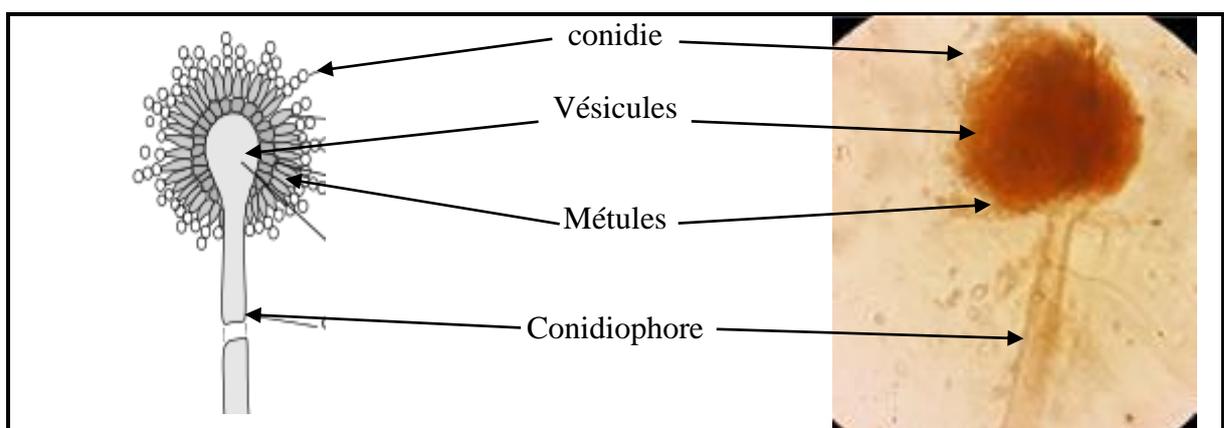


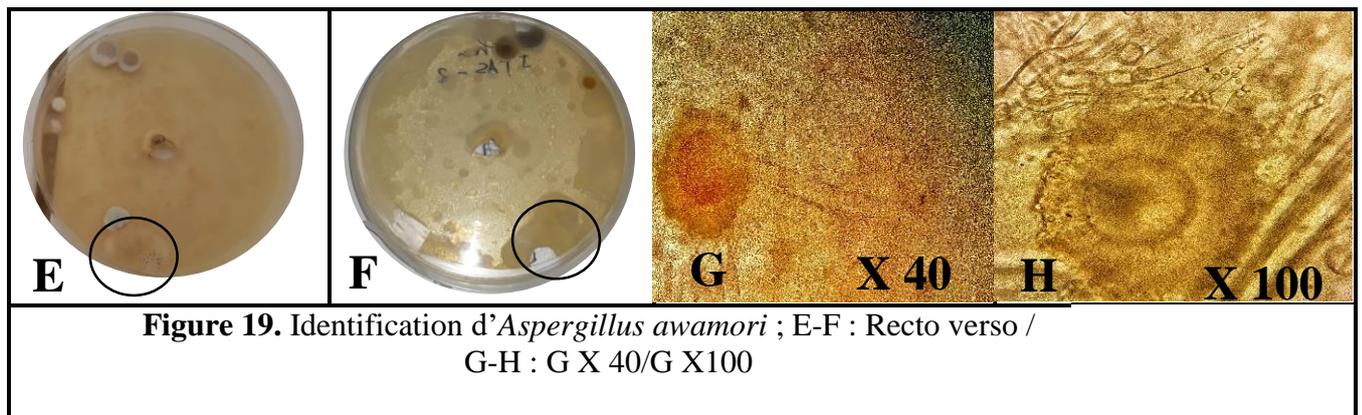
Figure 18. Clés d'identifications *Aspergillus niger* (Botton, 1990)

Ces espèces se trouvent dans des habitats d'une contamination banale, très largement répandu, parfois difficile à distinguer (figure 20).

Ce genre de champignon a été identifié dans le sol salé de AB (Botton, 1990).

L'ensemble de caractéristiques microscopiques citées ci-dessus, suggèrent l'appartenance au genre *Aspergillus niger*.

2^{ème} groupe



En ce qui concerne le groupe 2, après avoir réalisé les observations microscopiques de souche, la caractéristique principale nous a permis de déterminer l'existence une Thalle à sporulation abondante, brun à brun-rouge. Têtes conidiennes bisériées, radiées. Conidiophores lisses. Vésicules globuleuses, brun clair. Métules. Phialides. Conidies globuleuse à sub-globuleuses (figure 21).

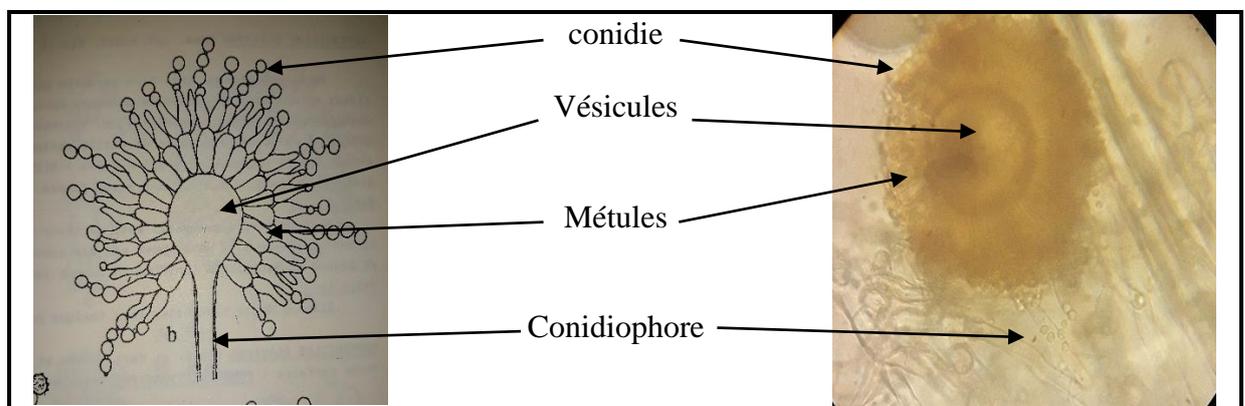


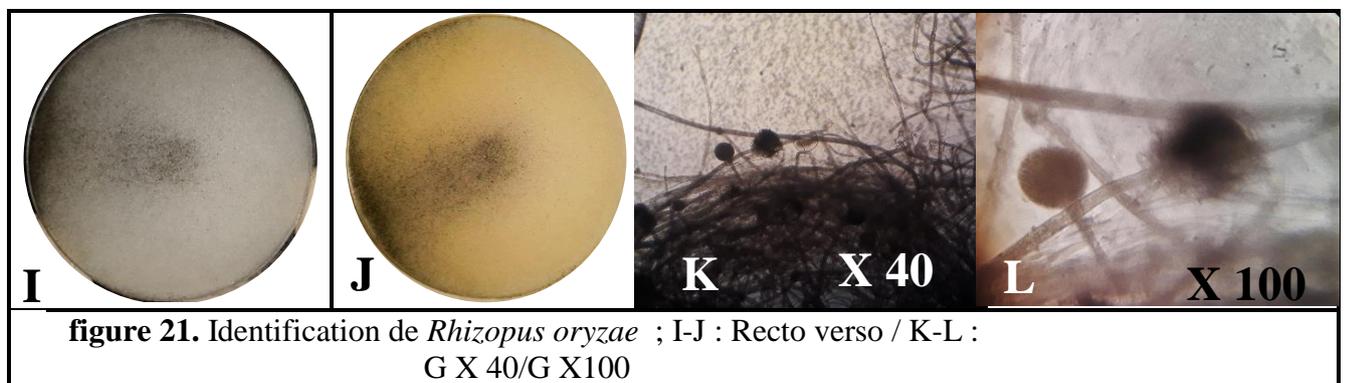
Figure 20. Clés d'identifications d'*Aspergillus awamori* (Botton, 1990)

Cette espèce est souvent confondue avec *Aspergillus niger* car elles ont des morphologies et des taux de croissance très similaire. Ils se trouvent dans des habitats difficiles à distinguer (figure 22).

Ce genre de champignon a été identifié dans le sol agricole de l'ITAS.

L'ensemble de caractéristiques microscopiques citées ci-dessus, suggèrent l'appartenance au genre *Aspergillus awamori*.

3^{ème} groupe



En ce qui concerne le groupe 3, nous avons remarqué certaines caractéristiques à savoir ; la présence d'un thalle blanchâtre ,Sporocystophores isolés, Rhizoïdes peu ramifiés, Sporocystes globuleuses ou ovoïdes.

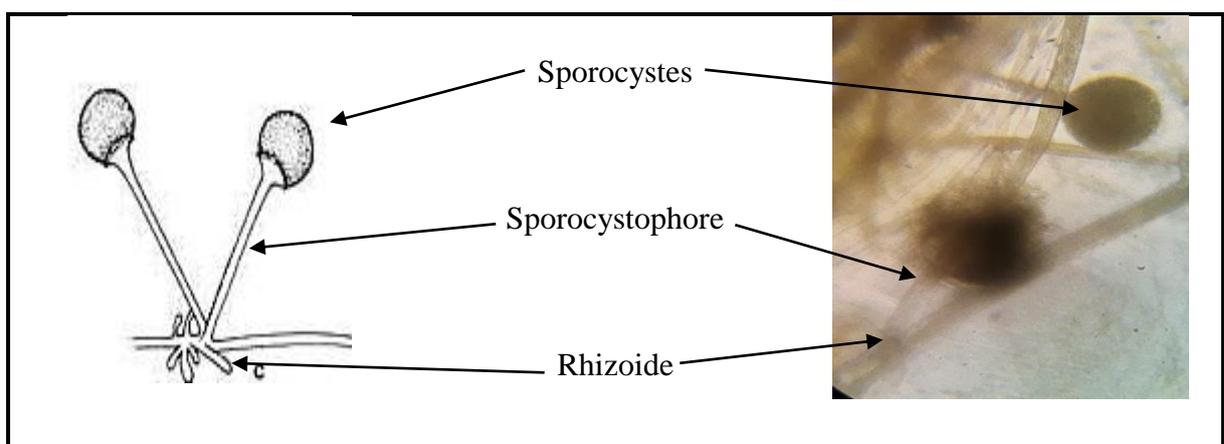


Figure 22. Clés d'identifications de *Rhizopus oryzae* (Botton, 1990)

Ces espèces se trouvent dans des habitats très répandu. Sol, céréales, matières végétales en décomposition (Botton, 1990) .

L'ensemble de caractéristiques microscopiques citées ci-dessus, suggèrent l'appartenance au genre *Rhizopus oryzae* (figure 24).

Ce genre de champignon a été identifié dans le sol agricole de l'ITAS.

4^{ème} groupe

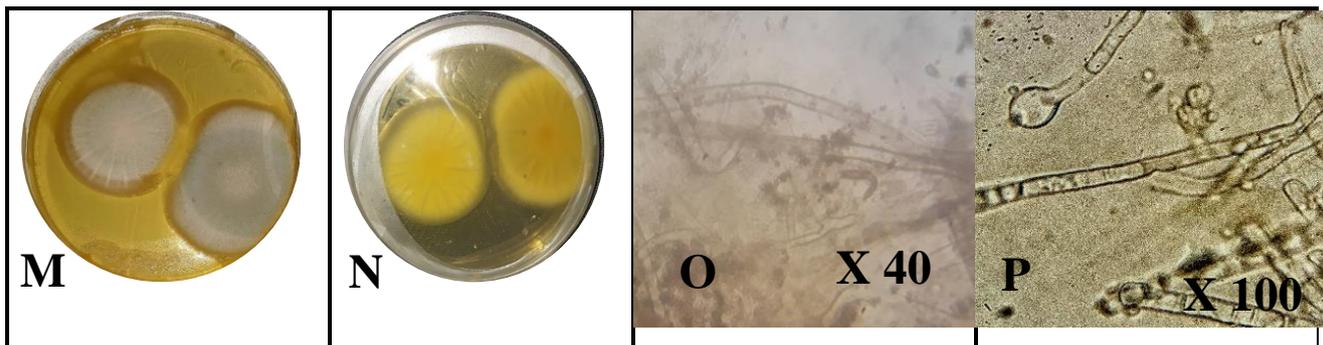


Figure 23. Identification du *Fusarium sp.*; M-N : Recto verso / O-P : G X 40/G X100

En ce qui concerne le Groupe 4, nous avons observé les caractéristiques microscopiques suivantes (figure 25) : conidiophores parfois très ramifiés, septés.

Ces espèces se trouvent dans des habitats très répandu. Sol, céréales... (Botton, 1990).

L'ensemble de caractéristiques microscopiques citées ci-dessus, suggèrent l'appartenance au genre *Fusarium sp.*

Ce genre de champignon a été identifié dans le sol agricole de l'ITAS, SK et AB.

5^{ème} groupe

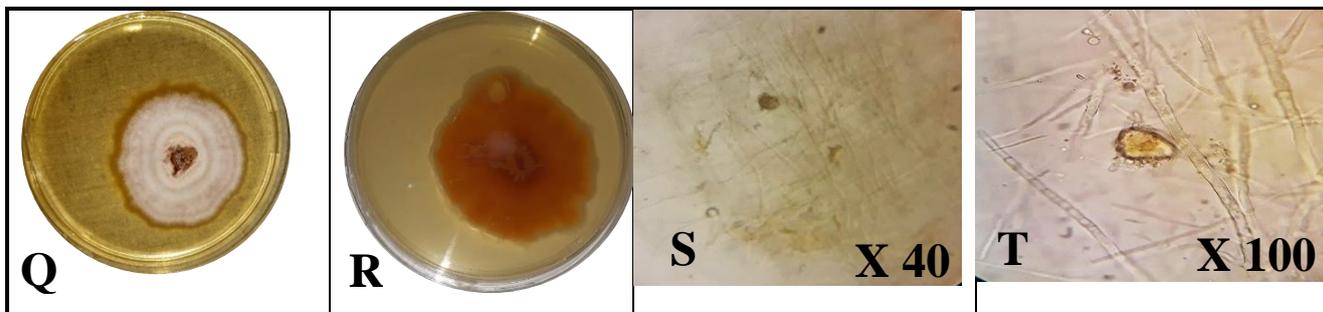


Figure 24. Identification de *Penicillium sp.*; Q-R : Recto verso / S-T: G X 40/G X100

En ce qui concerne le Groupe 5, nous avons constaté les caractéristiques microscopiques suivantes (figure 26) : Conidiophores isolées ou groupés en faisceaux, hyalins, lisse ou granuleux, simples ou ramifiés, terminés par un pénicille.

Ces espèces se trouvent dans des habitats très répandus ; Sol, céréales, matières végétales en décomposition ... (Botton, 1990).

L'ensemble de caractéristiques microscopiques citées ci-dessus, suggèrent l'appartenance au genre *Penicillium sp.*

Ce genre de champignon a été identifié dans le sol agricole de l'ITAS.

Conclusion

Conclusion

Le présent travail a été mené au niveau de quelques biotopes dans la région de Ouargla (l'exploitation agricole de l'université de Ouargla, le sol dunaire et le sol de chott Ain El Beida). Cette étude se propose de faire une caractérisation physico-chimique du sol et une estimation qualitative et quantitative de la biomasse microbienne tellurique et sa diversité dans l'espace.

Les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques des sols de la couche superficielle (0 -30cm) au niveau de trois biotopes montrent que ces sols se caractérisent par :

- Un taux d'humidité faible variant d'un sol à un autre de 8% sur le sol de dune, 11% sur le sol agricole et 16 % sur le sol de chott.
- Un taux de calcaire faible.
- Un pH légèrement alcalin.
- Une salinité élevée dans le sol agricole et le sol dunaire et extrêmement élevée au niveau de chott.
- Une faible teneur en matière organique de l'ordre de 0.5 % dans le sol dunaire, légèrement plus importante en sol agricole avec une valeur de 0.89 %, et élevée en sol de chott Ain El-Beida (4.84 %).

De point de vue microbiologique, les résultats obtenus montrent que les sols étudiés contiennent une microflore tellurique adaptée aux conditions difficiles du milieu saharien. Le dénombrement indirect des germes par la méthode de suspensions-dilutions montre que les bactéries sont les micro-organismes les plus abondants dans tous les sols étudiés par rapport aux champignons à cause de leur grand pouvoir de multiplication.

Concernant la diversité spatiale de la biomasse microbienne tellurique, les résultats des analyses des différents groupes microbiens montrent que la densité des microorganismes dans les sols des biotopes étudiés est faible. Par ailleurs, densité microbienne varie d'une station à l'autre. Le maximum est enregistré en sol agricole où les conditions du milieu sont les plus favorables pour le développement des micro-organismes telluriques par rapport aux autres sols.

Nous avons noté que la densité des espèces bactériennes et fongiques est plus faible au niveau du sol de Ain El Beida par rapport aux autres biotopes. Cela montre que la densité des microorganismes dans les sols salins est faible et est caractérisée par la prédominance des espèces adaptées notamment les halophiles.

La mauvaise gestion des ressources hydriques est la cause principale de la remontée des eaux, la surexploitation des nappes profondes et l'évacuation des eaux résiduelles vers l'exutoire naturel (chotts), avec le phénomène d'évaporation qui est important (la température moyenne dépasse 35°C au début du mois de juillet) provoque la salinité des sols.

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement de la biomasse microbienne tellurique surtout dans les régions arides et semi-arides qui souffrent des problèmes de la salinisation des sols. Les effets dépressifs de la salinité sur les microorganismes, en particulier les bactéries et les champignons, affectent également le développement, la fixation symbiotique ainsi que leur activité métabolique.

Cette variabilité de la population microbienne est également justifiée par la présence ou l'absence de la couverture végétale, et aussi très dépendant des caractéristiques physico-chimiques du sol, les principaux paramètres sont la texture, le pH et la teneur en matière organique et l'humidité.

En ce qui concerne l'examen macroscopique il y a une similarité dans ces caractères morphologiques selon la forme, taille, couleur, opacité, aspect du surface pour les bactéries, par contre les champignons présentent des dissimilitudes morphologiques.

Les souches isolées présentent une grande diversité morphologique sur les milieux de chaque type isolé.

L'observation microscopique a montré que ces zones hébergent onze souches bactériennes, principalement de forme bacille et l'absence la forme cocci. Aussi la dominance des bactéries Gram positives dans les échantillons du sol

L'identification des espèces fongiques selon les clés de détermination nous ont permis de d'identifier les espèces suivantes *Aspergillus awamori*, *Rhizopus sp*, *Penicillium sp*, *Aspergillus niger*, *Fusarium sp*.

L'étude des caractéristiques microbiologiques des sols des principaux biotopes sahariens dans la région de Ouargla ont été très peu étudié. La présente étude vient comblée ce manque en matière d'écologie microbienne dans les sols sahariens. Il nous a permis de constater que ces sols sont loin d'être stériles et qu'il y a une vie et une diversité microbienne considérable.

Enfin et d'une manière générale, la diversité microbienne tellurique dans les régions arides est affectée par des facteurs abiotiques stricts qui contrôlent leur effectif, leur activité et leur distribution. Les plus importants sont les facteurs climatiques et édaphiques du milieu qui crée un

microclimat favorable et optimal ou défavorable à la vie microbienne, de sorte que les microorganismes prennent des stratégies d'adaptation pour coexister avec leur environnement. Cependant, les travaux réalisés au cours de cette étude ne représentent qu'une première étape dans la compréhension complète de cet écosystème. En effet, de nombreuses questions restent en suspens et nécessiteraient d'être approfondies par des études ultérieures avec d'autres travaux qui s'intéressent à la distribution spatio-temporelle de la biomasse microbienne des zones humides et arides et semi-arides situées au Sahara Algérien.

Références bibliographiques

- ABIVEN S., 2004.** Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Laboratoire d'accueil INRA. N°d'ordre : 2004-28 ; N°de série : D-42. 262p.
- AERTS R., 1997.** Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79, 439-449p.
- ALI-HAIMOUD D., 1980.** Contribution à l'étude des sols alfatiens : fixation d'azote symbiotique: effet du paillage sur cette activité. Thèse magister USTHB Alger: 112p.
- ANDERSON P.E., DOMSCH K.H., 1978.** Mineralisation of bacteria and fungi in chloroformfumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10, 207-213p.
- ANGERS., 2007.** Association Française pour l'étude des sols. Journées Nationales de l'étude des sols, 3-4-5. 467p.
- ANNABI M., 2005.** Stabilité de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de Doctorat. Ingénieur Agronome de l'Institut National Agronomique de Tunis. Paris-Grignon, 280p.
- ATLAS R.M., BARTHA R., 1993.** *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*. Third edition. Edition The Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc. edn. Redwood City. Canada. 563p.
- AUBERT G., 1960.** Les sols de la zone aride. Colloque Général sur les problèmes de la zone aride. Paris.
- AUBERT G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Edit : C.R.D.P., Marseille, 191p.
- BACHELIER G., 1973.** Activité biologique des sols et techniques simples qui en permettent l'évaluation. Pédobiologiste ORSTOM (S.S.C.Bondy).
- BAISE D., 2000.** Guide Des Analyses En Pédologie. INRA, Edit : Paris, 257 P.
- BARDGETT R.D., BOWMAN W.D., KAUFMANN R., and Schmidt S.K., 2005.** A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends Ecol. Evol.* 20: 634-641p.
- BARDGETT R.D., LEEMANS D.K., 1995.** The short term effects of cessation of fertiliser applications, liming, and grazing on microbial biomass and activity in reseeded upland. *Biol. Fert. Soils*, 19, 148-154p.
- BATRA L., MANAA., 1997.** Deshydrogenase activity and microbial biomass in salt affected soil of semi-arid and arid région. *Arid soil research and rehabilitation*. Edition Taylor et Francis. N°11 pp 265-303.

- BAUHUS J., KHANNA K., 1999.** The significance of microbial biomass and activity in forest soils. 77-110p. *in* N Rastin and J Bauhus, eds. Going underground: ecological studies in forest soils. Research Signpost, Trivandrum, India.
- BEDJADJ S., 2011.** Contribution à l'étude du fonctionnement microbiologique du sol dans la région de Ouargla (Ex : l'université de l'ITAS). mém Master, agro, univ kasdi merbah ouargla., 12-68p.
- BERKAL I., 2006.** *Contribution à la connivence des sols du Sahara Algérie*, Mém Magistère, université INA Al Harrach, 108p.
- BERNIER N., 1997.** Fonctionnement biologique des humus et dynamique des pessières alpines. Le cas de la forêt de Macot-La-Plagne (Savoie). *Ecologie*, 28 (1) : 23-44p..
- BERTHELIN I., TOUTAIN F., 1979.** Biologie des sols. In Duchafour P. & Souchier B (eds) *Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol*. Masson, Paris. 121-160p.
- BERTHLENFALVAY G.J., CANTRELL I.C., MIHARA K.L., SCHREINER R.P., 1999.** Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. *Biol. Fertil. Soils*, 28: 356-363p.
- BERTSCHINGER L., CHRISTIAN G., RYSER J.P., HASELI A., NEUWEILER R., PFAMMATTER W., SCHMID A., WEIBEL F., 2003.** Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière, Fruits à pépins, fruits noyau, Kiwis, baies d'arbustes., Edition : Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil, www.faw.ch., 48p.
- BLOEM J., RUITER P., BOUWMAN L., 1997.** Soil food web and nutrient cycling in Agroecosystems. In: Van Eisas J. D, Trevors J. T. & Wellington E. M. H. (eds) *Modern soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 245-278p..
- BODOHARISOA O et al., 2007.** Les microbes du sol. Université d'Antananarivo, école supérieur des sciences Agronomique. 68p.
- BOIZARD H., RICHARD G., DEFOSSEZ P., ROGER ESTRADE J., BOIFFIN J., 2004.** Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien : les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols*, 11, pp. 11-20p.
- BOLLAG J., LEYVAL C., 1992.** Interactions entre les minéraux des ; les composés organiques et les microorganismes .Cahier-Ortom : ser ; pedol N° 1.

- BONNEAU M., SOUCHIER B., 1979.** Pédologie T2: constituants et propriétés du sol. Ed Masson: 459p.
- BOTTON B., BRETON A., FEVRE M., GAUTHIER S., GUX P.H., LARPENT J.P., REYMOND P., SANGLIER J.J., VAYSSIER Y., VEAU P., 1990.** Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle. Paris Milan Barcelone Mexico. Deuxième édition. PP .93, 139-191p.
- BOUAFIA L., LYDIA N., BOUDEFFA A., 2015.** Description préliminaire de la flore bactérienne d'un biotope dunaire du Sud Algérien. Département de Microbiologie. Université des Frères Mentouri Constantine. 46p.
- BOULLARD B., MOREAU J., 1962.** Sol, microflore et végétation. Edition ; Masson; paris, 289p.
- BOURTHIER A., 2015.** Des indicateurs d'activité microbiologique des sols pourquoi faire?. Arvalis-Institut du végétal. Paris. 21p.
- BROWN G.W., 2013.** Desert Biology: Special Topics on the Physical and Biological Aspects of Arid Regions. Elsevier.
- CABLE J.M., HUXMAN T., 2004.** Precipitation Pulse Size Effects on Sonoran Desert Soil Microbial Crusts. *Oecologia* 141, no. 2: 317–24p.
- CAESAR TONTHAT T.C., SHELVER W.L., THORN R.G., COCHRAN V.L., 2001 .** Generation of antibodies for soil aggregating basidiomycete detection as an early indicator of trends in soil quality. *Applied Soil Ecology*, 18: 99-116p.
- CALVET R., 2003.** Le sol: propriétés et fonctions. Volume 1. France Agricole Editions.
- CALVET R., CHENU C., HOUOT S., 2015.** Les métiers organiques des sols. 2^{ème} édition de France agricole. Paris (France). 351p.
- CÉBRON A., 2004** Nitrification, bactéries nitrifiantes et émissions de N₂O : *La Seine en aval de Paris* ; thèse de Doctorant, Écologie Microbienne – Sciences de l'Eau ; Université Paris VI – PIERRE et MARIE CURIE, France, 289p.
- CHANTINY M., ANGERS D., 2005.** Activité microbiologique et qualité des sols: quoi de neuf sous nos pieds?. Colloque en agroenvironnement. 10p.
- CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., 1986.** Relation entre les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Sience du sol*. 24: 213-226.

- CHAUSSOD R., ZUVIA M., BREUIL M.C., HETIER J.M., 1992.** Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des llanos sous différents systèmes de culture. Cahiers. Orstompédologie, 28, 1. 59-67p..
- CLAUDE AND LYDIA BOURGUIGNON.2008.** Le sol, la terre et les champignons pour retrouver une agriculture saine. P68-83
- CLEMENT et FRANCOISE., 2009.** Analyse chimique des sols édition TEC&DOC
- CLUZEAU D., GARNIER-ZARLY E., LAVELLE P., BLANCHART E., PERES G., ABLAIN F., CUENDET G., FAYOLLE L., 2005.** Chapitre 17 Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. In GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHELIN J., MOREL J.L., 2005. Sols et Environnement. Dunod (Ed.) 816p.
- COOKSON W.R., Murphy D.V., Roper M.M., 2008.** Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. Soil Biology and Biochemistry, 40, pp. 763-777p.
- COSTANZA R., DARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387., 253-260p.
- CURTIS T.P., SLOAN W.T SCANNELL J.W., 2002.** Estimating prokaryotic diversity and its limits. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 99: 10494-10499.
- DAJOZ R., 2008.** La biodiversité. L'avenir de la planète et de l'homme. Collection Parcours LMD-Sciences de la vie et de la terre, sous la direction de Joseph Segarra. ISBNBN 978-3671-9. Ellipses Edition Marketing S.A.
- DAOUD Y., HALITIM A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*, 5: 151-160p.
- DAR., 2008.** Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes dans les systèmes agroforestiers. 65p.
- DASSONVILLE F., RENAULT P., 2005.** Interactions entre microbiologie anaérobie et géochimie du sol. Description des dynamiques microbiennes.
- DAVET P., 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. INRA, Editions, 383p.
- DEGENS B.P., 1997.** Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. Aust. J. Soil. Res, 35: 431-459p.
- DEGENS B.P., SPARLING G.P., 1996.** Changes in aggregation do not correspond with changes in labile organic C fractions in soil amended with ¹⁴C-glucose. Soil. Biol. Biochem, 28: 453-462p.

- DELARRAS C., 2007.** Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire. Maître de conférences en microbiologie à l'IUT de Brest. 476p.
- DELLAL A., HALITIM A., 1992.** Activités microbiologiques en conditions salines : cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). Cah.Agri.Vol1, N°5, ed John Libbey Eurotext, Paris.Cahiers Agricultures, 1, pp : 335- 340.
- DIAZ-RAVIÑA M., ACEA, M. J., CARBALLAS T., 1993.** Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils. Soil Biol. Biochem 25: 25-31p.
- DJIGAL D., 2003,** Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactéricivores: effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes, Thèse de Doctorant, Faculté des Sciences et Techniques, Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop de DAKAR, sénégal, 166p.
- DOMMERGUES Y., 1977.** La biologie des sols. Ed. Que sais-je. Presse universitaire de France, 125p.
- DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie éditeurs, Paris, 796p.
- DPAT., 2006.** Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla. Direction de la planification et de l'aménagement du territoire: 8-12p.
- DRIJBER R.A., DORAN J.W., PARKHURST A.M., LYON D.J., 2000.** Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management. Soil Biology & Biochemistry, 32, pp.1419-1430.
- DUCHAUFOR .PH., 2001.** Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Ed. Masson. Paris. 314p.
- DUCHAUFOR P., 1991.** Pédologie. Sol, végétation, environnement. Ed. Masson, 289 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1984.** Abrégé de pédologie. Masson-édition. 220pages.
- ELZEIN et BALESDENT., 1995.** Gestion du patrimoine organique des sols viticoles, 2008, ENTAV-ITV.
- ESHKWEER et al., 1976.** Effects of soils on decomposition of plants residus of soil organic matter. Ed. Biol. Fertil. Soils, Germany.
- ETTEMA C.H., WARDLE D.A., 2002.** Spatial soil ecology. Trends Ecol. Evol. 17:177-183p.
- FAGHIRE M., MANDRI B., OUFDOU K., BARGAZ A., GHOULAM C., RAMÍREZBAHENA M.H., VELÁZQUEZ E., PEIX A., 2012.** Identification at species and symbiovar levels of strains nodulating *Phaseolus vulgaris* in saline soils of the Marrakech

(Morocco) and analysis of *otsA* gene putatively involved in osmotolérance. *Systematic and Applied Microbiology Journal*, 35:156-164p.

FARDOUX J., FERNANDES P., NIANE-BADIANE A., CHOTTE J L., 2000. Effet Du Séchage D'échantillons D'un Sol Ferrugineux Tropical Sur La Détermination De La Biomasse Microbienne Comparaison De Deux Méthodes Biocidales De Référence. *Étude Et Gestion Des Sols*, 7, 4, 2000. 385-394p.

FIGARELLA J. , LEYRAL G., TERRET M. JUILLET., 2007. microbiologie générale et appliquée N D'édition :3328-R2.paris Cedex 05.

FLEETCHER M.M., LATHAM M.J., LYNCH J.M., RUTTER P.R., 1980. The characteristics of interfaces and their role in microbial attachment. In *Microbial adhesion to surface ces.* Ed. W. Berkeley et al, 67-78p.

FOISSNER W., 2006. Biogeography and dispersal of micro-organisms: A review emphasizing protists. *Acta Protozoologica* 45: 111-136p.

GAUSHER D., ERIKSON A., 1986. Norrbottnian type (3). Neuropaediatric and neurobiological aspects of clinical patterns and treat net, actapaediatr. *Scand. Supple*, 326,1.

GHASSEMI F., JAKEMAN A.J et NIX H.A., 1995. Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Center for resource and environmental studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 125p.

GIRARD M.C., SCHVARTZ C., JABIOL B., 2011. Etude des sols : Description, cartographie, utilisation. éd. Dunod, Paris (France). 404p.

GOBAT J., ARAGNO M., MATTHY W., 2010. Le sol vivant : Base de pédologie – Biologie des sols. 3^{ème} édition de Presse polytechniques et universitaires Romanes. Italie, 817p

GOBAT J.M., ARAGNO M. et MATTHEY W., 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie Biologie des sols. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes. Coll. Gérer l'Environnement n° 14; 521 p.

GRAY E.J, SMITH D.L., 2005. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signalling processes. *Soil Biol. Biochem.* 37, 395- 412p.

HALILAT MT., 1993. Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété aldura) en zone sahariennes. (Régions Ouargla). Thèse Magister. Univ, Batna, 130p.

HAMDI AISSA B., 2001. La fonction actuelle et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). These, Doc, Agro, Paris Grignon, 307p.

- HAMLAOUI O.S., 2016.** Biomasse et activité microbienne (*B*-glucosidase) du sol sous quelques systèmes de culture oasiens dans la région de Ouargla. Cas de la région de Ouargla. Mémoire master Académique. 69p.
- HAMSI AISSA E., SOBTI S., 2013.** Isolement des bactéries telluriques résistantes aux effets de salinité, diplôme de Master Académique, Microbiologie appliquée, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algerie, 60p.
- HATIMI A., TAHROUCH S., 2007 .**Caractérisations chimique, botanique et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss- Massa.88-89p.
- HAUKE-PACEWICZOWA T., BALANDREA J., DOMMERGUES., 1969.** Fixation microbienne de l'azote dans un sol salin Tunisien. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 2, pp. 47-53. Pergamon Press.
- HAWKSWORTH D.L & MOUND., 1991.** Biodiversity databases: the crucial significance of collections. In Hawksworth D. L. (ed.) *the biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable agriculture*. CAB International. Wallington, UK. 17-29p.
- HEULIN T., 2010.** "Parlons Biodiversité : Les Bactéries et Environnements Extrêmes, de La Vie Dans Le Désert? Échoplanète - Environnement, Économie et Solidarité En Provence." <http://www.echoplanete.com/actu/biodiversite-actu/parlons-biodiversite-les-bacteries> etenvironnements-extremes-de-la-vie-dans-le-deser. Accessed June 18, 2015.
- HILLEL D., 2005.** Salinity; Management. <http://pubs.giss.nasa.gov/abs/hi01100t.html>. Accessed June 20, 2015.
- HOOPER D.U., BIGNELL D.E., BROWN V.K., BRUSSAARD L., DANGERFIELD J.M., WALL D.H. et al., 2000.** Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: Patterns, mechanisms, and feedbacks. *Bioscience* 50: 1049-1061p.
- HOORMAN J.J & ISLAM R., 2010.** Understanding soil microbes and nutrient recycling.
- HUBER G., SCHAUB C., 2011.** La fertilité des sols. L'importance de la matière organique ,46P.
- HURST C.J., 2002** Manual of Environmental Microbiology, second edition. Wash DC: ASM press.
- IDDER-IGHILI H., IDDER M.T., HEBBAZ D., BAOUIA A., 2006.** Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux du chott de Ain Beida de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional est Algerien). Université Kasdi Merbah Ouargla, BP 511. 25-28.
- INRA., 2001.** Préserver la qualité biologique des sols. Institut National de la recherche Agronomique. 147, rue de l'Université 75338 Paris cedex 07. 4p.

- ITA., 1975.** Laboratoire du sol : méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. Institut technologique agricole. Mostaganem. 78p.
- ITAB., 2002.** Activités biologiques et fertilité des sols. Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles. 149 rue de Bercy, Paris, 27p.
- JACKSON L.E., SCHIMEL J.P., FIRESTONE, M.K., 1989.** Short-term partitioning of ammonium and nitrate between plants and microbes in an annual grassland. *Soil Biol. Biochem* 21: 409-415p.
- JASTROW J.D., MILLER R.M., 1991.** Methods for assessing the effects of biota on soil structure. *Agric. Ecosyst. Environ*, 34: 279-303p.
- JASTROW J.D., MILLER R.M., 1997.** Soil Aggregate stabilisation and carbon sequestration : feedbacks through organomineral associations. *Soil Processes and the Carbon Cycle*, eds by R., Lal, J.M., Kimble, R.F., Follett and B.A., Stewart, Ch. 15, 207-223p.
- JENKINSON D.S., 1976.** The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-IV. The decomposition of fuligated organisms in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 8: 203-208p.
- JENSEN L.E., NYBROE O., 1999.** Nitrogen availability to *Pseudomonas fluorescens* DF5F is limited during decomposition of barley straw in bulk soil in the barley rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 4320-4328.
- JOSEPHSON K.C., GERBA C.P., MAIER R.M., 2000.** Cultural methods, *In* R. M. Maier, I. L. Pepper and C. P. Gerba (ed.), *Environmental microbiology*. Academic Press, London. p. 213-232.
- JUGLEA S., 2011.** Simulation de l'humidité du sol/ température de brillance à partir des données in situ dans le cadre de la validation des produits SMOS- site test Valencia Anchor Station. Thèse de Doctorat en sciences de la terre et des planètes solide. Université Toulouse 3 Sabatier (UT3 Paul Sabatier).175p.
- KARABI M., 2017.** Fonctionnement microbiologique Des sols oasiens. Cas de quelques sols de la région de Ouargla. Thèse de Doctorat. Université de Ouargla. 251p.
- KARLEN D.L., MAUSBACH M.J., DORAN J.W., CLINE R.G., HARRIS R.F., SCHUMAN G.E., 1997.** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61:4-10p.
- KARLEN D.L., MAUSBACH M.J., DORAN J.W., CLINE R.G., HARRIS R.F., SCHUMAN G.E., 1997.** Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61:4-10p.
- KEMPF B., BREMER E., 1998.** Uptake and synthesis of compatible solutes as microbial stress responses to high-osmolality environments. *Arch. Microbiol.* 170: 319-330p.

- KILLHAM K., 1994.** Soil Ecology. Cambridge University Press, New-York. 242p.
- KILLIAN C., FEHER D., 1939.** Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. Paul le chevalier éditeurs, paris, 110p.
- KILLIAN C., FERRER D., 1943.** Recherches sur la microbiologie des sols désertiques: résultats des Missions sahariennes. Paul Le chevalier.
- KOMBATE A., 2013** .évaluation de la qualité des sols de la fort guyanaise en vue d'un changement d'usage : étude cartographique des terres du pas de nancibo, ECDEST DU PAS .
- KOULL N., 2005.** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla, diplôme de majester, Agronomie Saharienne - Protection des écosystèmes en zones arides, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 86p
- KOULL N., CHEHMA A., HAMOUDA N., BELLAHCENE O., GUEZZOUN N., 2016.** Qualité des eaux des zones humides du bas sahara Algerien. Revue des BioRessources. Vol 6N°1 Juin. 113-124p.
- LAMOSA L.O., MARTINS M.S., COSTA D.A., SANTOSI H., 1998.** Effects of temperature, salinity, and medium composition on compatible solute accumulation by *Thermococcus* spp. Appl Environ Micro. 3591–3598.
- LAVELLE, P. SPAIN A.V., 2001.** *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 654 pages.
- LE RUDULIER D., MANDON K., DUPONT L., TRINCHANT J.C., 2002.** Salinity effects on physiology of soil microorganisms. In G. Bitton (ed), *Encyclopedia of environmental microbiology*. AWiley-Interscience Publication. Canada. p. 2774-2789.
- LEGRAS M., (SD).** Biomasse moléculaire fongique estimée par la quantification de l'ergosterol. bioindicateurs : des outils biologiques pour des sols durables. A 4 Edition. 4p.
- LEUNG K.T., ERRAMPALLI D., CASSIDY M., LEE H., Hall B., TREVORS J.T, OKAMURA H., BACH H.J., 1997.** A case study of bioremediation of polluted soil: biodegradation and toxicity of chlorophenols in soil. In: Van Eisas J.D, Trevors J.T & Wellington E.M.H. (eds) *Modem soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 577-605p.
- MAAMERI M., 2007.** Caractérisation microbiologique des sols sous conditions semi-arides. (KsarChellala) mém.ing.agro.université IBN KHALDOUN, Tiaret.24-34p.
- MAIER R.M., PEPPER I.L., GERBA C.P., 2011.** Environmental microbiology. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
- MARTENS R., 1995.** Currents methods for measuring microbial biomasse c in soil ; potentials and limitations .Biol.Fert.Sols19.87-99p.

- MATHIEU C., PIELTAIN., 2009.** Les principaux sols du monde. Voyage au centre de l'épiderme de la planète terre. Lavoisier, Editions Tech et Doc. 233p.
- MEKLAT ATIKA., BOURAS NOUREDDINE., ZITOUNI ABDELGHANI., FLORENCE MATHIEU., LEBRIHI AHMED., SCHUMANN PETER., CATHRIN SPROER, KLENK HANS-PETER., SABAOU NASSERDINE., 2013.** Actinopolyspora mzabensis sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from an Algerian Saharan soil., International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology., 63., pp3787–3792
- MEURY J., KEPES A., 1982.** Glutathione and gated potassium channels of E. coli. Embo. J.1: 339-343.mek
- MINCERi, T. L., JENSEN P.R., Kauffman C.A., Fenical W., 2002.** Widespread and persistent populations of a major new marine actinomycete taxon in ocean sediments. App. Environ. Microbiol. 68: 5005-5011 p.
- MOLOPE M.B., GRIEVE I.C., PAGE E.R., 1987.** Contribution by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. J. Soil. Sci, 38: 71-77p.
- MONNIER G., 1965.** Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols, Thèse de la faculté des sciences de Paris, pp 140.
- MORAND D.T., 2001.** Soil landscape of the woodburn 1:100000 sheet. Department of land and water conservation, Sydney. pp 271-273.
- MOREL J., 1996.** Étude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours de compostage. Agronomie, 6: 693-701.
- MOREL., 1989.** Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris, 272p.
- MRABET R., SABER N., EI BRAHLI A., LAHLOU S., F BESSAM., 2001.** Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco, Soil and Tillage Research 57 : pp. 225-235.
- NANNIPIERI P., JOHNSON R.L., PAUL E.A., 1978.** Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 10, 223-229p.
- NICKLIN J., GRAENE COUK K., PAGET P., KILLINGTON R., 2000.** Microbiologie, 362 p.
- NICOLARDOT B., CHAUSSOD R., CATROUX G., 2010.** Revue des principales méthodes disponibles pour mesurer la biomasse microbienne et ses activités. Laboratoire de Microbiologie des sols. I.N.R.A. BV1540-21034 Dijon Cedex. 10p.
- OADES J.M., 1988.** The retention of organic matter in soils. Biogeochemistry, 5: 35-70.

- OADES J.M., 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56: 377-400p.
- OREN, A. 1999.** Bioenergetic aspects of halophilism. *Microbiol. Mol. Boil. Rev.* 63: 334-348.
- OURGEOIS C.M., LEVERAU J.Y., 1980.** Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaire. Tome 3. Contrôle microbiologique. Edition technique et documentation. Lavoisier. Paris. 15. DOMMERGUES.
- POCARD J.A., SMITH L.T., SMITH G.M., LE RUDULIER D., 1994.** A prominent role for glucosylglycerol in the adaptation of *Pseudomonas mendocina* SKB70 to osmotic stress. *J. Bacteriol.* 176: 6877–6884.
- POCHON J., TARDIEUX P., 1962.** Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Saint Mandé : Edition de la tourtourelle.
- POCHON J., YAO TSENG TCHAN., 1948.** Précis de Microbiologie du sol. Ed. Masson et Cie. Paris. 210p.
- RAMADE F., 2003.** Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Paris : Dunod (ed.), 3ème édition.
- REBBOUH S., 2006.** Isolement et identification des champignons associés à la cochenille blanche *parlatoria blanchardi* (BLANCHARD, 1868) sur quelques variétés de dattes. Thèse de Master. Université de Ouargla. 110p.
- RIZ K., 2008.** Les champignons du sol. European Commission. Convention Biological Diversity.
- ROBERT M., CHENU C., 1992.** Interactions between soil minerals and microorganisms. In *Soil Biochemistry*. Ed Dekker, Inc, 7: 307-393.
- ROGER ESTRADE J., RICHARD G., CANEILL J., BOIZARD H., COQUET Y., DEFOSSEZ P., MANICHON H., 2004.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research*, 79, pp. 33-49.
- ROTH W.G., LECKIE M.P., DIETZLER D.N., 1985.** Osmotic stress drastically inhibits active transport of carbohydrates by *E. coli*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 126: 434-441.
- ROUVILLOI BRIGOL M., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara Algérien), valorisation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département de géographie de l'université de paris-Sorbonne, Paris : 3-208p.
- SABAOU, N., 1980.** Antagonisme de deux actinomycètes vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* et d'autre champignon. Thèse de magister, U.S.T.H.B., Alger. In Maslohy My A. 1989.

- SIMONART P., 1957.** Symposium sur les Méthodes d'Etude Microbiologique du Sol, 208p.
- SMALLA K., WIELANDD G., BUCHNER A., ZNOCK A., PARZY J., KAISER S., ROOSKOT N., HEUER H., BERG G., 2001.** Bulk and rhizosphere soil bacteria communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis; plant-dependant enrichment and seasonal shifts revealed. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 47442-4751.
- SOLTNER D., 2005.** Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration Tome I, 24emè édition ; collection Sciences et techniques agricoles.
- SPARLING G.P., SHEPHERD T.C., KETTLES H.A., 1992.** Changes in soil organic C microbial C and aggregates stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soils from the Manawatu region, New Zealand. *Soil & Tillage Research*, 24: 225-241p.
- STOTZKY G., 1986.** Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes, 3rd Printing, SSSA Special Publication 17, Edited by P.M. Huang and M. Schnitzer, pp 305-428, Soil Science Society of America, Madison (1986).
- STOTZKY G., 1997.** Soil as an Environment for microbial life. In: Van Elsas J. D, Trevors J. T. & Wellington E. M. H. (eds) *Modern soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 1-20.
- SWIFT M.J., HEAL O.W., ANDERSON J.M., 1979.** Decomposition in Terrestrial Ecosystems. in UoC Press, ed. *Studies in ecology*, Berkeley.
- THEODORAKOPOULOS N., 2013.** Analyse de la biodiversité bactérienne d'un sol contaminé de la zone d'exclusion de Tchernobyl et caractérisation de l'interaction engagée par une souche de *Microbacterium* avec l'uranium. Thèse de Doctorat. Ecole Doctorale : ED 62 Sciences de la vie et de la santé. Université AIX-MARSEILLE. 198p.
- THORN G., 1997.** The fungi in soil. In: Van Elsas J. D, Trevors J. T. & Wellington E. M. H. (eds) *Modern soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 63-127p.
- TISDALL J.M., 1994.** Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant & Soil*, 159: 115-121p.
- TISSAUX J.C., 1996.** Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmentés (BRF) dans le processus d'humification, Université Laval-Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux: 34p.
- TOKALA R.K., STRAP J.L., JUNG C.M., CRAWFORD D.L., SALOVE H., DEOBALD L.A., BAILEY F.J., MORRA M.J., 2002.** Novel plant microbe rhizosphere interaction involving *S.lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 2161-2171p.

- TOKALA R.K., STRAP J.L., JUNG C.M., CRAWFORD D.L., SALOVE H., DEOBALD L.A., BAILEY F.J., MORRA M.J., 2002.** Novel plant microbe rhizosphere interaction involving *S.lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 2161-2171p.
- TOOP E., VALLAEYS T., SOULAS G., 1997.** Pesticides: Microbial degradation and effects on microorganisms. In: Van Eisas J. D, Trevors J. T. & Wellington E. M. H. (eds) *Modem soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 547-575p.
- TORTORA G.J., FUNKE., CASE., 2012.** Introduction a la microbiologie 2éme édition .ISBN : 9782761341394.
- UKMO., 2013.**
- VANDECASTEELE J.P., 2008.** Petroleum Microbiology, Editions TECHNIP,Paris, 816 p.
- VANDECASTEELE., 2003.** Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bactéria in sand columns. *Soil Science Society of America Journal*, 56, pp.1-13.
- VIAN J.F., PEIGNE J., CHAUSSOD R., ROGER-ESTRADE J., 2009.** Effets du monde de travail du sol sur les microorganismes à l'échelle du profil cultural. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 16, 3/4 –PAGES 355-364.
- WILD A., 1993.** Soils and the Environment .Cambridge University Press. 300p.
- YANCEY P.H., CLARK M.E., HAND S.C., BOWLUS R.D., SOMERO G.N., 1982.** Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*. 217: 1214-1227.
- YOUNG I.M., Crawford J.W., 2004.** Interactions and Self-Organization in the Soil Microbe Complex. *Science* 304: 1634-1637p.
- ZINGER L., 2009.** Variations spatio-temporelles de la microflore des sols alpins; thèse de Doctorant, Mention Biodiversité-Ecologie-Environnement, université Joseph Fourier, Grenoble I, France, 258p.

Annexes

Annexe 01 : Milieux de culture

A- Milieu pour les bactéries : Gélose nutritive (Biokar, 2014)

- Extrait de viande-----01g
- Extrait de levure -----02g
- Chlorure de sodium (Na Cl) -----05g
- Peptone-----10g
- Agar-agar -----15g
- Extrait de terre -----100 ml

Dissoudre les constituants dans un litre d'eau distillée, puis l'autoclaver à 121°C pendant 15 minutes. Ajuster le pH à 7.

B- Milieu pour les champignons (O.G.A), (Biokar, 2014)

- OGA.....30g
- Eau distillée.....1000ml

- dissoudre sous un bec bunsen les constituants de milieu dans une petite quantité d'eau distillée puis compléter le volume jusqu'à un litre.
- ajuster le pH de milieu.
- repartir le mélange dans des flacons fermé et autoclave à 112 °C pendant 20 min.
- conserver le milieu au réfrigérateur jusqu'au moment de l'utilisation.

Annexe 02 : Observation microscopique

A- Coloration de Gram

La coloration de Gram est réalisée systématiquement sur les différentes colonies de bactéries, pour préciser le caractère Gram⁺ OU Gram⁻ et la forme.

La technique de coloration de Gram est comme suit (Figarella ,2007) :

1. Le frottis séché et fié est recouvert par un colorant (violet de gentiane), qui pénètre dans le cytoplasme de toutes les bactéries ;
2. Le réactif de Lugol facilite la fixation du colorant ;
3. Le frottis est recouvert par de l'alcool à 90 pendant 10 secondes, puis l'alcool est éliminé par un rinçage abondant à l'eau distillée .la paroi des bactéries à Gram⁺ s'oppose à la pénétration de l'alcool alors que celle des bactéries à Gram⁻ autorise son passage : dans le premier cas les bactéries sont décolorées ;
4. Le dernier temps de la coloration consiste à faire un deuxième colorant rose (la fuchsine basique)

B- Identification des champignons

La préparation du matériel fongique pour l'observation microscopique est réalisée dans des conditions stériles comme suit :

1. Prendre un fragment du thalle de la colonie à l'aide d'une anse de platine stérile, puis le disposer dans une goutte du lactophénol sur une lame stérile.
2. Dilacérer le fragment mycélien avec l'anse de platine pour le rendre moins dense et mieux observable.
3. Recouvrir la préparation à l'aide d'une lamelle, puis la mise à l'observation sous le microscope optique.

Les souches isolées ont été identifiées en se basant sur une bibliographie spécialisée à l'identification des moisissures qui établit des clés de détermination complètes à partir des caractères culturels et morphologiques, on cite: Botton et al .,1999.

Annexe 03 : Echelle d'interprétation des résultats

Tableau 01. pH mesuré dans un rapport sol/solution de 2/5 (LE CLECH, 2000)

pH	<3,5	3,5-4,2	4,2-5	5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,7	8,7<
Classe	Hyper acide	Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Basique	Très basique

Tableau 02. Salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (LE CLECH, 2000)

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

Tableau 03. Calcaire total (BAISE, 2000)

CaCO ₃ total	Horizon
CaCO ₃ < 1	Horizon non calcaire
1 < CaCO ₃ < 5	Horizon peu calcaire
5 < CaCO ₃ < 25	Horizon modérément calcaire
25 < CaCO ₃ < 50	Horizon fortement calcaire
50 < CaCO ₃ < 80	Horizon très calcaire
80 < CaCO ₃	Horizon excessivement calcaire

Tableau 04. Matière organique (I.T.A. 1975)

Matière organique %	Nom de classe
≤ 1	Sol très pauvre
$1 < M.O \leq 2$	Sol pauvre
$2 < M.O \leq 4$	Sol moyennement riche
$M.O > 4$	Sol riche

Résumé

La présente étude porte sur la contribution à l'étude de la biomasse microbienne tellurique de quelques biotopes dans la région de Ouargla en particulier dans les stations suivantes : Ain ElBeida, Sidi Khouiled et l'exploitation de l'université de Ouargla. Les échantillons de sol ont été prélevés à partir de la couche superficielle (0-30 cm). Les échantillons de sol ont subi des analyses physico-chimiques et microbiologiques afin d'étudier l'écologie microbienne tellurique dans les sols sahariens ; leur densité et leur diversité. La densité microbienne varie d'une station à l'autre sous l'influence des facteurs du milieu notamment l'humidité, le pH, la salinité,...etc. Le dénombrement des principaux groupes microbiens à savoir les bactéries et les champignons, révèle la prédominance de la microflore bactérienne suivie par la microflore fongique. L'observation microscopique a montré la présence des bactéries sous forme de bacilles Gram négatifs et positifs, dans les trois stations. L'identification des espèces fongiques selon les clés de détermination nous ont permis de d'identifier les espèces suivantes : *Aspergillus awamori*, *Rhizopus sp*, *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *Fusarium sp*.

Mots clés : Biomasse microbienne, sol, biotopes sahariens, Ouargla-Algérie

Contribution to the study of the telluric microbial biomass of some biotopes in Ouargla region

Abstract

The present study concerns the Contribution to the study of the telluric microbial biomass of some biotopes in Ouargla region, particularly in the following stations: Ain El Beida, Sidi Khouiled and the exploitation of the University of Ouargla. The soil samples were taken from the surface layer (0-30 cm). Then the soil samples underwent physico-chemical and microbiological analyzes to study microbial ecology in: Saharan soil; their density and diversity. The microbial density varies from one station to another under the influence of environmental factors including humidity, pH, salinity...etc. enumeration of the main microbial groups, specially bacteria and fungi, reveals the predominance of the bacterial microflora followed by the fungal microflora. Microscopic observation showed the presence of bacteria form positive and negative gram bacilli at the three stations. The identification of fungal species according to the determination keys allowed us to identify the following species : *Aspergillus awamori*, *Rhizopus sp*, *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *Fusarium sp*.

Key words: Microbial biomass, soil, saharian biotope, Ouargla-Algeria.

المساهمة في دراسة الكتلة الحيوية الميكروبية للتربة لبعض الموائل الحيوية في منطقة ورقلة

ملخص

ركز هذا العمل على المساهمة في دراسة الكتلة الحيوية الميكروبية للتربة لبعض الموائل الحيوية في منطقة ورقلة بالأخص في المحطات التالية: شط عين البيضاء, رمال سيدي خويلد و مزرعة الجامعة لولاية ورقلة. تم اخذ عينات التربة من الطبقة السطحية (0-30سم). خضعت عينات التربة لتحليلات فيزيائية، كيميائية وميكروبيولوجية وذلك لدراسة البيئة الميكروبية في التربة الصحراوية، كثافتها وتنوعها. الكثافة الميكروبية تختلف من منطقة لأخرى تحت تأثير عوامل الوسط خاصة الرطوبة، اس الهيدروجيني (دليل شوارد الهيدروجيني)، درجة الملوحة...الخ. تعداد المجموعات الميكروبيولوجية الرئيسية خاصة البكتيريا والفطريات والذي يبين سيادة الكثافة البكتيرية في الوسط مقارنة بالكثافة الفطرية. وظهرت الملاحظة المجهرية وجود عصيات بكتيرية ايجابية وسلبية الغرام في المحطات الثلاث. تحديد الأنواع الفطرية حسب مفاتيح التعريف سمح لنا بالتعرف على

الأنواع التالية: *Aspergillus awamori*, *Rhizopus sp*, *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *Fusarium sp*

الكلمات المفتاحية: الكتلة الميكروبية، تربة، موئل حيوي صحراوي، ورقلة-الجزائر.